



universität
wien

Diplomarbeit

Titel der Arbeit

Semantische Fehler in komplexen Bildern: eine EEG-Studie

Verfasser

Jakob Leyrer

Angestrebter akademischer Grad

Magister der Naturwissenschaften (Mag. rer. nat.)

Wien, im Mai 2010

Studienkennzahl: 298

Studienrichtung: Psychologie

Betreuer: Univ.-Prof. i.R. Dr. Herbert Bauer

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei einigen Personen bedanken, die auf die eine oder andere Weise ihren Teil dazu beigetragen haben, dass die vorliegende Arbeit begonnen, vorangebracht und beendet werden konnte.

Zuerst möchte ich den Stolz zum Ausdruck bringen, den ich empfinde, als einer der letzten Diplomanden unter Prof. Dr. Herbert Bauer, einem der letzten Assistenten Hubert Rohrachers, meine Diplomarbeit abzuschließen.

Dank gilt meiner Mutter, die mich immer in meinem Weg bestärkte und mir das Interesse für Psychologie in gewisser Weise schon in die Wiege gelegt hat. Und dass sie – und dieser Platz ist für diese Danksagung meiner Meinung nach angemessener als der Muttertag – mir das Leben, und damit Alles geschenkt hat.

Meinen Schwiegereltern in spe danke ich, dass sie mir so schnell das Gefühl gaben, Teil ihrer Familie zu sein.

Meiner Schwester gebührt der Dank, diese Arbeit in unglaublicher Geschwindigkeit und Genauigkeit korrekturgelesen zu haben.

Zuletzt möchte ich meiner Freundin Barbara, dem hellsten Licht in meinem Leben, dafür danken, mich trotz meiner Marotten und Eigenheiten zu lieben und mir so eine unglaubliche Stütze zu sein. Und dass sie mein Leben auf so wunderbare Weisen bereichert.

Nur die Liebe zur Wahrheit schafft Wunder

Johannes Kepler

Inhaltsverzeichnis

1. Theoretischer Teil.....	1
1.1. Einleitung.....	1
1.1.1. Ziel der Diplomarbeit.....	1
1.1.2. Fragestellung.....	1
1.2. Semantische Verarbeitung.....	3
1.3. Semantische Fehler – Semantischer Konflikt.....	8
1.3.1. Die „N400“.....	8
1.3.2. Bildgebende Befunde.....	12
1.4. Anterior Cingular Cortex (ACC).....	19
1.4.1. Überblick: Anteriorer Cingulärer Cortex.....	19
1.4.2. Error Related Negativity (ERN).....	19
1.4.3. Error Detection, Conflict Detection & Response Selection.....	20
1.5. Attention Deficit Hyperactivity Disorder (ADHD).....	22
1.6. Neurofeedback.....	24
1.7. Neurofeedback und ADHD.....	26
2. Empirischer Teil.....	28
2.1. Methode.....	28
2.1.1. Versuchspersonen.....	28
2.1.2. Stimuli.....	28
2.1.3. Versuchsdesign.....	31
2.1.4. Experimenteller Ablauf.....	33
2.1.5. Datenaufzeichnung.....	36
2.1.6. Datenverarbeitung.....	37
2.1.7. Datenanalyse.....	38
2.2. Ergebnisse.....	41
2.2.1. Pre-Test des Stimulusmaterials.....	41
2.2.2. Grand-Average.....	45
2.2.3. sLORETA (standardized low resolution brain electromagnetic tomography).....	50
2.3. Diskussion.....	63
2.3.1. Precuneus & Lobulus Parietalis Superior / Inferior.....	63
2.3.2. Gyrus Fusiformis.....	65
2.3.3. Gyrus Frontalis Inferior.....	65
2.3.4. Integration der Ergebnisse.....	66
2.3.5. Kritik.....	67
2.4. Konklusion.....	70
3. Verzeichnisse.....	71

3.1.Literaturverzeichnis.....	71
3.2.Abbildungsverzeichnis.....	80
3.3.Tabellenverzeichnis.....	82
4. Anhang.....	83
4.1.Das Gehirn.....	83
4.1.1. Das Gehirn und seine Windungen (Gyri).....	83
4.1.2. Das Gehirn - Brodmann-Areale.....	84
4.2.Beispielstimuli.....	85
4.3.Zusammenfassung.....	89
4.4.Abstract.....	91

1. Theoretischer Teil

1.1. Einleitung

1.1.1. Ziel der Diplomarbeit

Der Großteil der Forschung über den Anterioren Cingulären Cortex (ACC) konzentriert sich bisher auf experimentelle Paradigmen, bei denen die Versuchsperson (Vp) aktiv eine Entscheidung trifft und eine motorische Antwort auf einen Stimulus geben muss. Doch kann Aktivität im ACC auch durch rein perzeptuelles Rezipieren von Stimuli ausgelöst werden? Diese Frage ist bisher noch wenig untersucht worden. Sie ist jedoch von Bedeutung, wenn man versuchen will, die Methode des Neurofeedback lokal am ACC anzuwenden. Denn beim Neurofeedbacktraining darf die Vp nicht mit Aufgaben beschäftigt sein, die ihre Informationsverarbeitung zu stark beanspruchen. Neuere Untersuchungen bringen eine Dysregulation des ACC mit der Aufmerksamkeits-Defizit-Hyperaktivitäts-Störung (*attention deficit hyperactivity disorder = ADHD*) in Verbindung [15]. Wenn Patienten nun lernen würden, die Aktivität ihres ACC zu modulieren, könnten in Folge Symptome eventuell gelindert werden. Das Trainieren dieser Gehirnaktivität sollte leichter gelingen, wenn diese Aktivität durch einen Stimulus angeregt wird und diese 'Ausgangsaktivierung' dann durch den Probanden verstärkt oder abgeschwächt werden würde, anstatt 'von Null' anfangen zu müssen. Ähnlich, wie beim Training von alpha oder theta Frequenz die Aktivität durch Entspannung angeregt werden soll [8]. Ziel dieser Diplomarbeit ist es also, Bilder zu finden, die alleine durch ihre Betrachtung Aktivität im ACC auslösen.

1.1.2. Fragestellung

Der Anteriore Cinguläre Cortex (ACC) wird allgemein mit Fehler- und Konfliktüberwachung in Verbindung gebracht [16] (siehe auch 1.4.). Wenn jemand bei einer Reiz-Reaktions-Aufgabe einen Antwortfehler macht (sprich 'sich verdrückt'), oder auf konkurrierende, sich widersprechende Stimuli antworten soll (z.B. STROOP-Task), kann in den Ereigniskorrelierten Potentialen (EKPs) bei ca. 250 bis 300 ms eine Abweichung in Richtung Negativität über medialen frontalen und zentralen Elektroden am Skalp gemessen werden, genannt die *error related negativity* (ERN, siehe auch 1.4.2.). Auch wenn bei einer unsicheren Aufgabe nach einer Entscheidung die erwartete Ergebnisrückmeldung (richtig vs. falsch) oder Höhe des Gewinns (besser / schlechter als erwartet) verletzt wird, findet sich ein ähnliches Potential, die *feedback related negativity* (FRN). Studien haben den Ursprungsort dieses Potentials im ACC geortet. Es stellt sich die Frage, ob nur Aufgaben, die einen

Antwortfehler oder eine Erwartungsverletzung enthalten, Aktivität im ACC auslösen, oder auch Bilder, bei denen rein evaluativ ein semantischer Fehler wahrgenommen wird. Ein Beispiel für solch einen Fehler wäre das Bild eines Elefanten, der auf einem Vogelnest sitzt. Im Grunde handelt es sich dabei ja um ziemlich unterschiedliche Konstrukte. Zum einen um Fehler, die im Abgleich von motorischen Programmen, Handlungserwartungen und Ergebnisrückmeldungen (schlechter / besser als erwartet) begründet sind. Zum anderen um Fehler, die durch den Abgleich von deklarativen semantischen sowie konditionierten impliziten Gedächtnisinhalten mit Sinneswahrnehmungen, die unterschiedliche semantische Repräsentationen aktivieren (Baum – Nest – Vogel – leicht und Elefant – schwer – Bodentier), zustande kommen. In diesem Fall handelt es sich quasi um einen Konflikt zwischen konkurrierenden semantischen Repräsentationen.

Zu diesem Zweck wurden Bilder gesucht, die mit *Photoshop*, einer gängigen Bildbearbeitungssoftware, derart manipuliert worden waren, dass sie Szenen und Dinge zeigen, die in unserer (physischen) Alltagsrealität unmöglich oder zumindest unwahrscheinlich sind, unserer Alltagserfahrung also widersprechen.

Zusätzlich wurde versucht – angelehnt an eine Studie von Gigi et al. (2007) [37] – verstärkte ACC-Aktivierung bei Betrachtung von Bildern von Alltagsobjekten, die aus ungewöhnlichen Blickwinkeln gezeigt werden, zu finden. Da es sich bei der bestehenden Studie um ein fMRI Experiment handelt, versuchte ich, dieses Ergebnis mittels EEG-Quellenlokalisierung (sLORETA) zu replizieren.

Siehe 4.1. für schematische Abbildungen des Gehirns, um die anatomischen Strukturen, die im Theorieteil bzw. der Ergebnisdarstellung genannte werden, nachzuschlagen.

1.2. Semantische Verarbeitung

"Das Semantische Gedächtnis ist unabhängig von Zeit und Ort, es enthält generelle Konzepte und Regeln, also Sinnzusammenhänge und Bedeutung". [11]

Ich möchte meinen subjektiven Eindruck voranstellen, dass sich die meiste Literatur über semantische Verarbeitung und semantische Fehler auf sprachliche Stimuli und nicht Bilder bezieht. Warum dies so ist, darüber kann ich nur spekulieren. Experimentelle Designs mit Schrift sind sicher einfacher zu kontrollieren und manipulieren als komplexe Bilder. Es muss zum Beispiel nur ein Wort oder ein Buchstabe verändert werden, um eine andere Versuchsbedingung zu schaffen, und die Stimuli sind bezüglich Variablen wie Anzahl der Buchstaben, orthographischer Nachbarschaft und lexikalischer Häufigkeit relativ leicht zu normieren. Problematisch ist dieser Zustand allemal. Denn primär sind wir visuelle Wesen, die versuchen, die Welt um uns herum, die wir in Bildern wahrnehmen, zu verstehen. Man kann argumentieren, dass mit dem Spracherwerb eine solch feste Assoziation von verbalen semantischen Konstrukten mit visuell-semantischen Repräsentationen gebildet wird, dass die mühsame Untersuchung von visuellem Material obsolet wird. Wenn uns jemand sagt, wir sollen uns einen Elefanten vorstellen, muss natürlich zuerst das Wort verarbeitet und repräsentiert werden, bevor bildliche Assoziationen abgerufen werden. Wenn wir jedoch an einem schönen sonnigen Tag im Tiergarten entlangschlendern, als Ziel eigentlich das Wolfsgehege im Sinn haben, doch plötzlich der mächtige Elefant in unser Sehfeld tritt, so wird zuerst die visuelle Repräsentation des Elefanten im Gehirn aktiviert, und erst später die verbale. Ob die semantische Bedeutungserfassung erst durch die Aktivierung der linguistischen Strukturen ermöglicht wird, ist nicht Frage dieser Studie. Untersuchungen mit taub-stumm geborenen Menschen, die keine Zeichensprache gelernt haben, könnten ein Weg sein, dieses Gewirr zu entflechten.

Thompson-Schill (2003) [101] berichtet in einem Reviewartikel von Studien bildgebender Verfahren über die funktionelle Neuroanatomie semantischen Gedächtnisses und Verarbeitung. Die globale Aussage ist, dass es wenig robuste Ergebnisse gibt, die über mehrere Studien hinweg repliziert werden konnten. Sie spricht sich auch gegen ein einheitliches, amodales semantisches System aus.

Semantische Repräsentationen kann man nach folgenden Charakteristika einteilen:

Modalität. Damit ist die Sinnesmodalität gemeint, in der der Gedächtnisinhalt gespeichert ist bzw. abgerufen werden soll. Meist geschieht dies experimentell, indem ein Bild, gelesenes oder gehörtes Wort benannt oder in eine Kategorie eingeteilt werden soll. Dabei wurden in verschiedenen Modalitäten Aktivität in inferioren frontalen und temporalen Strukturen

gefunden. Spezifisch für Bilder war nur der linke posterior-inferiore temporale sulcus, für Wörter der linke anteriore mittlere temporale gyrus und der linke inferiore frontale gyrus.

Attribute. Damit ist Farbe, Form, Größe, Bewegung und Funktion gemeint. Der linke oder bilaterale ventrale temporale Kortex scheint mit dem Abruf von Farbe und Form beschäftigt zu sein, der linke laterale temporale Kortex mit Bewegung und der parietale Kortex mit Größe. Semantisches Wissen um Funktion von Objekten scheint mit den Systemen von Motorik und motorischer Wahrnehmung – wie beispielsweise dem prämotorischen Kortex – zu tun zu haben.

Kategorie. Damit ist die Unterscheidung in Kategorien wie lebendig vs. leblos gemeint. Die Ergebnisse dazu sind schwierig zu interpretieren, da die meisten Studien verbale Stimuli verwendeten und rein semantische Repräsentationen von lexikalischen Repräsentationen schwer zu unterscheiden sind. Außerdem mag es sein, dass Kategorie-Spezifität durch Attribut-Spezifität erklärt werden kann. Damit ist gemeint, dass z.B. lebendige Objekte stärker visuell repräsentiert sind als nicht-lebendige Objekte und sich allein dadurch unterscheiden. Die konsistentesten Befunde in diesem Bereich sind Aktivierungen des medialen okzipitalen Kortex bei Betrachten von Tieren und des lateralen und temporalen prämotorischen Kortex bei Werkzeugen.

Die Autorin berichtet weiters von Studien über den Abruf und die Selektion von semantischem Wissen, die konsistente Aktivierungen im linken inferioren frontalen gyrus (IIFG) als auch in ventralen posterioren Regionen der Temporallappen fanden. Sie argumentiert jedoch gegen die Annahme eines allgemeinen semantischen Verarbeitungssystems, da der IIFG eher bei Auswahl und Selektion als bei Abruf eine Rolle zu spielen scheint. Gegen den ventralen posterioren Teil der Temporallappen als amodales und a-attributives semantisches System spricht, dass er nach Clustern von Objekteigenschaften organisiert zu sein scheint.

Eine andere Position vertreten Patterson et al. (2007) [83]. Sie teilen die Sichtweise eines weit verteilten semantischen Systems, das auf spezifischen sensorischen, motorischen und linguistischen Teilbereichen aufbaut. Doch sie nehmen an, dass es zusätzlich ein amodales Zentrum (*hub*) gibt, in dem alle semantischen Repräsentationen, gleich welcher Modalität (hier auch im Sinne von Farbe, Form, etc.) oder Kategorie, konvergieren. Erst diese Verarbeitung aller semantischen Relationen in einer Region ermöglicht die Bildung generalisierter semantischer Konzepte. Sie stützen diese Theorie auf viele klinische Befunde von Patienten mit semantischer Demenz (SD), einer neurodegenerativen Erkrankung, die zu den fronto-temporalen Demenzen gezählt wird und bei der meist eine eng umgrenzte Läsion linker oder bilateraler anteriorer Regionen des Temporallappens (ATL) besteht. Ein

Charakteristikum der SD ist, dass die Betroffenen bei ansonsten weitgehend intakten kognitiven Fähigkeiten Schwierigkeiten haben, Bilder zu benennen (anomia). Nicht weil ihnen das Wort gerade nicht einfällt, sondern weil sie die Bedeutung eines Objektes und seiner Eigenschaften nicht mehr kennen. Sie wissen zum Beispiel nicht mehr, was ein Schaf ist, wenn sie es sehen, oder benennen ein Zebra als Pferd und fragen, was es mit den komischen Streifen auf sich hat. Diese Schwierigkeiten bestehen auch, wenn sie eine Beschreibung des Objekts lesen oder bei Präsentation einer Teileigenschaft dieses Objekts (z.B. eines Geräusches), also auf multimodaler Ebene. Die Schwierigkeit der korrekten Benennung hängt dabei von vier Faktoren ab [62]: Schweregrad der Erkrankung, Bekanntheit des Objektes, wie typisch ein Ding für seine Kategorie ist, und wie detailliert der Proband das Objekt benennen muss. Bei Alzheimer Demenz hingegen sind die Atrophien oft weit verstreuter und betreffen Regionen, die als Teil des verzweigten semantischen Systems gesehen werden. Die Betroffenen haben jedoch normalerweise weniger semantische Schwierigkeiten als SD Patienten.

Patterson et al. vermuten die Region der Konvergenz also in den anterioren Temporallappen, und belegen dies auch mit Befunden mehrerer PET und fMRI Studien. Sie erklären die relativ spärlichen ATL Befunde aus fMRI Studien mit einer methodischen Schwäche des fMRI. Durch die Nähe der temporal-Pole zu luftgefüllten Hohlräumen sinkt das Signal-Rausch-Verhältnis dort drastisch ab. Diese Verschlechterung der Messeigenschaften nennt man Suszeptibilitätsartefakt. Ein weiteres Argument, das für den ATL als semantische Konvergenzstelle spricht, ist die neuroanatomische Nähe zum limbischen Bewertungssystem und medial-temporalen Gedächtnissystem, so die Autoren. Denn praktisch jede konzeptuelle Repräsentation ist auch mit einem affektiven Label versehen, und konzeptuelles Wissen wird mit Informationen des episodischen Gedächtnisses gespeist.

Ein weiterer Befund ist die vermutliche Sensitivität der Temporalpole auf spezifische semantische Klassifikationen. Denn wenn gesunde Probanden urteilen sollten, ob das Foto eines Rotkehlchens ein Tier (übergeordnete Kategorie), einen Vogel (grundlegende Ebene) oder ein Rotkehlchen (spezifische Ebene) zeigte, waren die Temporalpole in der Bedingung spezifisch vs. übergeordnet / grundlegend stärker aktiviert [91]. Ähnliches kennt man von SD Patienten, die manchmal zwar ein Tier als solches benennen können, nicht aber die Art, während Gesunde schneller die Art als das Reich (Tier) nennen können [92].

Die Autoren schließen mit dem Hinweis, dass ein amodales, konvergentes semantisches System nötig ist, um generalisierte Konzepte zu bilden, und geben ein Beispiel: die Begriffe Birne und Banane (engl. pear, banana) teilen wenige gemeinsame Eigenschaften. Ihre Wörter sehen verschieden aus, sie haben unterschiedliche Form und Farbe. Trotzdem werden sie von einem Gesunden schnell als konzeptuell ähnlich erkannt, beides sind

Früchte. Nach dem rein verteilten semantischen Modell ließe sich nur durch eine Gewichtung eines bestimmten Merkmals (in diesem Fall: süß) eine Gemeinsamkeit feststellen. Die besondere Bedeutung (salience) eines bestimmten Merkmals ist jedoch von Kategorie zu Kategorie unterschiedlich. Doch um die Wichtigkeit eines Merkmals in der Kategorisierung eines Objektes zu bestimmen, muss zuerst feststehen, zu welcher Kategorie es gehört.

Die zentrale konvergente Stelle in ihrer Theorie kodiert nicht die Ähnlichkeit verschiedener Objekte in einzelnen Modalitäten, sondern die zugrunde liegenden Ähnlichkeiten in allen Modalitäten gemeinsam, die sogenannte Tiefenstruktur. Sie verweisen zur Untermauerung dieser Theorie auf ein Computermodell. [90]

Auch Pobric et al. (2010) [84] liefern unterstützende Belege für die Rolle der Temporalpole als generelle semantische Schaltzentrale. Sie lädierten den linken bzw. rechten Temporalpol funktionell mittels repetitiver transkranieller Magnetstimulation (rTMS). Die Probanden mussten Urteile über semantische Beziehungen von verbalen und bildlichen Stimuli fällen. Die Magnetstimulation links als auch rechts lateral führte zu beeinträchtigter semantischer Verarbeitung, sowohl bei den Wörtern als auch den Bildern.

Zwei Aufgabenstellungen, um unterschiedliche Ebenen semantischer Verarbeitung zu untersuchen, sind Urteile über semantische Gegebenheiten (*semantic judgement*) und lexikalische Entscheidungen (*lexical decision*). Bei ersteren wird beispielsweise die semantische Ähnlichkeit bzw. Verwandtschaft von zwei Wörtern bewertet. Dadurch wird eine explizite, offene (*overt*) semantische Verarbeitung erreicht. Bei lexikalischen Entscheidungen muss die Vp entscheiden, ob ein Wort existent oder erfunden ist. Dabei wird die semantische Bedeutung nur implizit verarbeitet. Ruff et. al. (2008) [94] untersuchten mittels fMRI diese unterschiedlichen Aufgaben bei semantisch verwandten und semantisch nicht verwandten Wortpaaren, die auditorisch dargeboten wurden. Das erste Wort des Paares wurde dabei als Prime 50 ms vor dem Zielwort präsentiert. Die Daten aus der lexikalischen Entscheidungsaufgabe wurden schon früher an anderen Vpn, jedoch mit den selben Wortpaaren und der selben experimentellen Prozedur gewonnen. Bei der semantischen Urteilsaufgabe aktivierten die semantisch nicht zusammenpassenden Wörter stärker den IFG (BA 47, 45) und den superioren temporalen gyrus (STG) als die verwandten Wörter. Über beide Aufgaben (semantic, lexical) waren folgende Areale bei nicht verwandten Wörtern aktiver: linker IFG, linker STG, Insula bilateral, rechter superiorer temporaler sulchus (STS), Cerebellum bilateral, linker postcentraler gyrus (postCG), rechter mittlerer frontaler gyrus (MFG). Über beide Bedingungen hinweg waren in der semantischen gegenüber der lexikalischen Aufgabe aktiver: STG bilateral, linker medialer frontaler gyrus (medFG). Überraschenderweise wurden keine Unterschiede im IFG gefunden, wobei die Autoren

experimentelle Unterschiede zwischen den beiden Aufgaben, als auch deren Ähnlichkeit an sich als mögliche Ursachen diskutieren. Sie schließen, dass die Wortpaare unabhängig von der Aufgabenanforderung zu automatischen Aktivierungen von semantisch-lexikalischen Repräsentationen führten. Wechselwirkungseffekte gab es weder im IFG noch im STG, sondern nur im rechten nucleus caudatus, linken inferioren parietalen lobulus (IPL) sowie rechten medFG.

1.3. Semantische Fehler – Semantischer Konflikt

1.3.1. Die „N400“

Debruilles (2007) [24] gibt in einem Reviewartikel einen recht guten Überblick über die N400, auf den ich mich im Folgenden hauptsächlich beziehe. Darin präsentiert er verschiedene experimentelle Ergebnisse und Theorien und stellt seine eigene Sicht der N400 als Phänomen semantischer Inhibition vor, auf die ich noch später zu sprechen komme.

Das elektrische Skalp-Potential, bekannt als 'N400', wurde erstmals von Kutas & Hillyard (1980) [55] beschrieben. Es ist eine Negativierung im EEG um 400 ms, die maximal über centro-parietalen Elektroden ist. Ihr Hauptgenerator liegt wahrscheinlich im medialen Temporallappen, was Ableitungen mit intrakraniellen Elektroden nahelegen [64]. Sie tritt auf, wenn Sätze mit einem semantisch unpassenden oder auch einem unerwarteten Wort beendet werden (z.B. "*He likes cream and sugar in his socks*". / "*He likes cream and sugar in his tea*" (statt *coffee*)). Das Potential ist dabei schwächer, je weniger unerwartet oder semantisch ähnlicher sich das erwartete und das tatsächliche Satzende sind. So erzeugt zum Beispiel der Satz "*Don't touch the wet dog*" (statt *paint*) eine stärkere N400 als das Beispiel mit dem Tee. Man muss sich aber fragen, ob in diesem Fall die Erwartung und semantische Ähnlichkeit nicht im Grunde ein und die selbe Kategorie darstellen. Denn semantisch unpassende Wörter kommen in der Regel auch unerwarteter. Auch nicht verwandte Wortpaare [99] oder Worte, die nicht in eine durch eine Wortreihe vorgegebene Kategorie passen [30], lösen eine N400 aus. Keine N400 wurde bei Erwartungsverletzungen in arithmetischen Reihen, alphabetischen Reihen [86] oder auch Melodien mit falschem Endton, auf- und absteigenden Tonreihen und geometrischen Formen, die in der Größe variierten [10], gefunden. Auch bei Gesichtern berühmter Persönlichkeiten wurde eine ähnliche Negativierung gefunden, wenn ein nicht zusammenpassendes Paar von Fotografien dieses Gesichtes dargeboten wurde, nicht so aber bei unbekanntem Gesichtern. [6] Wenn einem berühmten Gesicht aber das Gesicht einer Persönlichkeit ähnlicher Kategorie vorangeht (z.B. zwei Präsidenten), ist das Potential abgeschwächt. [7] Eine Möglichkeit, diese Effekte zu erklären, ist semantisches Priming / Aktivierung, das die N400 repräsentieren soll. [56] Der Priming-Effekt der N400 (ihre Abschwächung) passiert auch bei Priming-Stimuli, die einer anderen Modalität als der Ziel-Stimulus angehören (z.B. Wort – Geräusch). [104]

Eine andere Theorie sieht die N400 im Kontext der Integration von Wissen. Demnach ist die N400 proportional zum Aufwand der aufgebracht werden muss, um die einzelnen Teile in

einen Kontext zu integrieren. [43] Sie stützt sich auf Befunde, die durch die Aktivierungshypothese alleine nicht erklärt werden können oder mit ihr im Widerspruch stehen. So wirkt sich die Zerstörung physischer Aspekte eines Stimulus nicht auf die N400, sehr wohl aber auf lexikalische Verarbeitung aus. [43] Außerdem passiert das Lesen von Wörtern sehr schnell (200-300 ms), sodass die N400 zu spät kommt, um Prozesse widerzuspiegeln, die so früh passieren wie die Lexikalischen. [24]

Einige Ergebnisse sind aber mit dieser Theorie schwer in Einklang zu bringen oder verlangen nach einer Erweiterung. Kuperberg et al. (2003) [54] zeigten, dass Sätze, die sehr unerwartet waren ("*The cat fled from the mice*", oder "*The woman told the suitcase*"), keine N400 auslösten wenn die Vpn zuvor einen Text lasen, der einen Touristen, die Frau und den Aktenkoffer erwähnte, also in gewisser Weise in den Gesamtkontext passten. Sieht man die 'Menge an Wissensintegration' als ausschlaggebend, ist das Ergebnis erklärbar, da durch die Vorinformation der Satz nicht mehr so inkompatibel ist. Ebenso lassen sich dadurch Ergebnisse erklären, denen nach Nichtwörter stärkere N400 auslösen, wenn sie echten Wörtern ähnlich sind. Auch Wörter, die viele ähnlich klingende orthographische Nachbarn haben, lösen eine stärkere N400 aus. [44] Da sie viele andere Repräsentationen aktivieren, muss viel Menge an Wissen integriert werden. Eine andere Studie zeigte, dass häufige Wörter schwächere N400 auslösen [97]. Das lässt sich nicht mit der Integrationsmengentheorie erklären, da häufige Wörter mehr verwandte semantische Begriffe aktivieren müssten. Doch wenn man die N400 als Phänomen der 'Schwierigkeit der Integration' sieht, ist verständlich, dass häufige Wörter leichter zu integrieren sind als seltene.

Debrulle (2007) [24] führt in seinem Reviewartikel eine Studie von DeLong et al. (2005) [26] an, die in Kontrast zu beiden Erklärungsansätzen, Menge und Schwierigkeit der Integration, stehen soll. Es wurden Paare von Indefinitpronomen (unbestimmten Fürwörtern) mit Nomen gebildet und deren Vorhersagewahrscheinlichkeit in bestimmten Satzkontexten bestimmt. D.h. die Wahrscheinlichkeit, mit der jemand in einem Lückentext einen Satz mit einer bestimmten Fürwort-Nomen Kombination beendet. So war beim Satz "*The day was breezy, so the boy went outside to fly...*" die Wahrscheinlichkeit dass ein *a* folgte (jemand den Satz mit *a* fortführte) 86% und dass ein *kite* folgte 89%. Die Wahrscheinlichkeiten für *an* und *plane* waren dementsprechend geringer. Es wurde jedoch keine phonologisch falsche Kombination (*an kite*) verwendet. Während des ERP Experiments wurde über mehrere Vpn der selbe Satzkontext mit wahrscheinlicheren bzw. unwahrscheinlicheren Fürwort-Nomen Kombinationen fortgesetzt. Es zeigte sich, dass bereits die Pronomen eine N400 auslösten, deren Stärke von ihrer kontextuellen (Un-)Wahrscheinlichkeit abhängig war. Das Fürwort liefert also kontextuelle Informationen, die die Vorhersage des nächsten Wortes weiter

einschränken. Die Autoren argumentieren, dass die Probanden die phonologische Form des Nomens antizipierten und daher während des Lesens des Satzes schon Erwartungen bezüglich des Fürworts gebildet haben mussten.

Doch Debruilles Argument [24], dass die Pronomen kein zu integrierendes 'Weltwissen' transportieren, Fürwörter an dieser Stelle im Satz zu erwarten wären und sie noch dazu zu den häufigsten Wörtern überhaupt zählen, scheint mir irreführend. Denn wenn ein Fürwort zur Antizipation bestimmter Nomen beiträgt, kann es durchaus schon zur Voraktivierung dieser passenden oder unpassenden semantischen Repräsentation führen, was auch DeLong et al. (2005) [26] behaupten. Diese könnte der eigentliche Urheber dieser N400 sein. Debruille (2007) [24] stellt also die These auf, dass die N400 durch Prozesse der Inhibition sich widersprechender Bedeutungen entsteht. Wenn man zum Beispiel das Wort *Bank* liest, werden gleichzeitig die Bedeutungen der 'Sitzbank' als auch der 'Geldbank' aktiviert. In einem Satz wird normalerweise nur die dem Kontext entsprechende Bedeutung bewusst, was auf die Inhibition der anderen Bedeutung zurückführbar sein soll. Eine andere Erklärungsmöglichkeit bieten McNamara et al. (2004) [65]. Sie zeigten, dass Menschen, die viel Wissen über Baseball, aber wenig Allgemeinwissen besitzen, die unpassende Bedeutung eines ambigen Wortes in einem Baseball-Kontext schneller unterdrücken, nicht aber in allgemeinen Kontexten. Menschen, die hingegen viel Allgemeinwissen besitzen, unterdrücken die unpassende Bedeutung von ambigen Wörtern schneller in allgemeinen Kontexten. Sie führen diese Effekte auf die Aktivierung von Wissen über die Bedeutung des Wortes zurück.

Laut Debruille [24] erfordert auch das Lesen eines Wortes mit vielen orthographischen Nachbarn (Wörter, die sich nur durch einen Buchstaben voneinander unterscheiden) die Unterdrückung derselben, weshalb die N400 bei solchen Wörtern größer ist. Bei Pseudowörtern, die richtigen Wörtern ähneln, wird zunächst das ähnliche Wort und dessen assoziiertes Wissen aktiviert. Beim Feststellen der fehlenden Übereinstimmung wird die situationsbezogene Repräsentation 'das Wort wurde falsch geschrieben' aktiviert. Die beiden Repräsentationen liegen im Wettstreit und schlussendlich gewinnt die Repräsentation, die mit der Wahrnehmung übereinstimmt. Auch Wissen über ein Objekt, das in einem gegebenen Kontext unpassend ist, muss laut Debruille inhibiert werden. Wenn man beispielsweise *Hund* normalerweise mit 'treuer Freund des Menschen' assoziiert, in einer Zeitung aber den Satz 'Wilde Hunde töten Schafe in Australien' liest. Häufige Wörter sollen eine geringere N400 provozieren, da das Gehirn solche Wörter besser 'trainiert' hat und weniger falsche Repräsentationen (z.B. durch ähnliche Wörter) aktiviert. Außerdem sind sie mit mehr Kontexten verbunden und passen somit öfter in den gegebenen Kontext und müssen nicht inhibiert werden.

Abschließend möchte ich dazu anmerken, dass mir diese unterschiedlichen Sichtweisen, 'Integration' versus 'Inhibition', eher als begriffliche, denn als substantielle Unterschiede erscheinen. Wenn zwei Bedeutungsrepräsentationen miteinander konkurrieren und dieser Konflikt schließlich aufgelöst oder zumindest die Unterschiedlichkeit zweier Konzepte erkannt und die Relevanz in einer gegebenen Situation evaluiert wird, beinhaltet das beiderlei Prozesse. Der Vergleich von Repräsentationen und Einbettung in vorhandenes Wissen ist natürlich Integration. Dass bei der mitlaufenden Evaluation der Relevanz für die gegebene Situation weniger passende Repräsentationen inhibiert werden, ist naheliegend. Die N400 könnte also auch die Summe beider Prozesse darstellen. Dies würde auch erklären, warum beide Theorien die meisten der experimentellen Befunde erklären können. Es mag natürlich auch sein, dass beiden Erklärungen ein noch grundlegenderer Prozess gemeinsam zugrunde liegt.

Doch die N400 kann nicht nur durch verbale Stimuli ausgelöst werden, sie ist wahrscheinlich amodal. So wurde das Potential in einem Versuch von Nigam et al. (1992) [77] gleichermaßen bei Sätzen, deren letztes Wort semantisch unpassend / unerwartet war, gefunden, als auch wenn dieser Begriff (z.B. Socken) als Bild dargestellt wurde. Sie fanden auch keine Latenzunterschiede, was darauf schließen lässt, dass die N400 bei der Bildbedingung nicht durch stilles Benennen ausgelöst wurde, da das Benennen von Bildern erfahrungsgemäß 150-200 ms langsamer als das von Wörtern ist.

Eine weitere Studie mit piktoralen Stimuli bediente sich des semantischen Priming Paradigmas in zwei Experimenten. Die Vpn sahen das Bild eines realen Objektes (Ziel) und mussten im ersten Experiment entscheiden, ob es mit einem zuvor gezeigten Objekt (Prime) stark, mäßig oder gar nicht verwandt ist. Im zweiten Experiment mussten sie den Zielreiz identifizieren, wobei es bezüglich des Primes Paare von verwandten / leicht identifizierbaren, nicht verwandten / leicht identifizierbaren und nicht verwandten / unidentifizierbaren Objekten gab. Sie fanden ein negatives ereigniskorreliertes Potential mit anteriorem Schwerpunkt um 300 ms (N300) und eine spätere Negativierung um 400 ms mit temporalen, temporoparietalen und zentraler Verteilung. Die N300 unterschied zwischen den verwandten und nicht verwandten Bildern in Experiment 1 und 2. Die N400 unterschied zwischen nicht und mäßig verwandten bzw. mäßig und stark verwandten Bildern in Experiment 1.

Ganis und Kutas (2003) [35] untersuchten den Einfluss von visuellen Szenen auf Objekterkennung. Sie präsentierten für 300 ms eine visuelle Szene (z.B. Fußballspieler im Zweikampf). Danach wurde für weitere 300 ms ein passendes (Fußball) oder unpassendes Objekt (Klopapierrolle) in der Szene eingeblendet. Das Erkennen des Objektes sollte durch Tastendruck signalisiert werden. Unpassende Objekte wurden langsamer erkannt als

passende. Beginnend mit dem Objekt-Onset kam es zu einer stetigen Positivierung, die bis 500 ms andauerte und dann ein Plateau erreichte. Zwischen 300 – 500 ms war diese Positivierung ausgeprägter für kongruente Objekte. Bei 390 ms war die Spitze einer relativen Negativierung, die für inkongruente Objekte stärker ausgeprägt war, ähnlich der klassischen N400. Interessanterweise reden die Autoren von einem N390 Kongruenz- und nicht einem Inkongruenzeffekt. Sie heben nicht die stärkere relative Negativierung bei inkongruenten Objekten hervor, sondern dass diese bei kongruenten Objekten schwächer war. Sie erklären die stärkere Positivierung bei kongruenten Objekten mit Priming-Effekten der Szene in den anterioren Temporallappen.

Doch auch nicht sequentielle bildliche Stimuli können die N400 auslösen, wie Proverbias und Riva (2009) [87] zeigten. Sie gaben den Probanden Bilder von Menschen vor, die entweder sinnvolle oder unsinnige Tätigkeiten ausführten. Die sinnvolle Kategorie beinhaltete z.B. das Bild einer Frau, die eine Waschmaschine befüllt, oder eine Frau, die Weintrauben pflückt. Die unsinnigen Aktionen zeigten z.B. eine Frau, die ein Brot mit einer Säge schneidet, oder eine Geschäftsfrau, die auf einem Bein in der Wüste balanciert. Es zeigte sich eine N400. Diese wurde jedoch an frontalen Elektroden beobachtet, anders als die gewöhnlich rechts centro-parietale Verteilung.

1.3.2. Bildgebende Befunde

Ich möchte mich im Folgenden auf Befunde zu semantischer Verarbeitung und semantischem Fehler konzentrieren. Dennoch kann die Literatur zu syntaktischer Verarbeitung nicht ganz ignoriert werden, zumal in vielen Studien beide Bedingungen experimentell gegenübergestellt wurden. Es fällt auf, dass die tomographischen Befunde diesbezüglich teilweise sehr widersprüchlich sind. Eine Region, die dies gut widerspiegelt, ist der inferiore frontale gyrus / Kortex (IFG, IFC). Er wird von unterschiedlichen Studien mit syntaktischer oder semantischer Verarbeitung oder auch beidem, bzw. einem zugrunde liegenden Prozess in Verbindung gebracht. Eine weitere, recht wahrscheinliche Möglichkeit ist, dass der IFG heterogen organisiert ist. Aggregierte Daten von Aktivierungsfoki mehrerer Studien legen z.B. nahe, dass der anteriore Teil des IFG (v.a. BA 47) eher der semantischen, der posteriore Teil (BA 44, 45) eher der syntaktischen Verarbeitung zuzuordnen ist [105].

Kiehl et al. (1999) [52] untersuchten das N400 Paradigma und fanden stärkere Aktivierungen bei Sätzen mit semantischer Verletzung im linken inferioren frontalen sulchus (IIFS) und dem linken und rechten anterioren STS (aSTS).

Ni et al. (2000) [75] untersuchten syntaktische Verb-Fehler in Sätzen und semantisch unplausible Sätze als Oddball Stimuli mittels ereigniskorrelierten fMRI Designs, bei dem die

Vpn urteilen sollten, ob der Satz ein lebendes Objekt beinhaltet. Sie unterteilten dabei in 3 überlappende Zeitbereiche, früh (Spitze 4 sec.) mittel (7 sec.), spät (10 sec.). Die Ergebnisse unterstützen laut Autoren im Großen und Ganzen die klassische neuropsychologische Literatur, dass syntaktische Verarbeitung mit dem Broca-Areal, semantische Verarbeitung hingegen mit dem Wernicke-Areal assoziiert ist.

Die syntaktischen Fehler führten im mittleren Zeitfenster zu Aktivierungen im linken inferioren, mittleren und superioren frontalen gyrus (BA 44, 46, 47, 6, 8) und später bilateral im inferioren frontalen gyrus (BA 44, 45, 46, 47), postcentralen gyrus (BA 2), medialen Teilen des superioren frontalen gyrus (BA 8) sowie rechten supramarginalen gyrus (BA 40). Die semantischen Anomalien führten zuerst zu Aktivität bilateral in medialen Teilen des superioren frontalen gyrus (BA 9) und dem mittleren frontalen gyrus (BA 6, 9). Im mittleren Zeitfenster war Aktivität in der perisylvischen Zone zu verzeichnen, dem linken superioren temporalen gyrus (BA 22), die in der syntaktischen Bedingung nicht vorhanden war, zusätzlich im mittleren frontalen gyrus (BA 6, 46), medialen Teile des superioren frontalen gyrus (BA 6) und – schwächer als in der syntaktischen Bedingung – im inferioren frontalen gyrus (BA 44). Im späten Zeitfenster gab es Aktivierungen im linken mittleren frontalen gyrus (BA 10), posterioren Teilen des linken superioren und mittleren temporalen gyrus (BA 22) und, wie im Zeitfenster zuvor, in medialen und superioren Teilen des linken mittleren frontalen gyrus (BA 8, 9) und medialen Teilen des superioren frontalen gyrus (BA 6). Die Autoren heben hervor, dass in der syntaktischen Bedingung frontale Regionen, insbesondere der inferiore frontale gyrus, stark und posteriore Regionen schwach aktiv waren, während dies in der semantischen Bedingung eher umgekehrt war.

Newman et al. (2001) [74] untersuchten ebenfalls mit einem ereigniskorrelierten fMRI Design Sätze mit Verletzung der syntaktischen Struktur bzw. des semantischen Gehalts (z.B. "Gestern segelte ich Todd's Hotel nach China."). Die syntaktische Fehlerbedingung führte zu Aktivierungen bilateral und medial im superioren frontalen gyrus (BA 6, 8) sowie rechts lateral im anterioren superioren temporalen sulchus (BA 21/22). Semantische Fehler verursachten ein weiter verzweigtes Aktivierungsmuster links- und rechtshemisphärisch. Dazu gehörten links lateral der superiore frontale gyrus (BA 6/8), der inferiore frontale gyrus (BA 49), die fronto-polare Region (BA 10), der mittlere frontale gyrus / inferiore frontale sulchus (BA 9 / 46), mittlere gyrus cinguli (BA 24/31), mediale inferior-frontale cortex (BA 10), Hippocampus, parahippocampale und angulare gyrus. Rechts lateral der mittlere temporale gyrus angularis (AG) und der Kopf des nucleus caudatus.

Ich möchte besonders genau auf einen Versuch von Michelon et al. (2003) [67] eingehen, da ein ähnliches Paradigma wie in der vorliegenden Studie verwendet wurde und Studien zur

Untersuchung semantischer Fehler oder Anomalien in bedeutungsvollen Bildern ansonsten sehr rar sind. Die Autoren zeigten ihren Probanden inkongruente Bilder, die aus zwei zusammengefügt Objekten bestanden (Schraubenzieherkopf auf dem Körper eines Schafs, Vorderteil eines Pferdes, das in einem Glühbirnengewinde endet, etc.), und als Kontrolle normale Bilder (Fisch, Teekanne, etc.). Sie untersuchten die Verarbeitung dieser Bilder mittels randomisierten ERP-fMRI und die Gedächtnisleistung im Wiedererkennen der Bilder nach 2 Wochen (anhand einer anderen Stichprobe). Die Übergänge der inkongruenten Bilder waren so gestaltet, dass sie keine Trennung, sondern nur eine geschlossene Form erkennen ließen. In einem ersten Durchgang 'Infrequent – Inkongruenz' zeigten sie nur 5 inkongruente Bilder, 5 Oddball Bilder, die aus kongruenten Bildern mit invertierten Farben bestanden, um reine Frequenzeffekte zu erheben, und 40 kongruente Bilder. Dieser Durchgang diente dazu, Überraschungseffekte zu erheben. Im zweiten Durchgang 'Frequent – Inkongruenz' zeigten sie je 25 kongruente und inkongruente Bilder. Dieser Durchgang sollte reine Inkongruenzeffekte erheben.

Über beide Bedingungen gerechnet wurden signifikante Bildkategorie x Zeit Unterschiede in 26 von 31 *regions of interest* (ROI) gefunden: bilateral für Okzipitallappen (striatal, BA 17 und extrastriatal, BA 18, 19), Parietallappen (B7), Temporallappen (BA37), Frontallappen (BA 45/47, 6/9/44) und posteriorer Thalamus, rechts lateral für den orbitofrontalen Kortex (BA 47, 10). In allen diesen Fällen zeigten die inkongruenten Bilder stärkere hämodynamische Antworten (Aktivierungen bzw. Deaktivierungen) als kongruente Bilder. In 8 ROI ergab sich eine signifikante Bildkategorie x Kondition x Zeit Interaktion: linker striataler und extrastriataler Kortex (BA 19/37, 17/18), rechter intraparietaler Kortex (BA 7/19), bilateraler Thalamus, SMA (BA 6), inferiorer frontaler gyrus (BA 45/46) sowie frontales Operculum (45/47). In allen diesen ROI war der Unterschied zwischen inkongruenten und kongruenten Bildern stärker in der infrequenten Bedingung.

In der infrequenten Bedingung alleine waren 24 von 31 ROI signifikant. Frontal war dies u.A. bilateral im Operculum (BA 47) und prefrontalen Cortex (BA 6/9/46), im linken inferioren frontal gyrus (BA 45/46) und rechten orbitofrontalen Cortex (BA 47, 10). Der ventrale und dorsale visuelle Pfad (okzipital nach parietal bzw. temporal) zeigten bilateral signifikante Aktivierungen, ebenso wie der Thalamus. Die Oddball Bilder zeigten nur im rechten fusiformen Kortex (BA 37) und in der medialen pericalcerinen Region (BA 17/18) stärkere Aktivierungen als kongruente Bilder. Im Vergleich zu den inkongruenten Bildern zeigten sie stärkere Aktivierungen im rechten fusiformen Kortex (BA 37), dem linken ventralen extrastriatalen Kortex (BA 19/37), dem pericalcerinen Kortex (BA 17/18) und dem rechten frontalen Operculum (45/47).

Die frequente Bedingung zeigte 16 von 31 signifikante Aktivierungen und Deaktivierungen.

Diese stimmten größtenteils mit denen der infrequenten Bedingung überein. Zusätzlich wurden Deaktivierungen im posterioren cingulären Kortex (BA 23/31), linken und rechten lateralen parietalen Kortex (BA 39/40) sowie rechten medialen Temporallappen (BA 21) verzeichnet. Im Vergleich zur infrequenten Bedingung wurden keine Aktivierungen links lateral im inferioren frontalen Gyrus (BA 45/46) und posterioren Thalamus, medial im pericalcarinen Kortex (BA 17/18) und dorsalen Precuneus, und bilateral im frontalen Operculum gefunden.

Wie schon unter 1.2. erwähnt wurde der IFG immer wieder in Aufgaben mit semantischer Ambiguität bzw. Konflikt gefunden. Viele Studien untersuchten die Beteiligung des IFG mittels Homonymen. Das sind Wörter, die mehrere Bedeutungen tragen. Sie werden dabei entweder in den Kontext einzelner anderer Wörter, oder eines ganzen Satzes eingebettet. An dieser Stelle sollen einige Ergebnisse dieser Studien kurz vorgestellt werden.

Zempleni et al. (2007) [113] fanden in ihrer Studie über ambigüe Wortbedeutungen (Homonyme) mit fMRI eine Assoziation von IFG (links: BA 44, 45, rechts: BA 47) und ITG/MTG (links BA 20/37, rechts BA 20). Sie gaben den Probanden Sätze zu lesen vor, in denen früh ein ambigües Wort mit einer häufigen und einer seltenen Bedeutung vorkam. Durch das Ende des Satzes wurde die, dem jeweiligen Kontext entsprechende, Bedeutung des Wortes klar. Sie hypothesieren, dass zuerst eine der Häufigkeit der Wortbedeutung entsprechende Wahl getroffen wird und die Bedeutung am Ende des Satzes aktualisiert werden muss. Sehr ähnliche Ergebnisse brachte die Studie von Rodd et al. (2010) [89], ebenfalls mit fMRI. Sie verwendeten auditorisch präsentierte grammatikalisch korrekte und semantisch sinnvolle Sätze, die syntaktische Ambiguität oder semantische Ambiguität enthielten. Dies wurde erzielt indem (ähnlich wie bei Zempleni et al. (2007)) im Satz ein Wort vorkam, das mehrere syntaktische oder semantische Bedeutungen zulässt. Später im Satz wurde die Ambiguität dann durch den Kontext aufgelöst (Beispiel für: Semantisch stark ambigüer Satz: *In some countries hidden shells **explode** in fields.* Semantisch schwach ambigüer Satz: *In poor countries American dollars rise in value.*) Die syntaktisch ambigüen Sätze, die die nicht-dominante Wortbedeutung enthielten, als auch die Sätze mit semantischer Ambiguität – unabhängig davon, ob sie die dominante Wortbedeutung enthielten – lösten im Vergleich zu den nicht ambigüen Sätzen Aktivierung im IIFG mit Schwerpunkt im BA 44 (pars opercularis), aber auch im BA 45 (pars triangularis) und BA 47 (pars orbitalis) aus. In der semantisch ambigüen Bedingung zeigte sich eine Korrelation mit der Dominanz der Wortbedeutung für den LSTG. D.h. er war schwächer aktiv, wenn sich der Satz in Richtung nicht erwarteter Wortbedeutung auflöste. Der rechte occipitale Teil des Gyrus angularis (AG, BA 39) war bei schwacher semantischer Ambiguität aktiver als bei starker Ambiguität.

Mason et al. (2007) [63] fanden mittels fMRI bei Sätzen mit lexikalisch (semantisch) ambiguen Wörtern IIFG Aktivierung mit Schwerpunkt pars triangularis (BA 45) für ambigüe versus nicht ambigüe Sätze. Sie fanden jedoch auch einen Dominanzeffekt. Sätze, deren ambigüe Wörter zwei unterschiedlich gebräuchliche Bedeutungen tragen und die in Richtung seltene Wortbedeutungen aufgelöst wurden, führten zu stärkeren Reaktionen. Die Insula war bei diesen dominanten Ambiguitätsbedingungen ebenfalls aktiv. Das könnte mit Suppressionsprozessen oder Aufmerksamkeitswechsel erklärt werden [110].

Hoenig et al. (2009) [41] untersuchten mit fMRI lexikalisch-semantische Ambiguität mittels Homonyme, die als Zielwörter nach einem Satz eingeblendet wurden. Die Sätze unterschieden sich in den Bedingungen Ambiguität, die sich auf das vorletzte Wort bezieht, und Inkongruenz, die sich auf das Zielwort bezieht (*The teacher played the organ/piano liver/music*). Sie fanden Aktivierungen im linken dorsolateralen präfrontalen Cortex (dlPFC, BA 9), bilateral im AG (BA 39), im anterioren STG (aSTG, links BA 38/28/20, rechts BA 38) sowie rechts im gyrus parahippocampalis (parah.G, BA 36). Für die inkongruente vs. kongruente Bedingung zeigte der IFG bilateral (links BA 44/45/48, rechts BA 45) verstärkte Aktivierung.

Eine Theorie ist, dass der IFG mit semantischer Selektion oder der Lösung von Bedeutungskonflikten beschäftigt ist ([100],[78], [39]).

Grindrod et al. (2008) [39] untersuchten Wort-Triplets, bei denen die Ambiguität des zweiten Wortes durch den Kontext der anderen Beiden aufgelöst wurde (Bedingung 'einig': *coin – mint – money*) oder nicht (Bedingung 'uneinig': *candy – mint – money*) [Anm.: *mint* engl. für Minze oder Münzanstalt]. Bei der 'einigen' Bedingung wurden die ambiguen Wörter immer ihrer untergeordneten Bedeutung nach aufgelöst. Es gab auch noch eine neutrale Bedingung (*gown – mint – money*), in der das erste Wort keinen Einfluss auf das andere Wortpaar hatte. In einer vierten Bedingung waren die drei Wörter nicht verwandt (*cake – rat – money*). Die Wörter wurden dabei sequentiell auditorisch dargeboten und die Vpn mussten entscheiden, ob es sich beim letzten Wort um ein 'Wort' oder 'nicht-Wort' handelt. Der LIFG (BA 45/47) war nur aktiv, wenn die Wort-Triplets eine Lösung des Bedeutungskonflikts ('einig' vs. 'nicht-verwandt') erlaubten. In der Bedingung 'neutral' konnte ebenfalls ein semantischer Konflikt aufgelöst werden, da das dritte Wort die Bedeutung des zweiten bedingte, das erste Wort hingegen keine besondere Verwandtschaft zu den anderen beiden hatte. Dementsprechend ergab sich im Vergleich 'einig' vs. 'neutral' auch kein signifikanter IIFG Unterschied.

Auch die Ergebnisse von Zemleni et al. (2007) [113] und Mason et al. (2007) [63], Rodd et al. (2010) [89] sowie Hoenig et al. (2009) [41] lassen sich mit der Theorie der

Bedeutungsselektion bzw. Konfliktauflösung vereinbaren, da bei ihren Aufgaben ebenfalls ambigie Wort- oder Satzbedeutungen aufgelöst wurden.

Zuh et al. (2009) [115] ließen chinesische Vpn die semantische Korrektheit von Sätzen beurteilen. Dabei lösten Sätze, bei denen die semantische Verletzung klein war, stärkere Aktivität im LIFG aus. In solchen Sätzen soll mehr semantische Integration stattfinden, worauf auch die längere Reaktionszeit im Vergleich zu Sätzen mit großer semantischer Verletzung hindeuten soll.

Es gibt hingegen auch Meinungen, dass der LIFG nicht nur bei semantischen Selektionsprozessen, sondern generell bei Selektionsprozessen des Arbeitsgedächtnisses beteiligt ist ([114], [101]). Eine andere Theorie erklärt die Befunde über den IFG nicht mit Selektionsprozessen von sich widersprechenden Informationen, sondern mit Prozessen zum kontrollierten Abruf semantischer Bedeutung [106]. Nach einer weiteren Sichtweise ist die Beteiligung des LIFG an syntaktischen und semantischen Aufgaben generell auf Anforderungen des Arbeitsgedächtnisses zurückzuführen [72] (siehe auch die Diskussion dort für eine Aufzählung verschiedenster nicht verbaler Aufgaben, bei denen IFG Aktivierung festgestellt wurde). Gabriele et al. (1998) [34] sehen den IFG als spezifisch semantisches Arbeitsgedächtnis-Kompartiment.

Es gibt jedoch auch Studien, die Beteiligung des IIFG nur bei syntaktischer und nicht semantischer Verletzung gefunden haben. Friederici et al. (2003) [32] untersuchten mit Hilfe von fMRI syntaktisch und semantisch inkorrekte Sätze, die auditorisch vorgegeben wurden, wobei die Vpn Urteile über deren Korrektheit abgeben sollten. Sie fanden dabei für syntaktische Verletzungen Aktivität im anterioren und posterioren LSTG, linken posterioren frontalen operculum und Putamen, während semantische Anomalien hauptsächlich den mittleren Teil des STG bilateral, sowie die insulären Cortices aktivierten. Ein Vergleich der beiden Bedingungen brachte erhöhte Aktivität im mittleren Teil des STG für semantische Verletzungen und in den linken Basalganglien für syntaktische Verletzungen.

Möglicherweise ist der IIFG auch heterogen organisiert [85]. Devlin et al. (2003) [27] fanden, dass der linke anteriore inferiore prefrontale Cortex (IIPC) hauptsächlich auf semantische, der posteriore IPFC auf phonetische Verarbeitung anspricht. Vpn mussten ein Wort entweder semantisch beurteilen (z.B. 'ist es von Menschenhand gemacht?'), phonologisch (die Silben zählen) oder perzeptuell ('ist der Strich länger als das Wort?') beurteilen. In einem zweiten Experiment zeigten sie, dass temporäre funktionelle Läsion des anterioren IIPC mittels transcranieller Magnetstimulation zu gestörter semantischer Verarbeitung in Form von längeren Reaktionszeiten, nicht aber für die perzeptuelle Kontrollbedingung, führte.

In einer Studie, die die Faktoren semantische und phonologische Verarbeitung kontrollierte, wurde eine solche Dissoziation zwischen anteriorem und posterioren Teil des IIFG nicht gefunden [38].

1.4. Anterior Cingular Cortex (ACC)

1.4.1. Überblick: Anteriorer Cingulärer Cortex

Der Cinguläre Cortex wird funktionell dem limbischen System und anatomisch dem Telenzephalon zugeordnet [16]. Der Anteriore Cinguläre Cortex unterscheidet sich dabei vom Posterioren Cingulären Cortex zytoarchitektonisch, durch seine Projektionen als auch funktionell. Innerhalb des ACC kann man den rostral-ventralen vom dorsalen Teil unterscheiden. Ersterer wird mit der Verarbeitung emotionaler Reize in Verbindung gebracht und zeigt bei emotionalen Bildern als auch bei induzierter Traurigkeit und Patienten mit Major Depression verstärkte Aktivierung. Der dorsale Teil des ACC wird als kognitive Abteilung bezeichnet. Er wird u.a. durch Antwortselektion bei konkurrierenden Informationen (z.B. im klassischen STROOP-Test), Gedächtnisaufgaben, Aufgaben der geteilten Aufmerksamkeit, sowie verbale und motorische Antwortaufgaben aktiviert. Natürlich stehen diese beiden Bereiche, der rostral-ventrale und der dorsale, in enger Wechselwirkung, worauf hier aber nicht weiter eingegangen wird. Es sei auf den Reviewartikel von Bush et al. [16] verwiesen.

1.4.2. Error Related Negativity (ERN)

Eine prominente Gruppe von Theorien beschäftigt sich mit Fehlerverarbeitung bzw. Entscheidungsfindung. Ausgangspunkt für diese Theorien waren elektrophysiologische Experimente, die ein negatives Skalp-Potential (*error related negativity* = ERN) bei begangenen Antwortfehlern (z.B. bei *choice reaction tasks*) fanden [28].

Dieses Ereignis-korrelierte-Potential (EKP) beginnt mit dem Antwortfehler, manchmal auch schon kurz davor, hat seine größte Amplitude bei 80-100 ms und ist maximal über frontozentralen Elektroden der Mittellinie. Es ist dabei relativ unabhängig von Stimulusmodalität als auch Antwortmodalität [111]. Der Stimulus kann also visuell oder akustisch sein [29], die Antwort kann mit der Hand, den Augen oder dem Fuß getätigt werden [47].

Eine verwandte Form der ERN, die *feedback-related-negativity* (FRN) kann bei Rückmeldung eines Fehlers oder unerwarteten Ergebnisses (besser / schlechter als erwartet) gemessen werden. Sie hat eine Latenz von ca. 250-350 ms und eine ähnliche Skalpverteilung. Die Antwortmodalität als auch die Feedbackmodalität der ERN bzw. FRN spielen dabei keine Rolle. Die Antwort kann mit der Hand, den Augen oder dem Fuß getätigt worden sein und das Feedback kann visuell, auditiv oder somato-sensorisch erfolgen.

1.4.3. Error Detection, Conflict Detection & Response Selection

Man kann zwischen Theorien unterscheiden, die die Hauptaufgabe des ACC in Evaluation (*evaluative*) oder in Antwortauswahl (*response selection*) sehen. Die evaluativen Theorien gliedern sich noch einmal in Fehler-Detektion (*error-detection*) und Konflikt-Detektion (*conflict detection*) auf [46]. Im Folgenden sollen diese unterschiedlichen Theorien nun kurz vorgestellt werden, um die Ergebnisse dieser Arbeit später im Kontext des bereits existierenden theoretischen Rahmens zu diskutieren.

Die Theorie der Fehler-Detektion (*error detection*) sieht die ERN als Folge eines Vergleichsprozesses zwischen einer getätigten (falschen) Antwort und der richtigen oder beabsichtigten Antwort. Bei einfachen Reaktionszeitaufgaben, bei denen die Vp bei verschiedenen Stimuli unterschiedliche Tasten drücken soll, kommt es immer wieder zu falschen Antworten. Die Vpn korrigieren dabei manchmal sogar innerhalb von 20 ms ihre falschen Antworten! Es muss also eine Repräsentation der richtigen Antwort vorhanden sein. Die falsche Antwort mag durch vorzeitiges, impulsives Antworten zustande gekommen sein, bevor der Stimulus vollständig verarbeitet wurde [112]. Die motorische Efferenzkopie der erfolgten Antwort wird mit der Repräsentation der richtigen Antwort abgeglichen und eine Differenz (*mismatch*) festgestellt.

Uneinigkeit besteht darüber, ob dieser Abgleich mit der Antwort (dem Eintreffen der Efferenzkopie) [21] oder dem Ende des Antwort-Selektionsprozesses [28] stattfindet. Da man auch bei korrekten Antworten eine kleine ERN-ähnliche Komponente entdeckte, wurde argumentiert, dass die ERN eventuell den Vergleichsprozess selbst und nicht dessen Ergebnis darstellt [29].

Die Theorie der Konflikt-Detektion (*conflict detection*) [12] [111] gründet sich auf Beobachtungen aus Experimenten, in denen der ACC auch dann aktiv war, wenn keine falschen Antworten gegeben wurden, sondern die Stimuli mehrere konfligierende Antwortmöglichkeiten nahe legten und einen Antwortkonflikt (*response conflict*) erzeugten. So zum Beispiel in einer modifizierten Version des *flanker tests*, bei dem ein mittlerer Pfeil von je zwei Pfeilen links und rechts flankiert wird. Auf die Richtung des mittleren Pfeils soll geantwortet werden, die Pfeile rechts und links können dabei kongruent (z.B. <<<<<) oder inkongruent (<<>><) sein [12]. Auch bei STROOP-Tasks, bei denen z.B. das Wort 'Rot' in der Farbe Blau geschrieben steht und entweder auf die Farbe oder das Wort geantwortet werden soll, wurde ACC-Aktivität bei korrekten Antworten gemessen [9], des weiteren wenn die Probanden seltene statt gewöhnliche Antworten geben sollten [16].

Nach dieser Theorie erzeugt das gleichzeitige Vorhandensein mehrerer

Antwortmöglichkeiten einen Konflikt, der durch Aktivität im ACC und die ERN signalisiert wird.

Die Theorie des ACC zur Antwortauswahl (*response selection*) besagt, dass ausgehend vom mesenzephalen Dopaminsystem ein negatives Verstärkungssignal (*negative reinforcement learning signal*) zu den motorischen Arealen des ACC geschickt wird und diese so trainiert, das Verhalten optimal anzupassen. Der ACC fungiert in diesem Sinne als Kontrollfilter, der eines von mehreren – eventuell konkurrierenden – motorischen Systemen (z.B. Amygdala, dorsolateraler prefrontaler Kortex, orbito-frontal Kortex, etc.) dazu ermächtigt, die Kontrolle über das motorische System zu übernehmen. Die Basalganglien haben dabei die Rolle eines Evaluators, der den motivationalen Wert der Ereignisse überwacht. Ein Ergebnis 'schlechter als erwartet' führt zu einer phasischen Senkung des Dopaminsignals und disinhibiert damit den ACC, was als ERN gemessen werden kann [45].

1.5. Attention Deficit Hyperactivity Disorder (ADHD)

Die Aufmerksamkeits-Defizit-Hyperaktivitäts-Störung ist eine im Kindesalter beginnende Entwicklungsstörung mit den Kernsymptomen Aufmerksamkeitsstörung, Hyperaktivität und Impulsivität. Dazu reihen sich weitere Beeinträchtigungen ein wie zum Beispiel bei Problemlösen, kognitiver Flexibilität, Daueraufmerksamkeit, Antwortinhibition, Motivation oder Belohnungsaufschub.

Das ICD-10 unterscheidet zwischen der einfachen *Aktivitäts- und Aufmerksamkeitsstörung* (F 90.0) mit den drei Kernsymptomen und der *Hyperkinetischen Störung des Sozialverhaltens* (F 90.1), die zusätzlich deutliche aggressive und dissoziale Verhaltensweisen einschließt.

Das DSM-IV teilt in 3 Subtypen der Störung ein: *Aufmerksamkeitsdefizit Hyperaktivitätsstörung: Mischtyp, vorwiegend unaufmerksamer Typ bzw. vorwiegend hyperaktiver Typ*. Die Prävalenzrate liegt bei ca. 3 bis 5 %, wobei Buben ungefähr 3 bis 9 mal häufiger betroffen sind [109].

Die Symptome werden im Erwachsenenalter meist schwächer, bestehen aber bei einem Drittel der Betroffenen weiter und sind oft durch eine Abnahme motorischer Unruhe und einer Zunahme erlebter innerer Unruhe gekennzeichnet. Zudem beeinträchtigt die Unaufmerksamkeit und Impulsivität die Betroffenen in Arbeit und sozialen Beziehungen. Oft besteht eine große Trauer über verpasste Chancen [93].

Ätiologisch werden viele Einflüsse diskutiert. Als gesichert gilt eine genetische Komponente, die ca. 70 bis 91 % Varianz der Symptome erklärt. Pränatale exogene toxische Einflüsse auf das Zentralnervensystem des Foetus, wie Alkohol- oder Nikotinkonsum der Mutter, erhöhen wahrscheinlich unspezifisch das Risiko für eine Reihe neurobiologischer Funktionsstörungen, nicht speziell für ADHD [109].

Schon in den 40er Jahren des 20. Jahrhunderts stellte man fest, dass Gabe von Amphetaminen zu einer Symptomreduktion führte. Dies führte zu der Vermutung, dass bei dieser Krankheit ein Neurotransmitter-Ungleichgewicht im Gehirn besteht. Man vermutet eine Beteiligung des Dopaminsystems, da eine Blockade des Dopamin-Transporter-Proteins (DAT), z.B. durch Methylphenidat (einem Amphetaminderivat, besser bekannt als *Ritalin*), zu einer Erhöhung der extrazellulären Dopaminkonzentration führt, die von einer Symptomreduktion begleitet wird. Ähnliches gilt für die Hemmung der Noradrenalin Wiederaufnahme, z.B. durch Atomoxetin. Die dopaminerge Dysregulation wird mit dem frontalen exekutiven System, die noradrenerge mit dem posterioren Aufmerksamkeitsnetzwerk in Verbindung gebracht [22].

Eine Metaanalyse [102] brachte folgende anatomische Unterschiede bei Patienten vs. Gesunden zu Tage: Kleinhirnregionen, das Splenium des Corpus Callosum, Gesamtvolumen

des Gehirns, insbesondere der rechten Hemisphäre, rechter nucleus caudatus. Valera et al. (2007, S. 1367) merken jedoch an: "der Anteriore Cinguläre Cortex, bekannt für seine Rolle in kognitiver Kontrolle [...] wurde nur in einer strukturellen MRI Studie untersucht [...] trotz der Information aus funktionellen MRI Studien die seine potentiell wichtige Rolle bei ADHD nahelegen [102]."

In einer neueren Untersuchung wurde eine Gruppe unbehandelter ADHD Patienten mit einer Gruppe medikamentös behandelter Patienten und einer Kontrollgruppe verglichen. Sie fanden eine 21 % Volumenreduktion des linken ACC bei der unbehandelten Gruppe vs. Kontrollgruppe und eine 23 % Volumenreduktion des rechten ACC bei der behandelten Gruppe vs. Kontrollgruppe [61].

O'Connell et al. [80] gaben einer Gruppe erwachsener ADHD Patienten und einer Kontrollgruppe eine go-nogo Antwortinhibitions-Aufgabe, bei der die Fehlerwahrnehmung erhoben wurde. Die Patientengruppe machte mehr Fehler, entdeckte diese Fehler jedoch seltener. Elektrophysiologisch fanden sie, dass die sog. *Error positivity* (Pe), die mit bewusster Fehlerverarbeitung in Verbindung gebracht wird, bei der Patientengruppe signifikant kleiner war. Diese Komponente scheint wie die ERN dem ACC zu entspringen.

Van Meel et al. [103] untersuchten die ERN bei Jungen mit einer modifizierten Version des Eriksen-flanker Tests. Die Gruppe mit ADHD zeigte dabei eine höhere Fehlerrate, besonders unter Zeitdruck und Antwortkonflikt, d.h. wenn die flankierenden Stimuli dem Zielstimuli im Zentrum widersprechen. Sie schafften kürzere fehlerlose Phasen und ihre Fehlerläufe dauerten unter Zeitdruck länger. Der Unterschied der ERN Komponente zwischen korrekten und fehlerhaften Durchgängen war geringer als bei der gesunden Kontrollgruppe.

1.6. Neurofeedback

Biofeedback ist das operante Konditionieren von körperlichen Parametern (Herzfrequenz, Temperatur, etc.) durch sensorische Rückmeldung an die Vp.

Die ersten Publikationen über Biofeedback mit elektroencephalographischen Parametern (Neurofeedback) bei Menschen stammen aus den späten Sechzigern, frühen Siebzigern des 20. Jahrhunderts, z.B. von Joe Kamiya, *Conscious control of brain waves* [51]. In den letzten 40 Jahren hat sich auf dem Gebiet viel getan.

Beim Neurofeedback lernt der Proband operant (d.h. dadurch, dass gewünschtes Verhalten verstärkt – belohnt wird), einen Teil seiner Gehirnaktivität auf eine bestimmte Art zu modulieren. So kann beispielsweise trainiert werden, die Stärke eines Frequenzbandes im spontanen EEG zu verändern, oder langsame kortikale Potentiale (sog. *slow cortical potentials* = SCP) zu positivieren oder negativieren. Der springende Punkt dabei ist, dass die gerade vorherrschende, interessierende Gehirnaktivität dem Bewusstsein der Vp zugänglich gemacht wird. Dies kann z.B. visuell geschehen, indem am Bildschirm ein Punkt zu sehen ist, der sich nach oben bewegt, wenn vermehrt alpha-Aktivität produziert und gemessen wird. Die Belohnung ist der Rückmeldung dabei schon inhärent und wird durch intrinsische Motivation erzielt. Es kann aber auch ein *smiley* gezeigt oder eine Melodie gespielt werden, um die erfolgreiche Beeinflussung des Parameters zu unterstreichen. In der klinischen Anwendung bei Kindern kann die Verstärkung spielerisch eingebaut werden, z.B. in Form eines Comics, das erst bei erfolgreicher Kontrolle das nächste Bild zeigt [112]. Eine weitere Möglichkeit ist ein Punktesystem, bei dem die Probanden durch erfolgreiche Kontrolle des Parameters Punkte sammeln und diese dann gegen Geld eintauschen können [69]. Bei klinischen Anwendungen ist ja zudem ein Leidensdruck vorhanden und die Hoffnung, diesen durch eine erfolgreiche Anwendung dieser Technik zu lindern. Die Strategie, um eine erfolgreiche Manipulation des neurophysiologischen Parameters zu erreichen, unterscheidet sich dabei von Anwender zu Anwender. Um nur ein paar Beispiele aus der Literatur zu nennen: Der sensomotorische Cortex lässt sich durch vorgestellte Bewegungen, die *parahippocampal place area* durch imaginierte Landschaften aktivieren [25]. Eine Erhöhung des theta/alpha Verhältnisses kann durch schließen der Augen, Entspannung und unterschiedliche akustische Signale bei Erhöhung des jeweiligen Frequenzbandes erleichtert werden [8]. Manche Versuchsleiter oder Therapeuten geben eine Strategie vor, andere lassen die Versuchsperson selbst einen Weg finden.

Durch technische und methodische Verbesserungen in der Elektroencephalographie (EEG) sowie der funktionellen Magnetresonanztomographie (fMRI) ist man nun in der Lage, Neurofeedback mit Quellenlokalisation zu kombinieren und dadurch räumlich umgrenzte

Areale im Gehirn zu trainieren. Bei fMRI gelang dies durch die Entwicklung von Techniken wie *single-shot echo-planar imaging* [20], die es ermöglichten, vom traditionellen, geblockten Design abzugehen und randomisierte, ereigniskorrelierte Versuche mit anschließender Mittelung (*averaging*) [14] durchzuführen. Bei EEG realisierten Bauer und Pillana (2010, unveröffentlicht) quellenlokalisatorisches Neurofeedback mit einem sLORETA-verwandten Algorithmus. Die visuelle Rückmeldung bei dieser Art von Neurofeedback kann zum Beispiel über ein Quadrat am Bildschirm geschehen, das sich ausdehnt, wenn die Gehirnaktivität der *region of interest* (ROI, das Gebiet, das aktiviert werden soll) näher kommt, und zusätzlich noch die Farbe ändert, wenn die Aktivierungsstärke steigt.

1.7. Neurofeedback und ADHD

Im Folgenden wollen wir uns den Befunden zu Neurofeedback und ADHD zuwenden.

Pioniere auf dem Gebiet waren Lubar und Shouse [59], die 1976 – angeregt durch Sterman & Friar's erfolgreiches Training des sensori-motorischen Rhythmus (SMR, 12 – 15 Hz.) bei Epilepsie vier Jahre zuvor [98] – in der Fallstudie eines neunjährigen Kindes ebenfalls mit SMR-Training eine Verbesserung der ADHD Symptomatik demonstrierten. Der SMR wird auch als motorischer Ruherhythmus bezeichnet, da er besonders bei Inaktivität der motorischen und sensorischen Areale zu Tage tritt.

In einem Reviewartikel aus dem Jahr 2005 [70] wurde die Effizienz von Neurofeedback-Trainings bei ADHD evaluiert. Nach den Effizienzrichtlinien der *Association for Applied Psychophysiology and Biofeedback (AAPB)* und der *International Society for Neuronal Regulation (ISNR)* wurde die Methode als 'wahrscheinlich Effizient' (*probably efficacious*) eingestuft. Alle einbezogenen Studien berichteten von einer signifikanten Verbesserung nach dem Training bei ca. 75 % der Patienten.

Monastra et al. [68] publizierten 1999 eine Validierungsstudie, in der sie von 482 Kindern, Jugendlichen und Erwachsenen das EEG an der CZ Elektrode maßen, um ihre Hypothese zu testen, dass ADHD mit einer kortikalen Verlangsamung prefrontaler Regionen einhergeht, und sich dieser Parameter zur klinischen Klassifikation einer ADHD eignet (*quantitative EEG-scan*). Sie erzielten eine Sensitivität von 86 % (richtig positiv) und eine Spezifität von 98 % (richtig negativ).

In einer weiteren Studie [69] untersuchten sie 100 Kinder und Jugendliche (6 – 19 Jahre) mit diagnostizierter ADHD, Unaufmerksam- und Mischtyp. Alle Vpn nahmen an einem einjährigen multimodalen Programm teil, das aus Ritalin-Therapie, Elternberatung und akademischer Unterstützung in der Schule bestand. 51 Probanden erhielten außerdem theta/beta Neurofeedback-Training. Dabei sollte Theta Aktivität (4 – 8 Hz.) abgeschwächt und beta Frequenz (13 – 20 Hz.) erhöht werden (theta/beta Training). Behandlungserfolg wurde mit dem *Test of Variables of Attention (TOVA; L. M. Greenberg, 1996)* und der *Attention Deficit Disorders Evaluation Scale (ADDES; S. B. McCarney, 1995)* (Eltern- und Lehrerurteil) mit und ohne Ritalin-Medikation erhoben. Bei Ritalin-Medikation zeigten beide Gruppen Verbesserungen. Bei Absetzen des Ritalin hielten diese positiven Effekte nur bei der Neurofeedback-Gruppe an. Zusätzlich zeigte nur die Gruppe mit Neurofeedbacktraining signifikante Reduktion in kortikaler Verlangsamung, gemessen mittels *Quantitative Electroencephalographic Scanning Process*. Ein 'systematischer' Erziehungsstil wirkte sich positiv auf die ADHD Symptomatik zu Hause aus. Dieser moderierende Effekt war hauptsächlich in der Neurofeedbackgruppe zu beobachten. Die behavioralen

Verbesserungen in der Schule waren unabhängig vom Erziehungsstil. Dies lässt sich wahrscheinlich durch die schulischen Interventionen, die individuelle Unterrichts- und Betreuungspläne mit operanten Methoden beinhalteten und so selbst zu den Verbesserungen beitrugen, erklären.

Hughes & John [48] untersuchten in einer Metaanalyse 200 Studien auf die Effektivität von quantitativem EEG zur Klassifikation verschiedener psychischer und neurologischer Erkrankungen und fanden unterstützende Belege für folgende Störungen: Lern- und Aufmerksamkeitsstörungen, cerebro-vaskuläre Erkrankungen, Demenz, Schädel-Hirn-Trauma, Affektive Störungen, Schizophrenie und Substanzmissbrauch.

In einer Studie von Gevensleben et al. [36] trainierten Kinder im Alter zwischen 8 und 12 Jahren in einem Block, das Verhältnis der theta/beta Aktivität abzusenken (wie bei Monastra et al.), im anderen Block trainierten sie, langsame kortikale Potentiale (*slow cortical potentials* = SCP), die an CZ (zentrale Elektrode am Kopf) abgeleitet wurden, abwechselnd zu positivieren und zu negativieren. Die Kontrollgruppe erhielt computerisiertes Aufmerksamkeitstraining. Das kombinierte Neurofeedbacktraining führte zu einer verringerten theta-Aktivität an centro-parietalen Elektroden im Vergleich zum Aufmerksamkeitstraining, und ging mit Verbesserungen im *Fremdbeurteilungsbogen für hyperkinetische Störungen* (FBB-HKS) einher. Die einzelnen Blocks alleine waren jedoch nicht signifikant, es konnten also keine trainings-spezifischen Effekte festgestellt werden. Das könnte aber eventuell daran liegen, dass die Vpn in den Versuchsdurchgängen zur Konzentration angehalten wurden, während sie sich beim Aufzeichnen des Ruhe-EEG, das auch zur Evaluation des Therapieeffekts herangezogen wurde, entspannen sollten. Bei der Studie von Monastra et al., die eine Reduktion des theta/beta Verhältnis fanden, wurden nicht das Ruhe-EEG alleine sondern eine Mischung aus EEG-Aktivität beim Lesen, Schreiben und Zeichnen als Effektparameter herangezogen.

Heinrich et al. [40] untersuchten die Auswirkung von SCP-Training bei 7 bis 13 jährigen ADHD Patienten. Sie fanden eine 25-prozentige Besserung der behavioralen Symptomatik, gemessen mit dem *Fremdbeurteilungsbogen für hyperkinetische Störungen* (FBB-HKS). Während einer Daueraufmerksamkeitsaufgabe mit Hinweisreiz zeigten die Probanden weniger impulsive Fehler und eine stärkeres negatives Bereitschaftspotential (die *contingent negative variation* (CNV)), das bei ADHD oft abgeschwächt ist.

2. Empirischer Teil

2.1. Methode

2.1.1. Versuchspersonen

Die Versuchspersonen wurden aus Studenten der psychologischen Fakultät und dem Bekanntenkreis des Versuchsleiters akquiriert, die Teilnahme erfolgte freiwillig. Es wurden 25 rechtshändige Personen (13 Frauen, 12 Männer) zwischen 20 und 34 Jahren (MW = 26,40; Std.abw. = 4,26) ohne neurologische Vorgeschichte untersucht.

Die Vpn hatten normalen oder korrigierten Visus. Die Rechtshändigkeit wurde mit dem Edinburgh Händigkeit-Inventar [79] überprüft. Es gab keine finanzielle Aufwandsentschädigung. Um die Zeit aber möglichst angenehm zu gestalten, wurden während des Aufenthalts im Labor Getränke und Knabberereien zur Seite gestellt.

Weitere Ausschlusskriterien waren:

- Schädelfrakturen oder Implantate am Kopf
- neurologische und psychische Vorerkrankungen (z.B. Epileptische Anfälle)
- regelmäßige Psychopharmakaeinnahme
- Diabetes oder Bluterkrankheit
- ansteckende Blutkrankheiten (z.B. HIV)
- Angst vor Nadeln

2.1.2. Stimuli

Für beide (durchgeführten) Versuche galt, dass die Stimuli in einem Sehwinkel von 10° dargeboten wurden. Die Vpn saßen dabei 75 cm vom Bildschirm entfernt. Der gewählte Sehwinkel war ein Kompromiss zwischen Erkennbarkeit der komplexen Bilder und möglichst kleinen Augenbewegungen. Die Bilder des zweiten Experiments (Alltagsobjekte) wurden vom Verfasser selbst erstellt und maßen 491x491 px. Die semantischen Fehlerbilder aus dem Internet wurden so angepasst, dass die längere Seite 491 px maß. Das Seitenverhältnis wurde beibehalten. Es wurde darauf verzichtet, die Bilder quadratisch zu machen, da dies unmöglich war, ohne auffällige Streifen einzufügen oder wichtige Bildteile abzuschneiden. Die längere Seite wurde bei diesen Stimuli somit in einem Sehwinkel von 10° dargestellt. Um den Effekt eines plötzlichen Hell-Dunkel Unterschieds auszuschalten, wurde im Interstimulusintervall eine Bildversion mit zufällig vertauschten Pixeln (*scrambled picture*) dargeboten, die dieselbe Helligkeit und Farbinformation besitzt wie das Original.

Da es sich im Grunde um zwei verschiedene Versuche, die nacheinander durchgeführt wurden, handelt, werden die Wahl und der Aufbau der Stimuli ebenfalls der Reihe nach besprochen.

Die Semantischen Fehlerbilder (Stimulusbilder = SB) sollten Dinge oder Szenen zeigen, die in der Alltagsrealität der Probanden unmöglich oder zumindest ungewöhnlich waren. Oft wurde dies in den Bildern realisiert, indem thematisch fremde Elemente in eine Szenerie integriert wurden, z.B. ein Jesus-Mosaik, in dem dieser einen iPod (ebenfalls Teil des Mosaiks) in den Händen hält. Oder das Bild zeigt physikalisch widersprüchliche Gegebenheiten, die meist ein Gefühl des 'das stimmt so nicht' auslösen. Ein Beispiel für so ein Bild wäre ein Marathonläufer, der über einen See läuft, oder ein junger Elefant, der auf einem großen Vogelnest sitzt. Diese Bilder stammen von einem Internet-Forum (*worth1000.com*, 18.-25.Nov.2008), in dem im Rahmen eines Themenwettbewerbes mit Bildbearbeitungssoftware manipulierte Fotos gepostet wurden. Das Thema des betreffenden Wettbewerbs war '*impossible pictures*'. Die Auswahl der Bilder erfolgte nach Eigenschaften, die nun diskutiert werden sollen.

Die Bilder sollten möglichst gut manipuliert worden sein, sodass ein Bild durch den semantischen Fehler und nicht durch scharfe Kanten, Farb- oder Qualitätsunterschiede von hinein-kopierten Bildelementen auffällt.

Sie sollten möglichst unmittelbar erkannt werden und keine lange Fehlersuche erfordern. Dies war wichtig, um zu verhindern, dass sich die gemessenen Potentiale durch große Phasenunterschiede auslösen oder zumindest in Amplitude abschwächen und in der Wellenlänge verbreitern. Außerdem sollte ein Trial (und in Folge der Gesamtversuch) nicht zu lang werden, um Konzentration und Motivation der Versuchsperson zu schonen und endogene Störfaktoren auszuschalten. Denn sobald der Fehler in einem Bild erkannt wird, beginnt die Vp – ob willkürlich oder unwillkürlich – damit, das Bild elaborierter zu verarbeiten. Sie richtet ihre Aufmerksamkeit auf Details, der Bildinhalt weckt Assoziationen aus dem biographischen Gedächtnis der Vp, sodass schlussendlich ganz andere Informationsverarbeitungsprozesse als die eigentliche Fehlererkennung ablaufen und die physiologischen Daten mit dem zeitlichen Abstand zum Stimuli immer schwerer zu interpretieren werden.

Dieser Erfordernis wurde Rechnung getragen, indem die Bilder von 16 Probanden in die beiden Kategorien 'gewöhnlich' vs. 'ungewöhnlich/unmöglich' eingeteilt und die Latenzen gemessen wurden (siehe 2.2.1.). Da während der EEG-Aufzeichnung keine aktiven Aufgaben vom Probanden gefordert werden sollten, wurde dies in einem Vortest mit anderen Vpn realisiert. Ein Pre-Test mit den selben Vpn wie bei der EEG-Ableitung wurde aus dem Grund nicht durchgeführt, dass die Reaktion auf neuartige, zuvor noch nie gesehene Bilder

untersucht werden sollte. Die Auswahl der Stimuli erfolgte durch folgendes cut-off Kriterium: Es wurden nur Bilder in Betracht gezogen, die maximal ein Mal falsch zugeordnet wurden (z.B. ein Bild mit einem semantischen Fehler als 'gewöhnlich' bewertet). Kritisch sei anzumerken, dass es keinen Übungsdurchgang gab und einige Vpn angaben, beim ersten Bild die Antworttasten vertauscht zu haben, weshalb Bilder, die mit einer Sicherheit von 15/16 eingeteilt wurden, eventuell sehr wohl von 16 Personen richtig erkannt wurden. Die randomisierte Darbietung sollte aber verhindert haben, dass Bilder in mehreren Fällen irrtümlicherweise falsch eingeordnet wurden. Als zweites Kriterium wurden die Bilder bei Gleichstand in der Zuordnung in aufsteigender Reihenfolge nach der Reaktionszeit ausgewählt. Dies sollte gewährleisten, dass Bilder untersucht werden, die möglichst schnell und intuitiv als 'falsch' erkannt werden.

Es wurde nicht erhoben, ob den Vpn die Bilder bekannt waren. Doch da der Wettbewerb, aus dem die Bilder entnommen wurden, nicht lange zurücklag und die Bilder eigens für den Wettbewerb kreiert wurden, kann angenommen werden, dass sie zum Zeitpunkt der Datenerhebung noch keine große Verbreitung im Internet erfahren hatten.

Die Bilder der Kontrollbedingung (Kontrollbild = KB) wurden mit der Bildersuchfunktion von Google aus dem Internet entnommen. Sie sollten folgende Ansprüche erfüllen. Der Inhalt sollte nicht ungewöhnlich oder ausgefallen sein. Es sollten ähnliche semantische Inhalte zu sehen sein, wie sie auch in den Bildern der Versuchsbedingung vorkamen. Wenn auf einem Stimulusbild also ein Rodeoreiter auf einer Katze reitend zu sehen war, suchte ich nach dem Bild eines Rodeoreiters auf einem Pferd und dem Bild einer Katze in gewöhnlicher Pose. Dies sollte verhindern, dass Stimulusbilder kategorisch andere Inhalte zeigen als Kontrollbilder. Bei der Evaluation der Antwortlatenzen wurden dabei manche SB und KB verworfen, sodass schlussendlich nicht jedes thematische Bildelement in SB und KB vorkam. Es wurde bei der Suche nach Kontrollbildern natürlich darauf geachtet, dass keines als Ursprungsmaterial bei den manipulierten Bildern vorkam. Außerdem sollte das Bildelement (z.B. Rodeoreiter) auf SB und KB nicht in die selbe Richtung schauen. Dennoch bleibt die Frage, ob nicht eventuelle Wiedererkennungseffekte (Rodeoreiter auf Katze vs. Rodeoreiter auf Pferd) in die Daten einfließen. Doch das schien das geringere Übel zu sein als systematische semantische Inhaltseffekte.

Die Bilder der Alltagsobjekte wurden, wie schon erwähnt, selbst hergestellt. Dies geschah, indem ein durchsichtiger Nylonfaden auf den Objekten befestigt wurde und diese daran aufgehängt wurden. Die Objekte wurden aus konstanter Entfernung (ca. 75 cm) mit einer digitalen Spiegelreflexkamera fotografiert. Die Gegenstände wurden allesamt dem Haushalt des Verfassers und dessen Familie entnommen.

Die Nachbearbeitung der Bilder geschah mit der Bildbearbeitungssoftware *Photoshop*. Dabei

wurde – wo sichtbar – der Nylonfaden heraus-editiert und die Objekte ausgeschnitten, sodass sie auf konstant weißem Hintergrund präsentiert werden konnten. Da aufgrund der starken Größenunterschiede der Objekte und der konstanten Entfernung bei der Aufnahme der Bilder manche Gegenstände bei originaler Größenrelation zueinander nicht erkennbar gewesen wären, wurden diese vergrößert. Es wurde darauf geachtet, dass kein Objekt den Bildrand berührt.

Für Beispiele zu den Stimuli, siehe 4.2..

2.1.3. Versuchsdesign

Hierbei wurde auf ein simples aber verlässliches randomisiertes Stimulus – Interstimulus Design zurückgegriffen. Beide Versuche – die semantischen Fehlerbilder als auch die Alltagsobjekte – enthielten 30 Stimuli der Versuchsbedingung und 30 der Kontrollbedingung.

Zu Beginn jedes Durchganges (*trials*) wurde 5000 – 7000 ms eine sog. *scrambled picture* Version des folgenden Bildes eingeblendet, um Einflüsse durch Helligkeits- und Farbunterschiede zu Beginn der Stimulusdarbietung auszuschalten. Dies ist das Interstimulusintervall. Beim scrambled picture sind die einzelnen Pixel des Bildes zufällig miteinander vertauscht, sodass Farb- und Helligkeitsinformationen erhalten bleiben, der strukturelle und semantische Gehalt jedoch verloren geht und somit in diesem Bereich auch keine Priming-Effekte auftreten. Das Interstimulusintervall wurde in der zeitlichen Dauer leicht variabel gestaltet, um Erwartungseffekte abzuschwächen. Die Gesamttriallänge betrug durchschnittlich 10 Sekunden. Bei 60 Trials pro Versuch betrug die Gesamtdauer des Experiments (inklusive Pausen) damit ca. 24 Minuten.

Abbildungen 1 und 2 zeigen die experimentellen Designs beider Versuche. Es wurde beim Interstimulusintervall absichtlich auf ein Fixationskreuz, wie es bei EEG Untersuchungen üblich ist, verzichtet. Denn bei den Stimuli, besonders den semantischen, handelt es sich um sehr komplexe Bilder. Die Bildkomponenten, die dabei den semantischen Fehler konstituieren, finden sich nicht immer im Zentrum des Bildes. Generell ist aber die meiste inhaltliche Information im zentralen Bereich des Bildes zu finden. Bei den Kontrollbildern gibt es keine Bildkomponente, die einen semantischen Fehler vermittelt und sich im peripheren Bereich befinden könnte. Es gibt also systematische Unterschiede im Bildaufbau. Um den Einfluss dieser systematischen Unterschiede abzuschwächen oder zumindest nicht noch durch gezieltes Lenken der Aufmerksamkeit zu verstärken, wurde auf das Fixationskreuz verzichtet. Dadurch, dass man der Vp die Freiheit lässt, den Blick beim Bildwechsel auf einen beliebigen Teil des Bildbereiches zu richten, führt man eine gewisse Zufallskomponente ein, die dem systematischen Effekt entgegenwirken sollte. Manchmal richtet sich die fokale visuelle Aufmerksamkeit zufällig auf das Detail, das den semantischen

Fehler (mit-)konstituiert, manchmal nicht. Der Nachteil, den man sich dabei einhandelt, ist eine etwas größere Variabilität der Augenbewegungen.

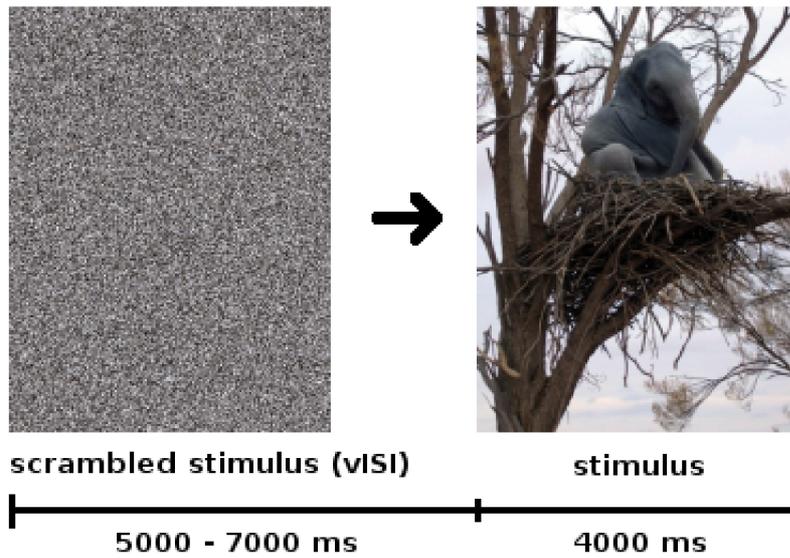


Abbildung 1: Versuchsdesign: semantische Fehlerbilder. Bild: worth1000.com [25.11.2008]

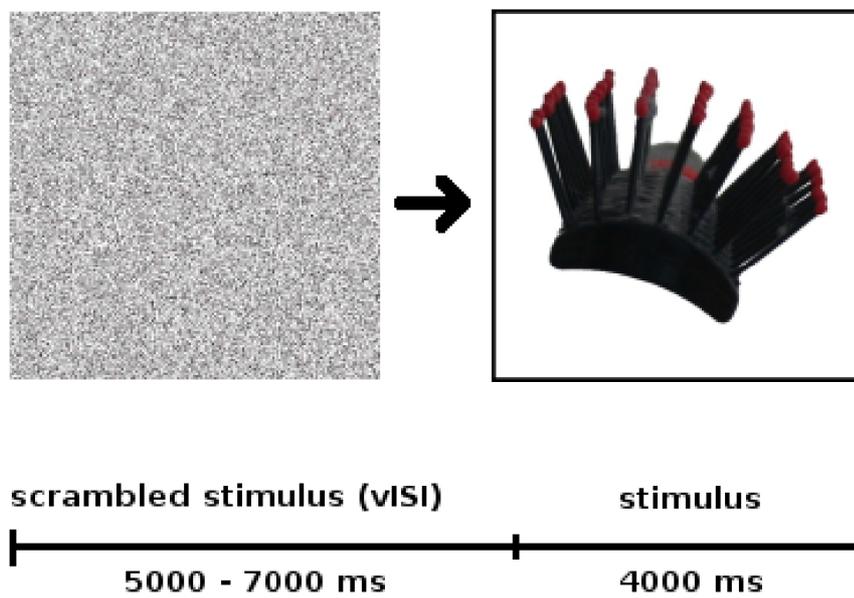


Abbildung 2: Versuchsdesign: Alltagsobjekte aus ungewöhnlichen Blickwinkeln. Foto: Jakob Leyrer

2.1.4. Experimenteller Ablauf

Bei den meisten der experimentellen Durchführungen war eine zweite Person als Unterstützung anwesend. Diese hatte ebenfalls die Laborberechtigung des Brain Lab.

Noch vor der Ankunft der Versuchsperson wurden die nötigen Vorbereitungen für eine reibungslose Versuchsdurchführung getroffen: Elektrodengel, bestehend aus salzhaltiger Stärke, wurde in zwei Spritzen mit dicker Kanüle aufgezogen. Dabei wurde darauf geachtet, etwaige Lufteinschlüsse 'herauszuklopfen'. Das Elektrodengel war zuvor mit einer Wasserstrahl-basierenden Vakuum-Pumpe evakuiert worden, um Luftbläschen zu entfernen. Die für die Referenzen, Masse, sowie Elektrokulogramm erforderlichen 7 externen Elektroden wurden in die dazugehörigen Kunststoffsockel gesteckt und auf diesen doppelseitige Kleberinge befestigt. Weiters wurden bereitgestellt: ein Maßband zur Vermessung des Kopfmittelpunktes; Kajalstift zur Markierung desselben; 70-prozentiger Ethanol, Watte pads und Wattestäbchen zur Desinfektion; in die Hälfte geschnittene Wattestäbchen zum Beiseite-schieben der Haare; einige feine Kanülen zum Aufkratzen der Kopfhaut und Verbessern der Leitfähigkeit (siehe unten); sowie Handdesinfektionsmittel und Latexhandschuhe aus Gründen der Hygiene. Der PC zur späteren Registrierung des EEG und der PC zur Aufnahme der Elektrodenkoordinaten wurden ebenfalls schon hochgefahren.

Nach der Empfangnahme der Versuchsperson wurde diese grob über die kommenden Schritte aufgeklärt und ihr dann der laboreigene Zettel zur "Probandeninformation und Einverständniserklärung zur EEG-Ableitung" zum Lesen ausgehändigt. Als nächstes füllte die Vp den Händigkeitsfragebogen aus, der gleich im Anschluss inspiziert wurde. Da die Formulierung der Übersetzung des Edinburgh Händigkeits-Inventars erfahrungsgemäß oft missverstanden wird, wurde der Fragebogen zuvor noch mündlich erklärt.

Der Kopfmittelpunkt auf der Achse rostral-kaudal wurde mit dem Maßband als halbe Wegstrecke zwischen Nasion (dem Ansatz des Nasenbeins) und Inion (dem Höcker vor dem Abfall des Schädels in den Nacken) abgemessen und markiert. Der Mittelpunkt auf der lateralen Achse wurde mit Hilfe der Lage des Gehörganges visuell ermittelt. Die Elektrodenhaube wurde mit der CZ-Elektrode auf den vermessenen Scheitel-Mittelpunkt gelegt und mit Gurten, die seitlich der Ohren weggehen, an einem Brustgurt fixiert. Zusätzlich wurden 3 frontale Elektroden mit doppelseitigen Kleberingen an der mit Alkohol von Hautfett befreiten Stirn befestigt, um ein nach hinten Rutschen der Haube zu verhindern. Anschließend wurde mit der Vermessung der Elektrodenkoordinaten durch den eigens von Herbert Bauer und Ulrich Leodolter im Labor entwickelten *Photogrammetric Head Digitizer* (PHD) [1] begonnen. Im verwendeten Setup werden dabei in 17 Elektrodenringe fluoreszierende Marker gesteckt. Der PHD ist im Grunde eine viel-eckige Kuppel mit einer Öffnung, in die der Kopf der Vp positioniert wird. In der Kuppel befinden sich Schwarzlicht-

Lampen, die die Marker zum Fluoreszieren bringen, und 13 Kameras, die aus unterschiedlichen Winkeln den Kopf mit den Markern fotografieren. Das Programm errechnet dann aus den Differenzen der Marker-Positionen auf den unterschiedlichen Fotos Koordinaten für die korrespondierenden Elektroden.

Für die Applikation der Elektroden wechselten wir mit der Vp vom Hochparterre-Labor in das Kellerlabor, in dem die Ableitungen stattfanden. Dort wurde damit begonnen, die Haare unter den Elektroden beiseite zu schieben, um anschließend ein Desinfizieren der darunter liegenden Haut mit 70-prozentigem Ethanol vorzunehmen. Mit feinen Kanülen (0.4x22 mm) wurde dann die Kopfhaut unter den Elektroden angeritzt, sog. *skin scratching* [2]. Dies dient dazu, den Widerstand der Haut erheblich zu senken. Es wurde dabei geachtet, genaues Feedback der Vp bezüglich ihres Befindens einzuholen. Nachdem einige Elektroden 'gekratzt' waren, wurden diese sogleich mit dem Elektrodengel aufgefüllt. Dabei wurde die Elektrode leicht am Sockel aufgehoben und das Gel mit kreisenden Bewegungen von der Kopfhaut weg eingefüllt, um einen guten Kontakt unter dem Elektrodenring herzustellen und möglichst wenig Lufteinschlüsse zu verursachen. Der Erfolg der Prozedur wurde mit Hilfe eines Impedanzmessgerätes der Firma Zickler überprüft. Nur Widerstände $\leq 2 \text{ k}\Omega$ wurden akzeptiert. Schon während der Elektrodenapplikation (ca. eine halbe Stunde vor Beginn des Versuchs) wurde der Verstärker eingeschaltet um zu gewährleisten, dass er auf Betriebstemperatur kommt, aber gleichzeitig ein stundenlanges Heiß-laufen zu verhindern.

Unmittelbar vor dem Einstecken der Elektroden in die Elektrodenbox im Versuchsraum wurde die Versuchsperson daran erinnert, bei Bedarf noch einmal die Toilette aufzusuchen, um diesen möglichen Stressor während der Ableitung auszuschließen. Die Verbindung der Elektroden mit der Elektrodenbox geschieht nach einer fixen Zuordnung und bedarf äußerster Sorgfalt. Denn der Fehler einer falsch eingesteckten Elektrode wird im Nachhinein meist nicht mehr erkannt. Spätestens zu diesem Zeitpunkt wurde der Vp (noch einmal) der Versuch mündlich erklärt. Sie wurde auch auf die Webcam hingewiesen, die zur Überwachung ihres Wohlergehens auf sie gerichtet war. Es wurde sichergestellt, dass sie gemütlich sitzt, und sie wurde über die Problematik von Artefakten, verursacht durch Augen- und Körperbewegungen, aufgeklärt. Die Probanden sollten sich während der Aufzeichnung möglichst wenig bewegen oder blinzeln, besonders während der Darbietung der Stimuli. Die 2 Pausen nach jeweils ca. 4 Minuten und auch die mindestens 5 Sekunden lang dauernden Interstimulusintervalle konnten sie für zwingende Bewegungen wie Husten, Kratzen und Lockerungen verwenden. Danach wurde die große Leuchtstoffröhre an der Decke ausgeschaltet und nur eine kleine Tischlampe am Boden als indirektes Licht angelassen. Dies sollte die Konzentration auf den hellen Monitor lenken, gleichzeitig aber die Anstrengung der Augen durch den hell-dunkel Kontrast in Grenzen halten.



Abbildung 3: Elektrodenbrause und Setting.
<http://brl.psy.univie.ac.at>, 01.05.2010

Vor Beginn der Ableitung des Okulogramms wurden die EEG-Kanäle visuell nach Auffälligkeiten wie 'toten', stark verrauschten, driftenden etc. Kurven inspiziert. Zusätzlich wurden die Bestandspotentiale betrachtet, die nicht schwanken und den Wert von $8000\mu\text{V}$ nicht überschreiten sollten. Meist lagen diese Werte aber weit darunter (um $4000\mu\text{V}$). Kanäle mit schlechtem Signal wurden durch Haare beiseite Schieben, eventuell erneutes Kratzen und Auffüllen mit Gel – oder bei Versagen dieser Methoden durch Elektrodentausch – auf ein akzeptables Niveau gebracht. Danach wurden jeweils für ca. 30 Sekunden horizontale bzw. vertikale Blicksprünge aufgezeichnet, um bei der späteren Datenvorverarbeitung mit den dabei berechneten Korrekturwerten die Augenbewegungen in den EEG-Daten zu korrigieren [3]. Die Vpn folgen dabei mit den Augen einem roten, ausgefüllten Kreis, der zwischen oberem und unterem bzw. linkem und rechtem Bildschirmrand hin und her springt. Die daraus gewonnenen Korrekturparameter sind Gewichte, wie stark sich die Potentiale des EOG-Kanals auf jeden anderen Kanal auswirken.

Nach den EOG-Tasks wurde mittels *ePrime* das Experiment gestartet und die Probanden lasen sich die schriftliche Instruktion mit Beispielbildern durch. Danach wurden sie noch einmal gefragt, ob ihnen alles klar sei und sie noch irgendwelche Wünsche haben. Danach wurden die beiden Türen zum Versuchsraum geschlossen, um den Raum möglichst schallisoliert zu halten, und die Vpn begannen durch Tastendruck mit dem Versuchsdurchgang.

Nach Ende des ersten Versuchs – den semantischen Fehlerbildern – nach ca. 12 Minuten kam ich kurz zur Vp herein, um mich nach ihrem Befinden zu erkundigen und etwaige Beobachtungen zum Versuch einzuholen. Danach schloss ich wieder die Türen und der zweite Versuch – die Alltagsobjekte – wurde gestartet.

Nach Ende des zweiten Versuchs wurde das Registrierprogramm beendet, die

Versuchsperson von der Elektrodenbox getrennt, von der Elektrodenhaube befreit und die Elektroden-Klebestellen an Stirn und Gesicht noch einmal desinfiziert. Sie wurde in das Hochparterre-Labor begleitet, wo sie die Möglichkeit hatte, sich die Haare zu waschen.

Die Kanülen wurden sicher in einem Auffangbehälter zur späteren Entsorgung verschlossen. Die wiederverwendbaren Teile wie Haube, Elektroden und Gel-Spritzen wurden mit Wasser von Gelrückständen gereinigt und anschließend für 15 Minuten in 4-prozentiger medizinischer Gerätedesinfektionslösung *Sterillum* (Firma Bode) sterilisiert, danach zum Trocknen aufgehängt.

2.1.5. Datenaufzeichnung

Es wurde ein 62-Kanal DC-EEG mit einer Sampling-Frequenz von 250 Hz aufgezeichnet. Die Datenerhebung von 25 Vpn fand zwischen dem 19.03.2009 und dem 15.06.2009 statt. Zur Aufzeichnung der Daten wurde ein 64-Kanal DC-Verstärker (BDS 3064) der Firma Zickler (Ing. Zickler Ges.m.b.H.) verwendet. Die Daten wurden online am zentralen Laborserver gespeichert. Während der Aufzeichnung lief ein 50 +/- 5 Herz *notch-Filter*, um den Netzbrumm des Stromnetzes herauszufiltern. Sowohl das vertikale, als auch das horizontale EOG wurden bipolar aufgezeichnet. Bei den Elektroden handelte es sich um Silber/Silberchlorid (Ag/AgCl) Ringelektroden. Die vordere und hintere Referenz (Sternoklavikulargelenk, bzw. vertebra prominens = 7. Halswirbel) wurden bipolar als gewichtetes Mittel aufgezeichnet. Die Registrierung der übrigen Elektroden erfolgte in Bezug auf die gemeinsame Referenz.

Individuelle Elektrodenkoordinaten wurden mit dem *Photogrammetric Head Digitizer* (PHD) anhand von 17 Referenzpunkten (Nasion, L1, L5, L7, (präaurikulär), L8, L16 (CZ), L18, L20, L26, L28, L31 (Inion), R3, R8, R10 (präaurikulär) vermessen. Die Koordinaten für die restlichen Elektroden wurden interpoliert.

Die Elektrodenkonfiguration der verwendeten Haube der Firma Easycap entspricht dem triangulierten, äquidistanten M10 System mit 61 Elektroden. Die beiden präaurikulären Kanäle (A1 und A2) wurden nicht aufgezeichnet, da sie erfahrungsgemäß sehr verrauschte Kanäle liefern. Die inter-Elektroden Distanz beträgt bei einem Kopfumfang von 58 cm 37 +/- 3 mm. Die M10 Montage baut auf Dreiecken auf, die auf einer dreidimensionalen Kopfoberfläche um Cz herum plaziert wurden. Die Elektroden auf der zentralen Linie entsprechen denen des 10-20 Systems. Die linke und rechte Seite sind symmetrisch. Die Lage der Elektroden relativ zum 10-20 System zeigt Abb. 4.

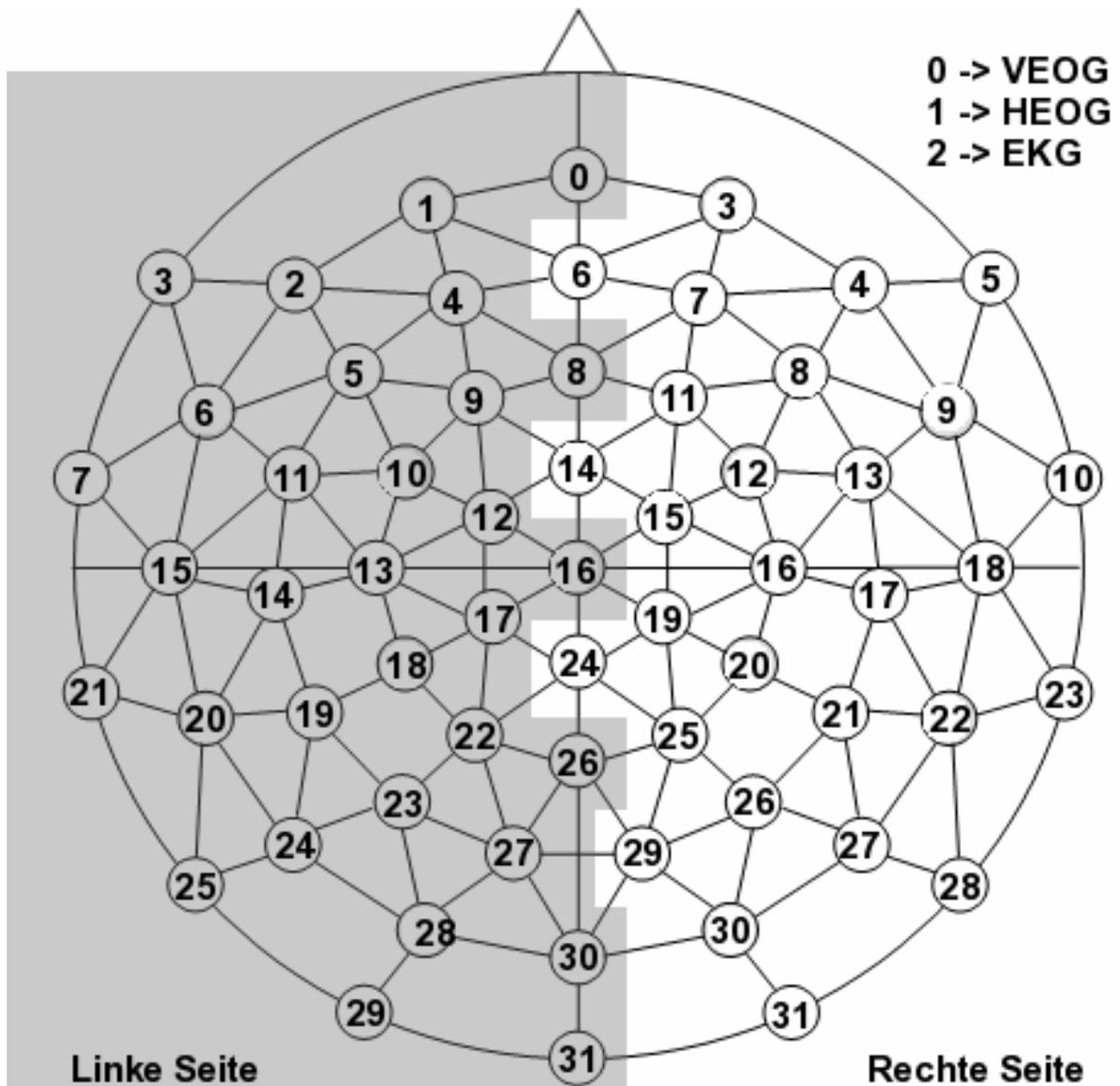


Abbildung 4: Elektrodenschema der verwendeten Hauben von Easycap nach dem M10-System.

2.1.6. Datenverarbeitung

Nach der Aufzeichnung der Rohdaten folgten einige Schritte, die der eigentlichen Datenanalyse vorangehen mussten. Während des Experiments wurden vom ePrime Rechner sogenannte Trigger an den Registrierungs-PC geschickt, die den onset (Beginn) des Stimulus als auch die Zugehörigkeit zu einer bestimmten Versuchsbedingung als Zusatzinformation in das EEG Rohdatenfile schrieben. Sie haben die Form von einem 'I', gefolgt von der zweiten und erste Dezimalstelle, z.B. I02. Mit dem laboreigenen Skript wurden zuallererst falsch gesetzte Trigger korrigiert. Danach wurde mit den zuvor erhobenen EOG Korrekturparametern die Augenkorrektur und mit Blink-Templates die Blink-Korrektur durchgeführt. Das EOG Korrektur-Skript rechnet dazu die gewichteten Augenbewegungen

aus den anderen Kanälen heraus. Das Blink Korrektur-Skript lässt ein Blink-Template (eine Art 'standard- Blinzler') über die Kanäle laufen. Wenn es einen Kurvenverlauf ähnlich dem Template findet, wird dieser eliminiert. Anhand der Trigger, die Beginn und Ende eines Buffers, als auch dessen Zugehörigkeit zu einer Versuchsbedingung markieren, wurde das kontinuierliche EEG epochiert und Baseline-korrigiert.

Als Baseline wurde ein 500 ms Intervall unmittelbar vor Stimulus-Onset gewählt. Die Daten wurden anschließend in die EEGLAB Toolbox von Matlab eingespielt und erneut als .set-files abgespeichert. Anschließend wurden die Daten auf 30 Hz 'herunter-gesampelt', um hochfrequente Muskelartefakte zu eliminieren und die anschließende Artefaktkorrektur zu erleichtern. Mit Hilfe von EEGLAB und der darin implementierten Möglichkeit zur halb-automatisierten Artefaktkorrektur wurden dann die Daten weiter bereinigt. Ein Amplitudengrenzwert von $+75\mu\text{V}$, Trendgrenzwert von $+50\mu\text{V}$, sowie Grenzwerte für unwahrscheinliche Daten mit einer Standardabweichung ≥ 4 und für abnorme Verteilungen mit einer Standardabweichung ≥ 4 wurden gewählt. Die so markierten Daten wurden dann einer visuellen Inspektion unterzogen, was sich in mehreren Studien als funktionell und praktikabel erwiesen hat [5], [4]. Besonders auffällige Artefakte, die sich über mehrere Kanäle zogen und mehrere Kriterien erfüllten, wurden dabei als schwerwiegender erachtet, als unauffällige Artefakte, die sich nur in einem Kanal bemerkbar machten. Außerdem wurde bei Vpn, deren EEG insgesamt verrauschter war, liberaler vorgegangen.

2.1.7. Datenanalyse

Die Verhaltensdaten des Pre-Tests der semantischen Fehlerbilder wurden mittels zweiseitigen t-Test für abhängige Stichproben ausgewertet. Es wurden die Reaktionszeiten zwischen Kontroll- und Stimulusbildern miteinander verglichen.

Gemittelte ERPs über alle trials einer Bedingung und alle Vpn wurden erstellt (= *grand mean* bzw. *grand average*), deren Charakteristika unten (siehe 2.2.2.) deskriptiv beschrieben werden.

Zur Beantwortung der zentralen Frage, welche Unterschiede in der Aktivierung kortikaler Areale in der Verarbeitung der verschiedenen Bedingungen bestehen, wurden die EEG Daten mittels sLORETA (*standardized low resolution brain electromagnetic tomography*) [82] analysiert (Version 20081104, R.D. Pascual-Marqui, KEY Institute for Brain-Mind Research, University Hospital of Psychiatry, Zürich). sLORETA basiert auf der Grundannahme, dass sich die Gehirnaktivität in einer begrenzten Anzahl verteilter *hot spots* abspielt und den Prinzipien von Linearität und Superposition unterliegt, was die Validität des Programms garantieren soll. Wie sein Vorgänger LORETA berechnet es diejenige Inverse Lösung mit der glattesten Stromdichteverteilung. Es bedient sich dazu jedoch der standardisierten

Stromdichteverteilung, was zu enger umgrenzten 'Flecken' lokalisierter Gehirnaktivität führt. Der Lösungsraum ist die graue Substanz des Kortex und Hippocampus und umfasst insgesamt 6239 Voxel mit einer räumlichen Auflösung von 5 mm. LORETA bedient sich eines dreischichtigen sphärischen Kopfmodells, bezogen auf den Talairach Hirnatlas, der als digitalisiertes MRI vom Montrealer Neurologischen Instituts (MNI) erhältlich ist.

Die mittels des PHD (siehe 2.1.4. und 2.1.5.) für jede Versuchsperson erhobenen Elektrodenkoordinaten wurden als Transformationsmatrizen eingespielt.

Zur Berechnung der Aktivierungsunterschiede zwischen Stimulus- und Kontrollbedingung wurde ein nicht-parametrischer statistischer Test (SnPM, *statistical non-parametric mapping*) [76] für abhängige Stichproben, basierend auf log-transformierten Daten ohne Normalisierung durchgeführt. Es wurden voxel-weise Paarvergleiche (pseudo t-Statistik) gegen 5000 Permutationen (aus den Daten zufällig gezogene Paarvergleiche) getestet und ein Signifikanzniveau von 5% angenommen.

Da für den Versuch mit rotierten Alltagsobjekten, die aus gewöhnlichen oder ungewöhnlichen Perspektiven betrachtet wurden, keinerlei signifikante Ergebnisse herauskamen, werden diese Daten nicht weiter besprochen. Alle folgenden Ausführungen beziehen sich auf den Versuch mit den komplexen Bildern mit oder ohne semantischen Fehler / semantischer Anomalie.

Die statistische Analyse der Bedingungsunterschiede wurde zunächst über das gesamte Zeitintervall (3900 ms) mit Zeitfenstern zu je 300 ms durchgeführt. Um die Verarbeitungsprozesse des semantischen Fehlers in weiterer Folge genauer differenzieren zu können, wurde das Intervall eingegrenzt und die Schrittweite auf 40 ms verkleinert. Als Beginn des Intervalls wurde 300 ms gewählt. Ab diesem Zeitraum erwartet man für semantische Anomalien typische Verarbeitungsprozesse (siehe 1.3.). Das Ende der Intervalle sollte gerade noch den Zeitraum einschließen, in dem der semantische Fehler erkannt wird. An dieser Stelle soll nun kurz die Logik vorgestellt werden, anhand derer auf pragmatische Weise die obere Grenze dieses Intervalls geschätzt wurde:

Der 50-Perzentil-Rang der mittleren Reaktionszeit (über die Vpn) auf die Bilder der Kategorie 'ungewöhnlich / unmöglich' im Vortest war 1567 ms. Das heißt, dass der Durchschnitt der Vpn bis zu diesem Zeitpunkt bei der Hälfte der Bilder einen Fehler oder eine 'Ungereimtheit' gefunden, diese einer Kategorie zugeordnet und die motorische Antwort gegeben hatte. Es ist kritisch anzumerken, dass im EEG-Experiment keine solche Instruktion (die Bilder zuzuordnen) bestanden hatte, sondern die Bilder lediglich aufmerksam betrachtet werden sollten, was sich aus der Zielsetzung der Diplomarbeit (siehe 1.1.1.) ergab. Aus nicht systematischen Fragen an die Vpn nach dem Experiment wurde jedoch klar, dass sie begannen, von sich aus nach Fehlern im Bild zu suchen. Das willkürliche Betrachten eines

Bildes führt unwillkürlich zu semantischer Verarbeitung. Wir können uns nicht dazu entschließen, ein Bild von einer Katze zu betrachten, ohne gleichzeitig festzustellen (wenn vielleicht auch nur implizit), dass es sich um eine Katze handelt, auch wenn wir nicht den Auftrag dazu haben. Die durchschnittliche simple Reaktionszeit auf visuelle Stimuli beträgt ca. 220 ms [57]. Bei solchen Experimenten muss auf einen Reiz eine Reaktion (z.B. Tastendruck) erfolgen, ohne dass no-go Reize anwesend sind. Rund 30 ms muss man für die sensorische Weiterleitung einberechnen, womit noch 190 ms verbleiben. Andererseits muss bei der simplen Reaktionszeitaufgabe beim Eintreffen des sensorischen Stimulus nur noch das in einer Warteschleife befindliche motorische Programm ausgeführt werden, da es nur einen Antwortknopf gibt. Doch nachdem ein Bild als 'gewöhnlich' oder 'ungewöhnlich' kategorisiert wurde, muss noch die richtige Kategorie-Hand/Tasten-Assoziation aktiviert werden, bevor das motorische Programm ausgeführt werden kann. Ca. 250 ms sind also wohl eine konservative Schätzung für die Fehler-Entdeckungs-Reaktions-Latenz. Vermutlich liegt sie noch höher. Will man nun die semantische Fehlererkennung von zumindest 50 Prozent der Bilder erfassen, ergibt sich eine geschätzte obere Grenze für das Zeitintervall von 1300 ms bei einer Schrittweite von 40 ms.

2.2. Ergebnisse

2.2.1. Pre-Test des Stimulusmaterials

Um zu überprüfen, ob die Stimuli der beiden Bedingungen von einer Vergleichsstichprobe tatsächlich verlässlich in ungewöhnlich bzw. gewöhnlich getrennt werden, und um die zeitliche Latenz dieses Urteils zu erfassen, was in Hinblick auf die Interpretation der EEG-Daten von Bedeutung ist, wurde vor Beginn der elektrophysiologischen Datenerhebung eine Validierung des Stimulusmaterials vorgenommen. Pro Bedingung gab es einen Pool von 60 Bildern, von denen jene ausgewählt werden sollten, die am Verlässlichsten einer Kategorie zugeordnet werden. Bei einer größeren Anzahl gleich sicher bewerteter Bilder sollten jene mit einer geringeren Reaktionszeit ausgewählt werden, um allzu komplexe Stimuli auszuschließen. Zu diesem Zweck wurden die Stimuli in randomisierter Reihenfolge ohne Interstimulusintervall 16 Versuchspersonen vorgegeben, die diese per links-rechts Zuordnung in 'ungewöhnlich/unmöglich' (*wrong*) bzw. 'gewöhnlich' (*right*) einteilen sollten. Erfolgte kein Tastendruck, wurde nach 5 Sekunden das nächste Bild eingeblendet, um Ausreißer zu eliminieren und eine schnelle, intuitive Bearbeitung der Stimuli zu forcieren. In der Kategorie 'right' resultierten 32 Bilder mit einer Häufigkeit von 16 richtigen Zuordnungen, in der Kategorie 'wrong' 19 Bilder mit 16 und 21 Bilder mit 15 richtigen Zuordnungen. Siehe Tab.1 sowie Tab.2 für die deskriptiven Statistiken der Reaktionszeiten über die Bilder bzw. Vpn gemittelt. Abb. 5 und 6 zeigen die Reaktionszeiten für alle Bilder der Stimulus- und Kontrollkategorie.

	right	wrong	right-wrong
N	16	16	16
Mittelwert	1.848,21	1.787,87	60,34
Std.fehler d. MW.	115,15	102,89	77,06
Median	1.749,95	1.824,65	19,66
Std.abweichung	460,61	411,56	308,22
Varianz	212.161,67	169.378,89	95.000,41
Schiefe	0,66	-0,04	-0,40
Std.fehler der Schiefe	0,56	0,56	0,56
Exzess	-0,20	-1,55	-0,13
Std.fehler des Exzess	1,09	1,09	1,09
Range	1.534,00	1.134,11	1.061,34
Minimum	1.236,30	1.216,02	-565,61
Maximum	2.770,30	2.350,12	495,74
Perzentil 25	1.444,49	1.350,00	-115,12
Perzentil 50	1.749,95	1.824,65	19,66
Perzentil 75	2.196,03	2.212,09	267,19

Tabelle 1: Deskriptive Statistik der Reaktionszeiten (ms) der Vpn (n = 16) aus dem Vortest, gemittelt über die 30 Bilder pro Kategorie.

	right	wrong	right-wrong
N	30	30	30
Mittelwert	1.691,10	1.576,63	114,46
Std.fehler d. MW.	50,39	50,40	74,39
Median	1.642,59	1.566,97	19,00
Std.abweichung	275,98	276,03	407,45
Varianz	76.166,75	76.194,95	166.018,14
Schiefe	0,62	0,72	0,49
Std.fehler der Schiefe	0,43	0,43	0,43
Exzess	0,31	1,30	-0,01
Std.fehler des Exzess	0,83	0,83	0,83
Range	1.199,25	1.279,63	1.687,25
Minimum	1.185,94	1.101,75	-684,38
Maximum	2.385,19	2.381,38	1.002,88
Perzentil 25	1.469,75	1.413,20	-127,39
Perzentil 50	1.642,59	1.566,97	19,00
Perzentil 75	1880,44	1694,80	378,54

Tabelle 2: Deskriptive Statistik der Reaktionszeiten (ms) auf die Bilder pro Kategorie (n = 30), gemittelt über die 16 Vpn aus dem Vortest.

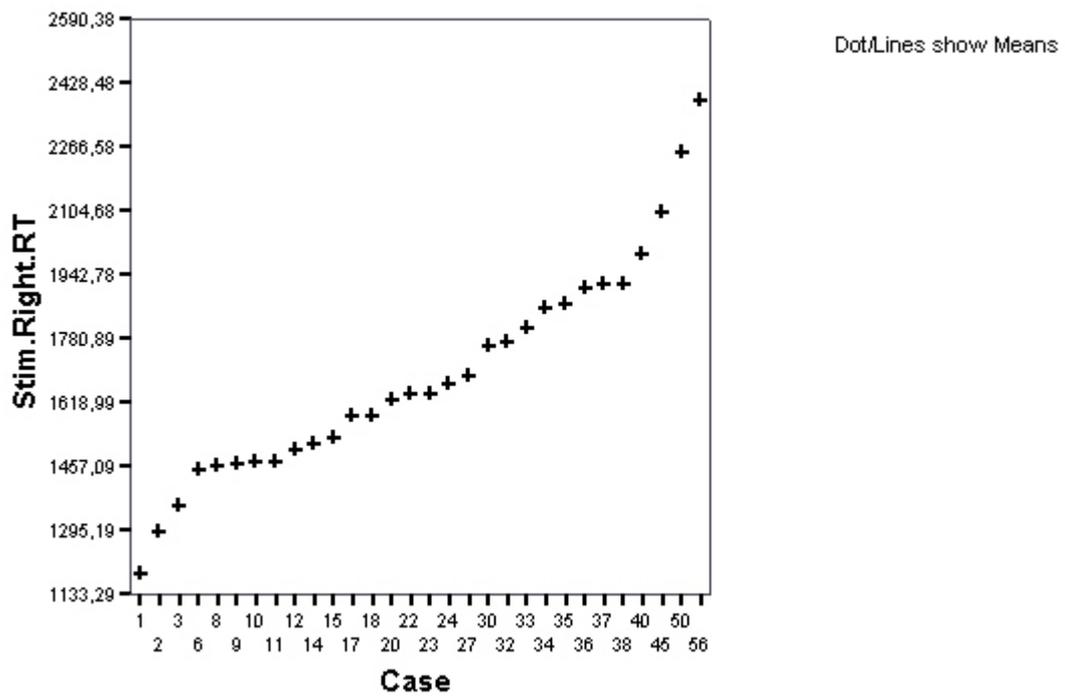


Abbildung 5: Mittlere Reaktionszeiten (ms) der 16 Vpn im Vortest auf die 30 Bilder der Kontrollkategorie.

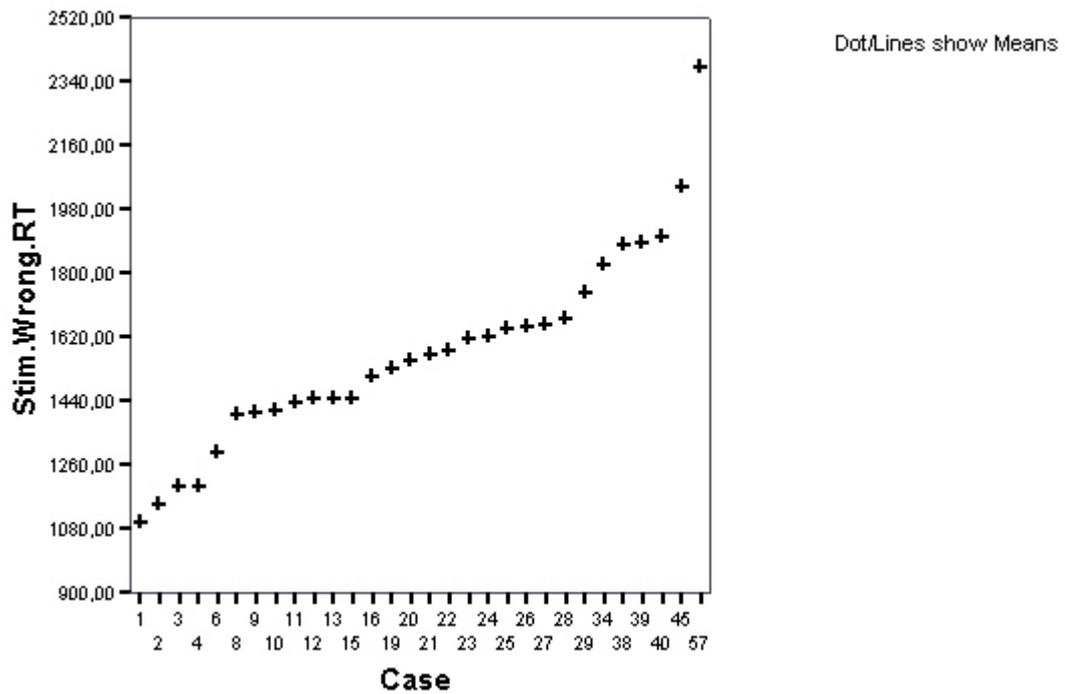


Abbildung 6: Mittlere Reaktionszeiten (ms) der 16 Vpn im Vortest auf die 30 Bilder der Stimuluskategorie.

Da es sich um ein Design mit abhängigen Stichproben handelt, müssen nicht die Messwerte der einzelnen Bedingungen, sondern die Messwertdifferenzen (annähernd) normalverteilt sein, um parametrische Tests, wie den t-Test, anwenden zu dürfen. Ein Kolmogorov-Smirnov Test zur Prüfung der Normalverteilung ergab keine signifikante Abweichung ($D(100) = ,11$; $p = ,20$). Auch die Berechnung der z-Werte, die sich aus den Parametern *skewness/SE-skewness* bzw. *kurtosis/SE-kurtosis* (Schiefe durch Standardfehler der Schiefe, bzw. Exzess durch Standardfehler des Exzess) berechnen, führte zu einem nicht signifikanten Ergebnis ($z = 0,70$; $p = ,31$; bzw. $Z = -,11$; $p = ,40$). Eine graphische Überprüfung mittels P-P-Plot, der die kumulierte Wahrscheinlichkeit einer Variablen gegen die erwartete Wahrscheinlichkeit einer Normalverteilung aufträgt, zeigt ein leichtes Schlingern um die Gerade (siehe Abb. 7).

Normal P-P Plot of Stim.Right.RT - Stim.Wrong.RT

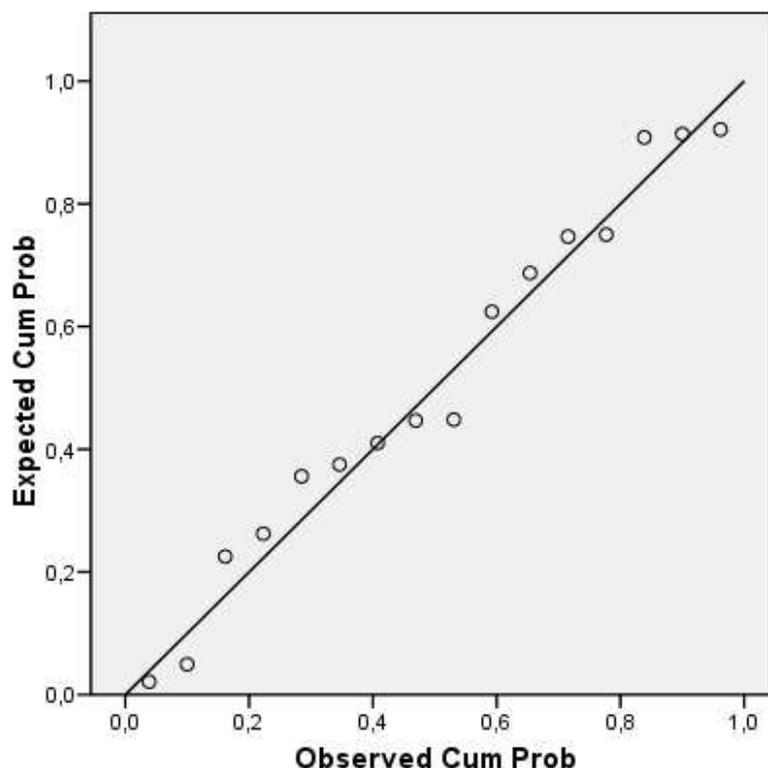


Abbildung 7: P-P Plot des Differenzwerts MW-Kontrollbilder - MW-Stimulusbilder für alle 16 Vpn des Vortests.

Ein t-Test für abhängige Stichproben zeigte keinen signifikanten Unterschied in der Reaktionszeit (in ms) zwischen semantischen Fehlerbildern (MW = 1848,21; SD = 460,61) und Kontrollbildern (MW = 1787, 87; SD = .411,56), $t(16) = ,783$; $p = ,223$ (einseitig). Es gibt jedoch eine signifikante Korrelation zwischen den beiden Bildkategorien ($r = ,76$; $p < ,01$),

was auf interindividuelle Unterschiede in der bedingungsübergreifenden Antwortgeschwindigkeit zurückzuführen ist.

2.2.2. Grand-Average

Es sei vorangestellt, dass auf die Beschreibung und Interpretation von klassischen Ereigniskorrelierten Potentialen (EKP), abseits der langsamen kortikalen Potentiale, verzichtet wurde, da sie nicht im Hauptinteresse der Studie stehen und die Komplexität der Stimuli und die daraus resultierende beachtliche Streuung in der zeitlichen Latenz der Stimulusverarbeitung (siehe 2.2.1.) voraussichtlich zu uncharakteristischen EKPs führte. Denn mittelt man mehrere phasenverschobene Wellen, so wird die resultierende Wellenlänge breiter und die Amplitude geringer, das Potential wird breit und flach.

Generell lässt sich über den größten Teil des Skalp-EEG in beiden Bedingungen ein langsames negatives Potential, ab ungefähr 500 ms nach Stimulus-onset beobachten. Das langsame negative Potential erreicht dabei parietal und okzipital größere Minima als frontal. Dabei fällt auf, dass an parietalen und okzipitalen Elektroden dem negativen Potential ein recht breites positives Potential mit Spitze um ca. 450 ms vorangeht. Es dürfte sich dabei um eine verspätete P300 handeln (vgl. Abb. 10). Sie ist für die Stimulusbilder stärker als für die Kontrollbilder.

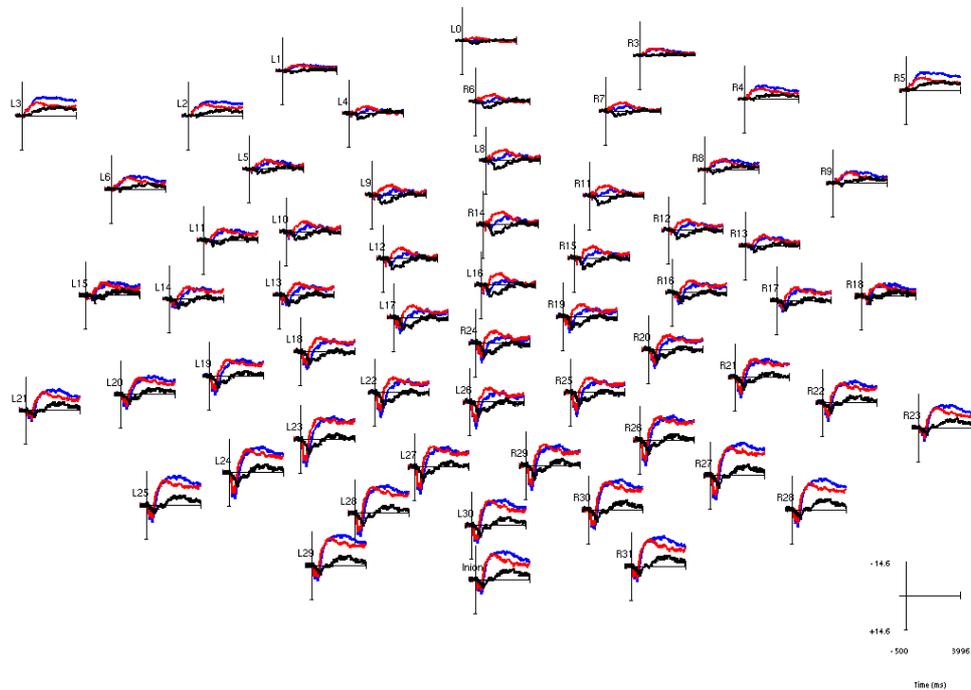


Abbildung 8: Grand-Average des gesamten Skalp über alle 25 Vpn, 30 Hz lowpass Filter.

Wenn man den Verlauf des langsamen negativen Potentials (LNP) zwischen den beiden Bedingungen vergleicht, wird ein grundlegender Unterschied zwischen fronto-zentralen bzw. zentralen parietalen Elektroden einerseits, und okzipitalen bzw. ventro-lateralen parietalen, temporalen und ventro-lateralen prefrontalen Elektroden andererseits deutlich. Während an zentralen Elektroden die Kontrollbedingung (KB) ab ca. 500 ms eine stärkere Negativierung zeigt und sich die Bedingungen bei ca. 2000 ms wieder angeglichen haben (siehe z.B. El. L26, Abb. 10), trennen sich die beiden Bedingungen an lateralen posterioren Elektroden erst bei ca. 1500 ms auf, wobei die semantische Fehlerbedingung bis zum Ende des Durchganges stärker negativiert bleibt (siehe z.B. El. 31, Abb. 11). Bei den fronto-lateralen Elektroden L3 bzw. R5 zeigt sich ein weiterer qualitativer Unterschied. Die Elektroden negativieren beinahe von Anfang an und erreichen bei ca. 1000 ms fast ein Plateau, das bis zum Ende hin nur leicht absinkt. Abb. 8 zeigt den Grand-Average über den gesamten Skalp.

In Hinblick auf Lateralisierung sind die Potentiale auf beiden Hemisphären symmetrisch ausgeprägt und unterscheiden sich auch in Latenz und Amplitude kaum. Exemplarisch für die drei beschriebenen unterschiedlichen charakteristischen Kurvenverläufe sollen nun die Elektroden L3, L16, L26 und L31 (respektive F9, Cz, Pz und Inion nach dem 10-20 System) beschrieben werden.

Elektrode L16: Die KB beginnt ab 480 ms (1,99 μV) zu negativieren und erreicht ihr Minimum bei 1408 ms (-5,67 μV). Die Versuchsbedingung (VB) beginnt mit 500 ms (4,48 μV) zu negativieren, erreicht bei 1632 ms (-2,18 μV) fast das Minimum und negativiert dann nur noch leicht, um schlussendlich das absolute Minimum bei 2504 ms und -2,55 μV zu erreichen. Die beiden Kurven treffen sich wieder bei 2058 ms.

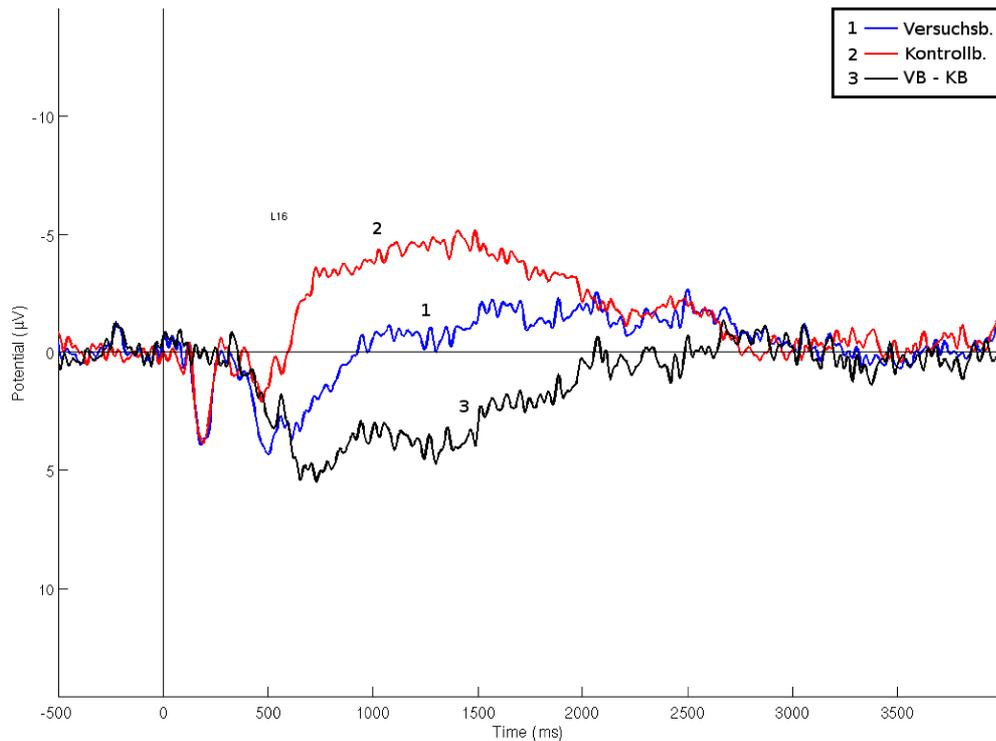


Abbildung 9: Grand-Average der Elektrode L16 (Cz) über alle 25 Vpn, 30 Hz lowpass Filter.

Elektrode L26: Beide Bedingungen positivieren von Beginn an und erreichen eine positive Spitze bei ca. 500 ms (KB: 472 ms, VB: 496 ms), wobei die VB eine größere Amplitude aufweist (11,73 μV), als die KB (8,96 μV). Daraufhin negativieren beide Bedingungen und erreichen ihr negatives Maximum bei 1408 ms mit -6.24 μV (KB) bzw. 2500 ms und -4,83 μV (VB). Bis 1990 ms haben sie sich wieder angeglichen.

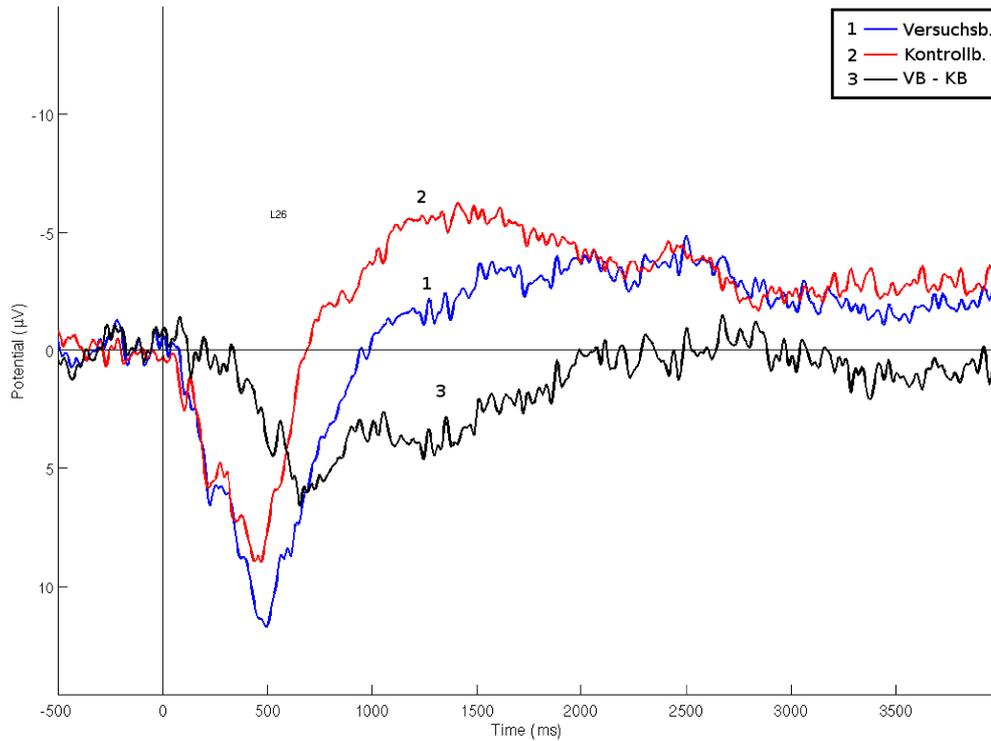


Abbildung 10: Grand-Average der Elektrode L26 (Pz) über alle 25 Vpn, 30 Hz lowpass Filter.

Elektrode Inion: Die KB beginnt bei 448 ms (4,92 μV) zu negativieren und erreicht das Minimum bei 1340 ms (-12,04 μV). Die VB negativiert ab 504 ms (6,32 μV), erreicht beinahe das Minimum bei 1630 ms (-13,02 μV) und ist maximal negativ bei 2488 ms (-13,22 μV). Die beiden Kurven trennen sich bei 1392 ms (-11,69 μV) wobei die VB bis zum Schluss negativer bleibt.

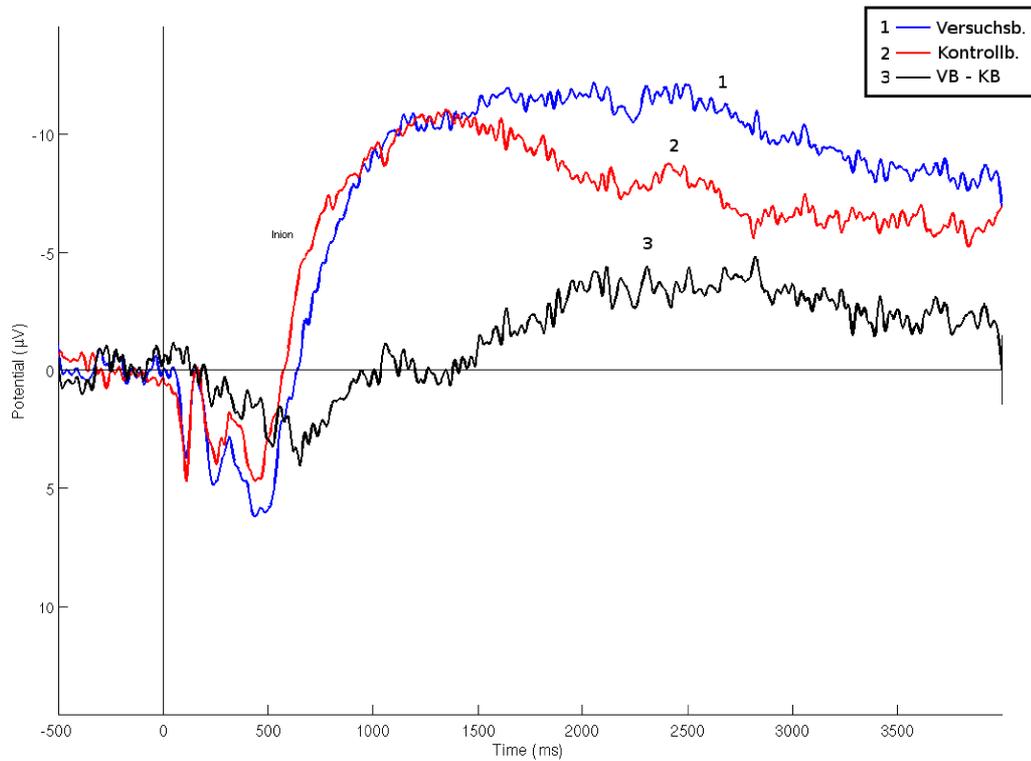


Abbildung 11: Grand Average der Elektrode L31 (Inion) über alle 25 Vpn, 30 Hz lowpass Filter.

Elektrode L3: Beide Bedingungen beginnen sehr früh, von ca. 100 ms an zu negativieren. Sie trennen sich bei ca. 280 ms, wobei die VB stärker negativiert. Sie erreicht das Minimum beinahe bei 1080 ms (-8,2 μV), absolutes Minimum bei 1640 ms (-8,78 μV). Die KB negativiert maximal bei 1132 ms (-6,21 μV).

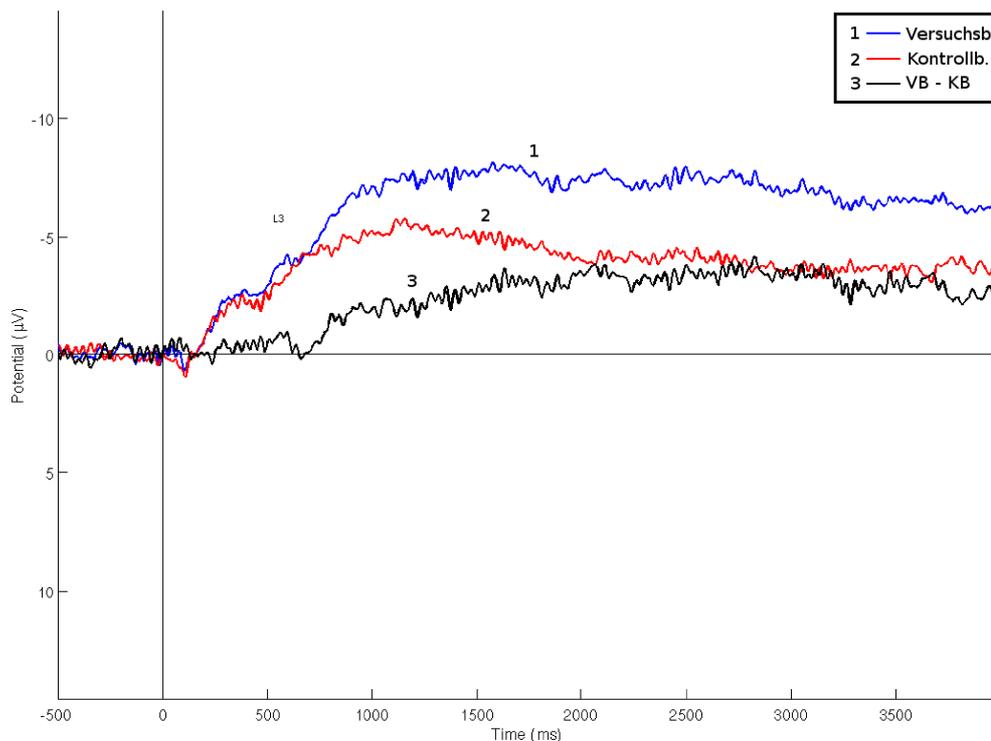


Abbildung 12: Grand-Average der Elektrode L3 (F9) über alle 25 Vpn, 30 Hz lowpass Filter.

2.2.3. sLORETA (standardized low resolution brain electromagnetic tomography)

Bei allen folgenden Darstellungen werden nur die drei Regionen mit den stärksten Aktivierungen bzw. Aktivierungsunterschieden aufgeführt, da nicht zu erwarten ist, dass sLORETA bei realen Daten mit Rauschen viel mehr valide Quellen liefert.

Bevor das Ergebnis des *SnPM* im Detail dargestellt wird, sollen über die Quellenlokalisations-Ergebnisse der beiden Bedingungen gezeigt werden, welche Regionen (ungeachtet möglicher Bedingungsunterschiede) dominant aktiv waren. Der Leser möge bedenken, dass es sich hier nicht um absolute oder physiologische Werte handelt. Dazu wurde der Versuch in zwei Zeitfenster geteilt, frühe und späte Verarbeitung (0 - 2000 ms bzw. 2000 - 4000 ms respektive). Das erste Fenster umfasst dabei praktisch die gesamte semantische Fehlerverarbeitung, da 29 von 30 Bildern (Perzentil-Rang 96,7) im Vortest eine mittlere Bearbeitungszeit von 2253 ms oder kleiner aufwiesen und die letzten 250 ms der 'reinen' Reaktionszeit zuzuschreiben sind (siehe Ausführungen 2.1.7.). Das zweite Fenster

sollte demnach hauptsächlich Unterschiede darstellen, die nach der Erkennung einer semantischen Anomalie auftreten.

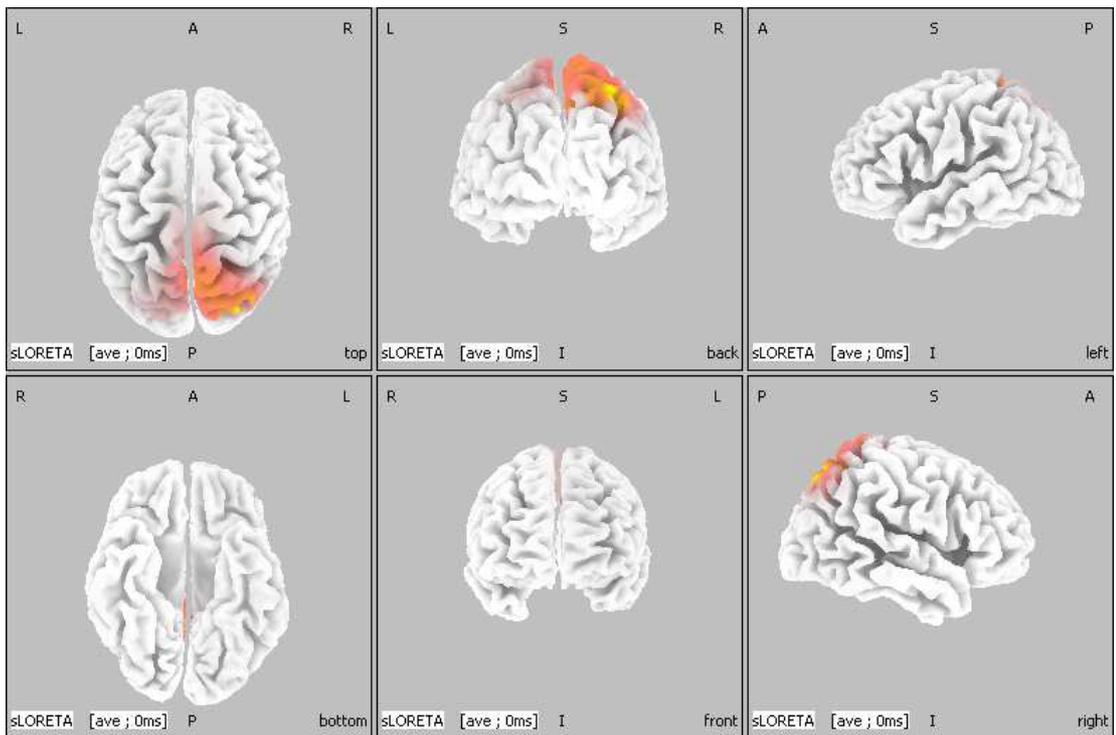


Abbildung 13: sLORETA: Kontrollbedingung 0 - 2000 ms.

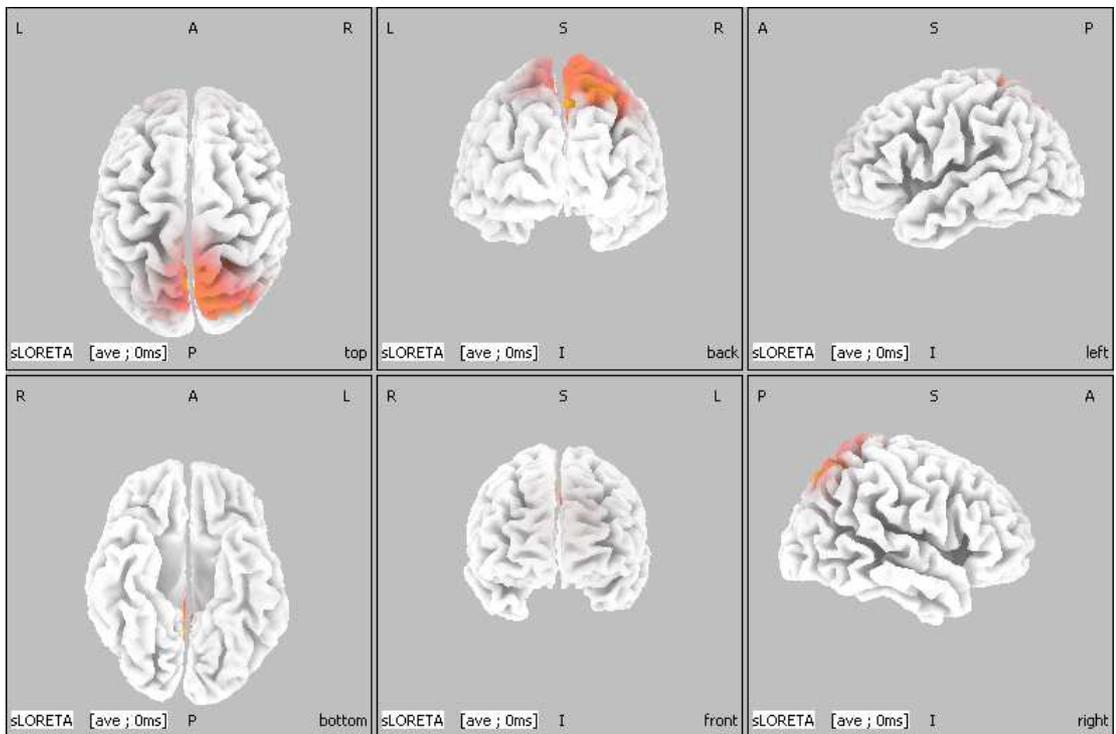


Abbildung 14: sLORETA: Versuchsbedingung 0 - 2000 ms.

Wie für das Betrachten komplexer Bilder zu erwarten war, zeigte sich in beiden Bedingungen hauptsächlich Aktivierung in parietalen Regionen der höheren Assoziationscortices, namentlich des superioren parietalen lobulus (BA7). Der pseudo t-Wert (auch *voxel value*, *vv*) des stärksten Voxel und dessen Talairach-Koordinaten sind in Klammern angegeben.

Im ersten Zeitfenster (0 - 2000 ms) fällt auf, dass bei der VB der Precuneus (6,57. $x = 15, y = -56, z = 53$) maximal aktiv ist, während bei der KB der lobulus parietalis superior (4,75. $x = 25, y = -65, z = 54$) die stärkste Aktivierung zeigt.

Im zweiten Zeitfenster zeigen beide Bedingungen maximale Aktivierung im lobulus parietalis superior (VB: $vv = 14,99. x = 35, y = -66, z = 49$. KB: $vv = 10,34. x = 35, y = -66, z = 49$). Doch während sich diese Aktivierung bei der VB klar rechts lateralisiert darstellt, ist sie in der KB mehr bilateral ausgeprägt. Wenn man die Differenz der pseudo t-Werte der stärksten Voxel im lobulus parietalis superior der rechten und linken Hemisphäre betrachtet, so wird folgender Unterschied deutlich: In der VB beträgt der Unterschied 1,73 (links lateral: $vv = 13,26. x = -20, y = -60, z = 63$), während er in der KB nur 0,14 beträgt (und der Voxel im linken BA 7 die zweitstärkste Aktivierung des zweiten Zeitfensters, der KB ausmacht: $vv = 10,20. x = -30, y = -65, z = 54$).

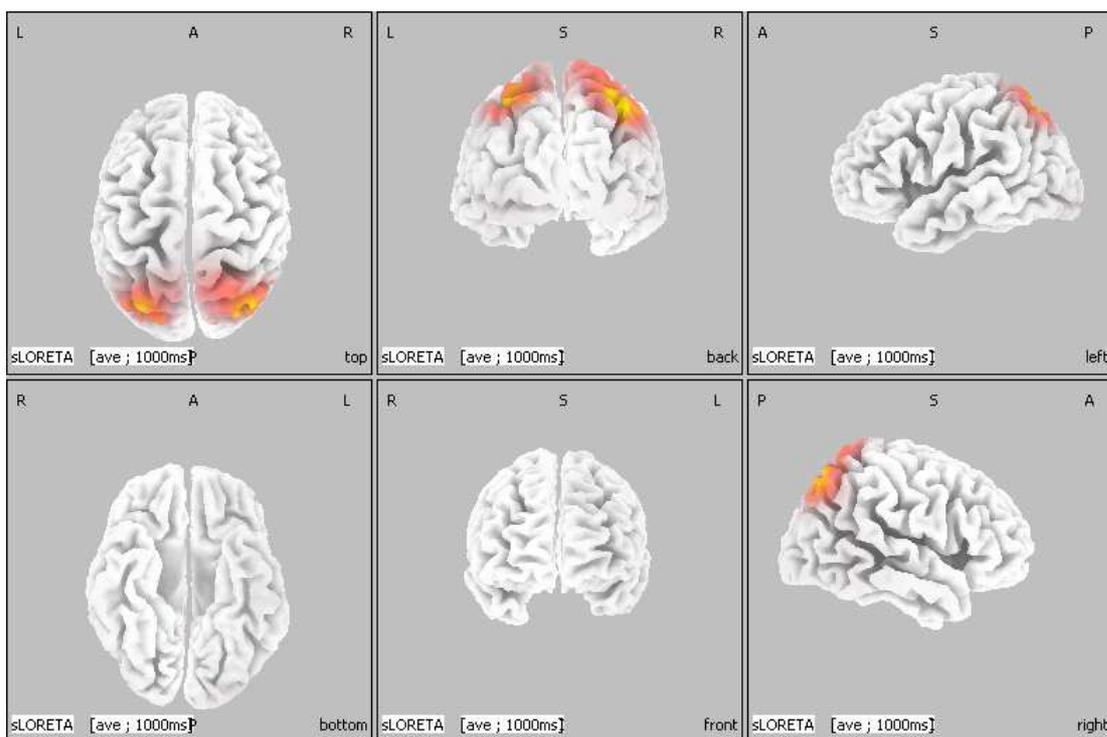


Abbildung 15: sLORETA Kontrollbedingung 2000 - 4000 ms.

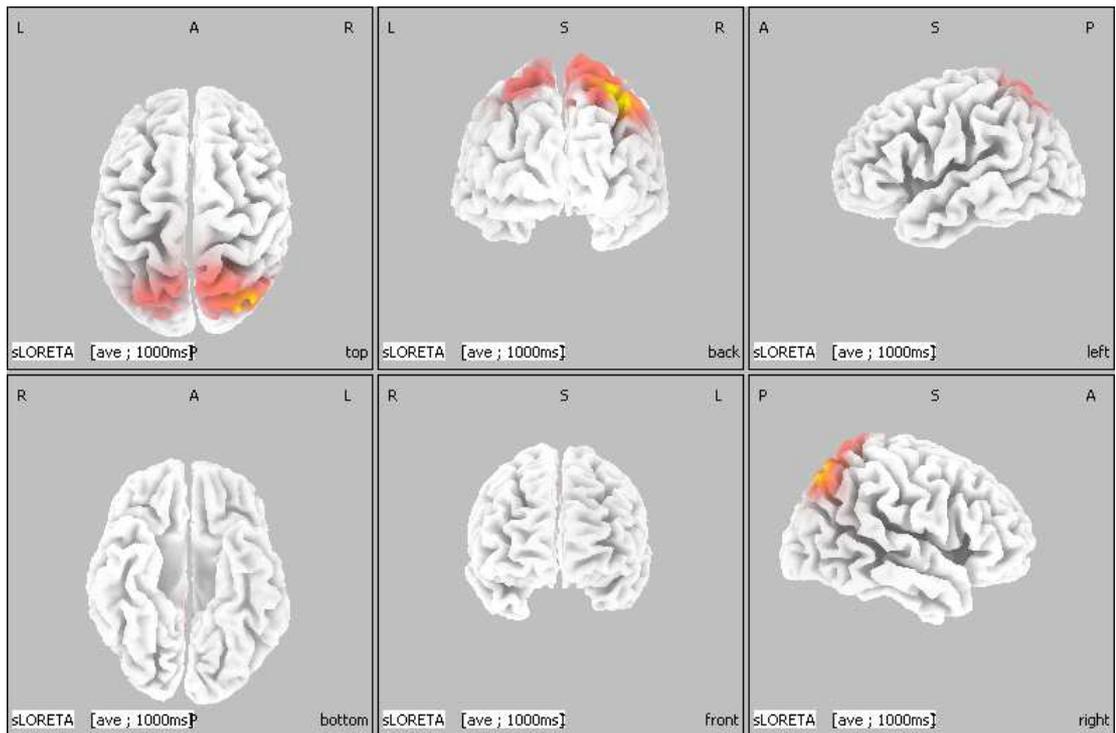


Abbildung 16: sLORETA Versuchsbildung 2000 - 4000 ms.

Um die statistischen Ergebnisse, die weiter unten besprochen werden, in einen Bezug zu den stärksten Aktivierungen der Bedingungen stellen zu können, werden nun noch die Quellenlokalisations-Ergebnisse der einzelnen Bedingungen in 300 ms Zeitfenstern dargestellt (siehe auch Tab. 3 sowie Tab. 4).

Für den frühen Zeitraum von 0 bis 300 ms liegt die maximale Aktivierung für die KB im Precuneus (BA 7) und lobolus paracentralis (BA 5, 6, 7), für die VB im lobolus parietalis inferior (BA 40), Precuneus (BA 7) und lobolus paracentralis (BA 6, 7). Es fällt auf, dass in der Bedingung mit semantischer Anomalie der rechte Precuneus im Zeitraum von 600 – 1500 ms die stärkste Aktivität zeigt, bevor diese in den superioren parietalen lobolus (SPL) wechselt, während in der KB der SPL von 600 ms an bis zum Schluss dominiert, in den letzten 300 ms jedoch links lateral. Die in beiden Bedingungen von 900 – 3000 ms zweitstärkste Aktivierung ist der rechte inferiore parietale lobolus. Doch während dies in der VB bis 3600 ms anhält, verlagert sich in der KB die zweitstärkste Aktivierung ab 3000 ms wieder in den Precuneus.

ms	x	y	z	pseudo t	BA	Struktur
0 - 300	-15	-41	48	2,12	7	Precuneus
	-20	-41	48	2,11	5	Paracentral Lobolus
300 - 600	0	-31	57	11,62	5	Paracentral Lobolus
	0	-31	61	11,52	6	Paracentral Lobolus
600 - 900	30	-65	54	6,70	7	Superior Parietal Lobule
	5	-21	66	6,43	6	Medial Frontal Gyrus
900 - 1200	30	-61	49	7,37	7	Superior Parietal Lobule
	30	-56	44	7,01	40	Inferior Parietal Lobule
1200 - 1500	30	-61	49	7,78	7	Superior Parietal Lobule
	35	-56	44	7,60	40	Inferior Parietal Lobule
1500 - 1800	35	-66	49	8,09	7	Superior Parietal Lobule
	40	-61	45	7,88	40	Inferior Parietal Lobule
1800 - 2100	35	-66	49	8,79	7	Superior Parietal Lobule
	40	-61	45	8,50	40	Inferior Parietal Lobule
2100 - 2400	35	-66	49	9,54	7	Superior Parietal Lobule
	45	-61	49	9,19	40	Inferior Parietal Lobule
2400 - 2700	35	-66	49	10,08	7	Superior Parietal Lobule
	45	-61	49	9,69	40	Inferior Parietal Lobule
2700 - 3000	35	-66	49	10,53	7	Superior Parietal Lobule
	45	-61	49	9,93	40	Inferior Parietal Lobule
3000 - 3300	30	-65	54	10,90	7	Superior Parietal Lobule
	40	-71	45	10,24	19	Precuneus
3300 - 3600	30	-65	54	11,69	7	Superior Parietal Lobule
	40	-71	45	10,70	19	Precuneus
3600 - 3900	-30	-65	54	12,92	7	Superior Parietal Lobule
	40	-71	45	11,17	19	Precuneus

Tabelle 3: Die stärksten zwei Aktivierungen (nach BA) pro 300 ms Zeitfenster über das gesamte Zeitintervall (0 – 4000 ms) in der Kontrollbedingung ('gewöhnlich'). [x-, y-, z-Koordinaten nach Talairach; BA = Brodmann Areal].

ms	x	y	z	pseudo t	BA	Struktur
0 - 300	-35	-51	39	2,27	40	Inferior Parietal Lobule
	-25	-46	44	2,19	7	Precuneus
300 - 600	-5	-31	57	13,05	6	Paracentral Lobule
	-5	-36	57	13,00	4	Paracentral Lobule
600 - 900	5	-56	53	8,72	7	Precuneus
	0	-41	57	8,51	5	Paracentral Lobule
900 - 1200	25	-56	49	10,19	7	Precuneus

ms	x	y	z	pseudo t	BA	Struktur
	30	-56	44	9,86	40	Inferior Parietal Lobule
1200 - 1500	20	-56	53	11,87	7	Precuneus
	30	-56	-44	11,29	40	Inferior Parietal Lobule
1500 - 1800	30	-61	49	12,35	7	Superior Parietal Lobule
	30	-56	-44	11,89	40	Inferior Parietal Lobule
1800 - 2100	30	-61	49	13,38	7	Superior Parietal Lobule
	30	-56	44	12,98	40	Inferior Parietal Lobule
2100 - 2400	30	-61	49	13,95	7	Superior Parietal Lobule
	30	-56	44	13,33	40	Inferior Parietal Lobule
2400 - 2700	35	-66	49	14,64	7	Superior Parietal Lobule
	40	-61	45	14,09	40	Inferior Parietal Lobule
2700 - 3000	35	-66	49	15,44	7	Superior Parietal Lobule
	40	-62	45	14,57	40	Inferior Parietal Lobule
3000 - 3300	35	-66	49	16,02	7	Superior Parietal Lobule
	45	-61	49	15,17	40	Inferior Parietal Lobule
3300 - 3600	35	-66	49	15,71	7	Superior Parietal Lobule
	45	-61	49	14,92	40	Inferior Parietal Lobule
3600 - 3900	35	-66	49	15,91	7	Superior Parietal Lobule
	40	-71	45	15,06	19	Precuneus

Tabelle 4: Die stärksten zwei Aktivierungen (nach BA) pro 300 ms Zeitfenster über das gesamte Zeitintervall (0 – 4000 ms) in der Versuchsbedingung ('ungewöhnlich / unmöglich'). [x-, y-, z-Koordinaten nach Talairach; BA = Brodmann Area].

Für die gesamten Ergebnisse des SnPM gilt: signifikante Aktivierungsunterschiede bedeuten stärkere Aktivierung eines Areals in der VB versus der KB.

Die Ergebnisse des SnPM werden auf zweierlei Arten vorgestellt. Einerseits werden pro Zeitfenster diejenigen drei Regionen (nach Brodmann) angegeben, die die stärksten Unterschiede zeigten. Zuvor sollen aber nur diejenigen Signifikanzen angegeben werden, die mit den zwei stärksten Aktivierungen (nach Brodmann-Arealen) der Quellenlokalisierung der einzelnen Bedingungen übereinstimmen. Der Übersichtlichkeit halber sei vorangestellt, dass die beiden Vorgehensweisen zu sehr unterschiedlichen Ergebnissen führten. Die größten signifikanten Unterschiede zwischen den Bedingungen wurden in Arealen gefunden, die laut den Lokalisations-Ergebnissen der einzelnen Bedingungen nicht zu den stärksten Gesamtaktivierungen zählten. Umgekehrt führten die stärksten Aktivierungen kaum zu signifikanten Ergebnissen, da sie in beiden Bedingungen vorhanden waren. Da fraglich ist, wie viele Quellen sLORETA zuverlässig lokalisieren kann, sind die Ergebnisse des SnPM, gleichwohl signifikant, mit Vorsicht zu genießen. Sie sollen in dieser Arbeit weniger als

Beweis für die tatsächlichen Aktivierungsunterschiede zwischen den beiden Bedingungen dienen, denn als Modell, wie die Informationsverarbeitung bei komplexen, realistischen Bildern mit semantischem Fehler ablaufen könnte.

Signifikante Unterschiede zwischen den beiden Bedingungen in den beiden stärksten aktiven Regionen des jeweiligen Zeitfensters (siehe Tab. 3 u. Tab. 4 zum Vgl.) lieferte lediglich das Zeitintervall 900 bis 1200 ms im Precuneus (BA 7). Im Zeitintervall 600 bis 900 ms gab es zwar ebenfalls einen signifikanten Unterschied im Precuneus, jedoch auf der anderen Hemisphäre als die stärkste Aktivierung der VB (Tab. 5).

ms	x	y	z	Pseudo t	BA	Struktur
600 - 900	-15	-47	39	5,49	7	Precuneus
900 - 1200	15	-71	36	6,46	7	Precuneus

Tabelle 5: Die Signifikanzergebnisse ($p < .05$) des SnPM (VB – KB) über das gesamte Zeitintervall (0 – 4000 ms) für 300 ms Zeitfenster, beschränkt auf diejenigen BA, die in der Quellenlokalisierung der Einzelbedingungen unter den zwei stärksten Aktivierungen vertreten waren, unabhängig von der Lateralisierung. [x-, y-, z-Koordinaten nach Talairach; BA = Brodmann Areal].

Der statistische Vergleich der Bedingungen 'ungewöhnlich/unmöglich' vs. 'gewöhnlich' lieferte fast über das gesamte 4 Sekunden Intervall signifikante Unterschiede in verschiedenen Regionen, die mit höheren kognitiven Funktionen im Allgemeinen und semantischer Verarbeitung im Speziellen in Verbindung gebracht werden (siehe Tab. 6).

ms	x	y	z	pseudo t	BA	Struktur
300 - 600	-50	-14	10	6,79	22	Superior Temporal Gyrus
	-50	-19	10	6,71	41	Transv. Temporal Gyrus
	-45	-14	10	6,71	13	Insula
600 - 900	-59	-9	23	7,03	4	Precentral Gyrus
	-59	-9	19	7,02	43	Postcentral Gyrus
	-54	20	13	6,97	45	Inferior Frontal Gyrus
900 - 1200	15	-71	36	6,46	7	Precuneus
	15	-67	26	6,03	31	Precuneus
	10	-76	36	6,02	19	Cuneus
1500 - 1800	15	58	2	6,24	10	Medial Frontal Gyrus
	20	63	6	6,17	10	Superior Frontal Gyrus
	25	59	11	5,82	10	Middle Frontal Gyrus
1800 - 2100	5	49	16	6,20	9	Medial Frontal Gyrus
	15	50	21	6,01	10	Superior Frontal Gyrus
	5	40	16	5,80	32	Anterior Cingulate

ms	x	y	z	pseudo t	BA	Struktur
2100 - 2400	-54	-52	30	5,72	40	Supramarginal Gyrus
	-54	-57	35	5,61	39	Angular Gyrus
	10	49	11	5,54	10	Medial Frontal Gyrus
2400 - 2700	15	49	7	6,02	10	Medial Frontal Gyrus
	25	59	11	5,97	10	Middle Frontal Gyrus
	15	44	7	5,66	32	Anterior Cingulate
2700 - 3000	25	59	15	5,56	10	Superior Frontal Gyrus
	25	59	11	5,48	10	Middle Frontal Gyrus

Tabelle 6: Die Signifikanzergebnisse ($p < .05$) des SnPM über das gesamte Zeitintervall (0 – 4000 ms) für 300 ms Zeitfenster. Es sind nur die (bis zu) 3 BA (bzw. Strukturen) mit den stärksten Differenzen zwischen den Bedingungen (VB – KB) aufgeführt. [x-, y-, z-Koordinaten nach Talairach; BA = Brodmann Areal].

Die stärksten signifikanten Ergebnisse zeigen sich im Zeitfenster 300 bis 600 ms links temporal und in der Insula. Anschließend verlagern sie sich nach links inferior frontal. Von 900 bis 1200 ms ist der signifikante Unterschied im Precuneus und Cuneus jeweils rechts lateral maximal (vgl. Abb. 19). Das nächste Zeitfenster zeigte kein signifikantes Ergebnis. Von 1500 bis 1800 ms lagen die maximalen Aktivierungsunterschiede rechts fronto-medial, sowie präfrontal am superioren und mittleren gyrus frontalis verteilt. Diese Verteilung bleibt auch von 1800 bis 2100 ms weitgehend erhalten, erstreckt sich nun aber mehr dorsolateral und bis zum anterioren cingulären cortex. Anschließend (2100 – 2400 ms) springt der Aktivierungsunterschied jedoch auf den gyrus supramarginals und angularis (Wernicke Areal) über, um danach (2400 – 2700 ms) wieder vorwiegend fronto-medial und präfrontal aufzutreten. Die präfrontalen Unterschiede sind von 2700 bis 3000 ms post-Stimulus gerade noch signifikant und fallen für die weiteren Zeitfenster unter das Signifikanzniveau.

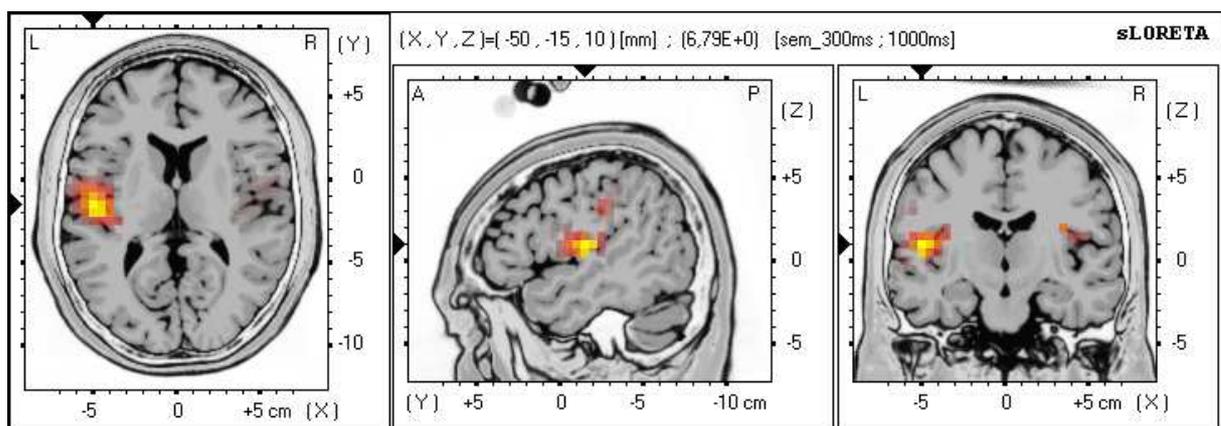


Abbildung 17: sLORETA: Quelle des stärksten statistischen Unterschieds (VB - KB) im Zeitfenster 300 - 600 ms. Superior Temporal Gyrus (BA 22).

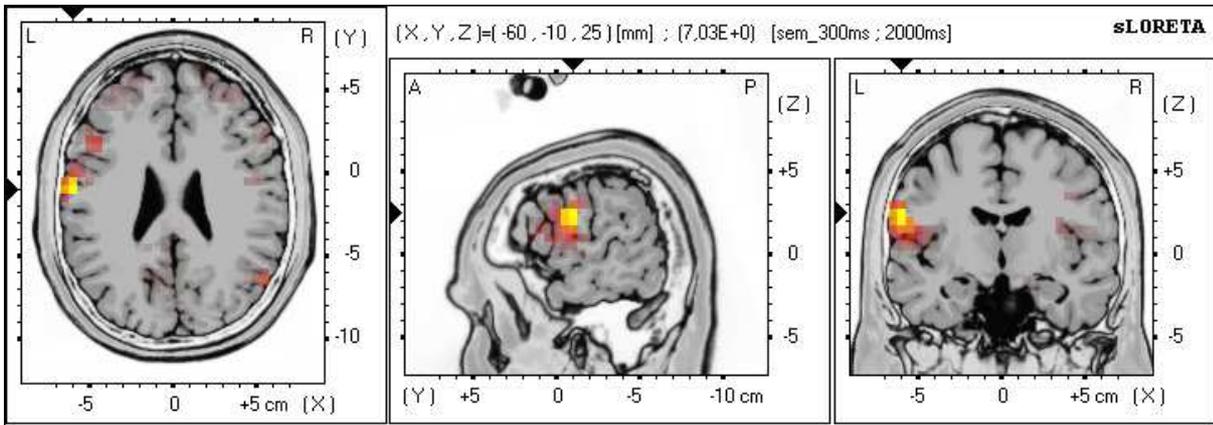


Abbildung 18: sLORETA: Quelle des stärksten statistischen Unterschieds (VB - KB) im Zeitfenster 600 - 900 ms. Precentral Gyrus (BA 4).

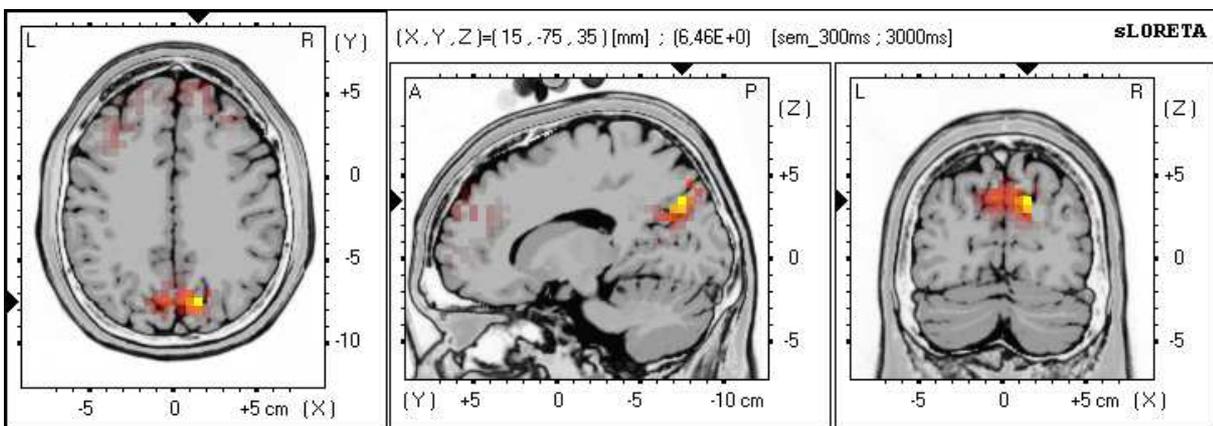


Abbildung 19: sLORETA: Quelle des stärksten statistischen Unterschieds (VB - KB) im Zeitfenster 900 - 1200 ms. Precuneus (BA 7).

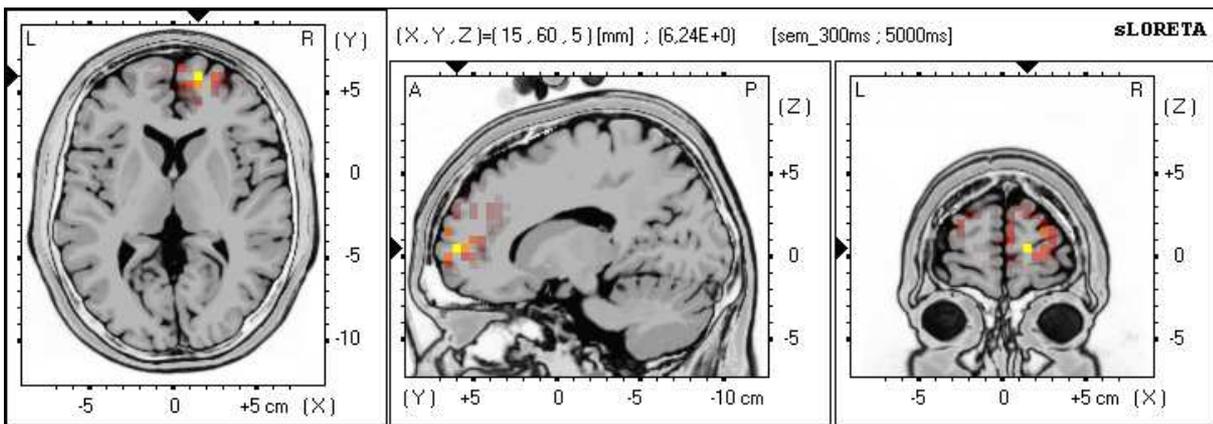


Abbildung 20: sLORETA: Quelle des stärksten statistischen Unterschieds (VB - KB) im Zeitfenster 1500 - 1800 ms. Medial Frontal Gyrus (BA 10).

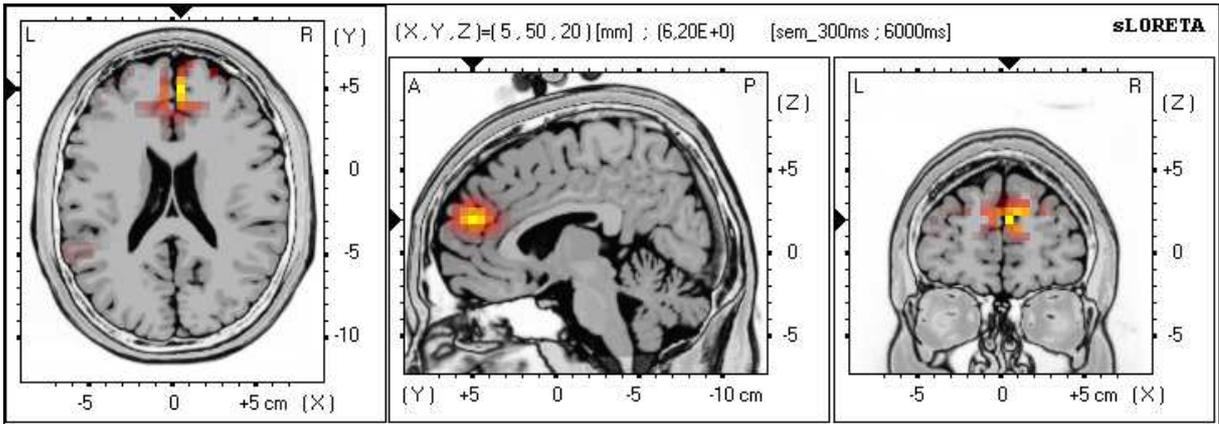


Abbildung 21: sLORETA: Quelle des stärksten statistischen Unterschieds (VB - KB) im Zeitfenster 1800 - 2100 ms. Medial Frontal Gyrus (BA 9).

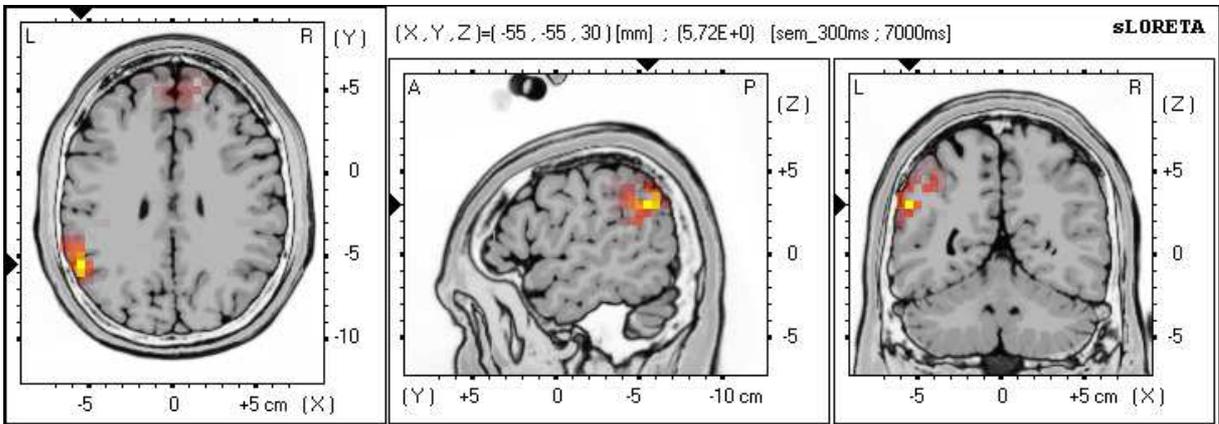


Abbildung 22: sLORETA: Quelle des stärksten statistischen Unterschieds (VB - KB) im Zeitfenster 2100 - 2400 ms. Supramarginal Gyrus (BA 40).

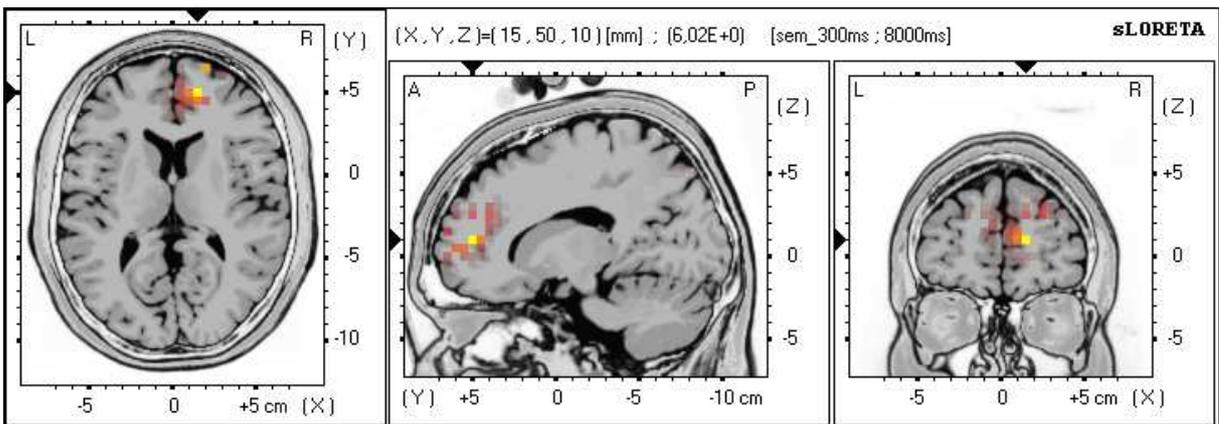


Abbildung 23: sLORETA: Quelle des stärksten statistischen Unterschieds (VB - KB) im Zeitfenster 2400 - 2700 ms. Medial Frontal Gyrus (BA 10).

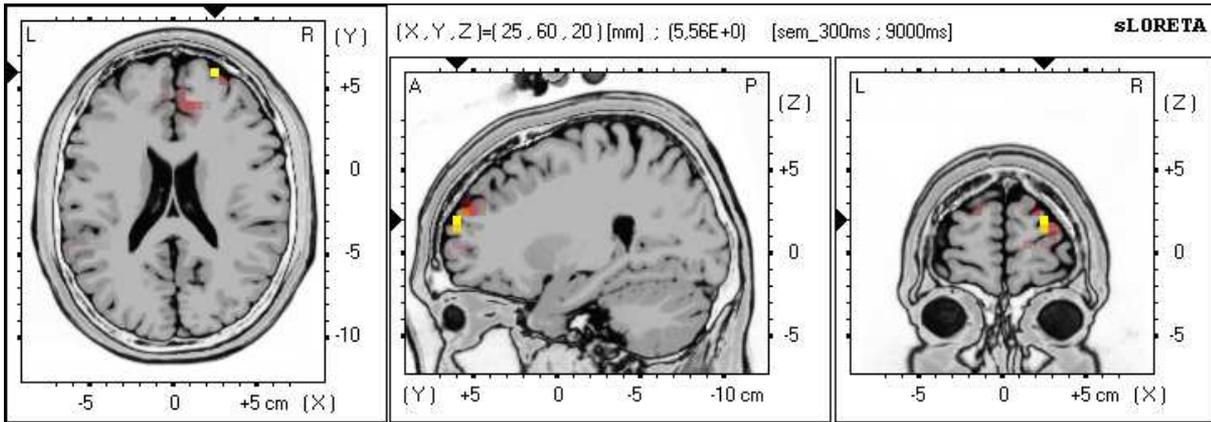


Abbildung 24: sLORETA: Quelle des stärksten statistischen Unterschieds (VB - KB) im Zeitfenster 2700 - 3000 ms. Superior Frontal Gyrus (BA 10).

Um den Verlauf der Informationsverarbeitung von semantischen Fehlern genauer unter die Lupe zu nehmen, werden nun noch die Signifikanzergebnisse (für die zwei stärksten Unterschiede in Brodmannarealen) für den Zeitbereich von 300 bis 1300 ms in 40 ms Fenstern dargestellt (siehe Tab.7).

ms	x	y	z	pseudo t	BA	Struktur
380 - 420	-30	-40	-19	6,16	20	Fusiform Gyrus
	-25	-40	-15	6,11	37	Fusiform Gyrus
500 - 540	50	-4	19	7,93	6	Precentral Gyrus
	54	-4	19	7,54	4	Precentral Gyrus
540 - 580	35	-4	19	6,61	13	Insula
	45	-4	23	6,55	6	Precentral Gyrus
580 - 620	45	-4	23	8,77	6	Precentral Gyrus
	35	-4	19	8,56	13	Insula
620 - 660	40	1	18	8,72	13	Insula
	45	-4	23	8,22	6	Precentral Gyrus
660 - 700	-40	10	13	8,35	13	Insula
	-54	1	14	8,15	6	Precentral Gyrus
700 - 740	-45	10	9	7,24	44	Precentral Gyrus
	-54	20	13	7,06	45	Inferior Frontal Gyrus
740 - 780	-59	-9	14	8,59	42	Transv. Temporal Gyrus
	-54	-9	14	8,31	43	Precentral Gyrus
780 - 820	-20	-42	30	6,46	31	Precuneus
	25	59	15	6,16	10	Superior Frontal Gyrus
820 - 860	-20	55	29	6,45	9	Superior Frontal Gyrus
	-20	55	25	6,40	10	Superior Frontal Gyrus
860 - 900	-10	60	25	6,09	10	Superior Frontal Gyrus

ms	x	y	z	pseudo t	BA	Struktur
	-15	55	25	6,05	9	Superior Frontal Gyrus
900 - 940	35	36	30	6,39	9	Superior Frontal Gyrus
	-20	45	21	6,02	10	Superior Frontal Gyrus
940 - 980	-30	31	31	5,59	9	Middle Frontal Gyrus
980 - 1020	54	-62	26	6,24	39	Superior Temporal G.
	54	-62	31	5,80	39	Supramarginal Gyrus
1020 - 1060	-35	40	21	6,02	10	Middle Frontal Gyrus
	-40	35	17	5,90	46	Middle Frontal Gyrus
1060 - 1100	-20	45	21	6,04	10	Superior Frontal Gyrus
	-10	50	21	5,93	9	Superior Frontal Gyrus
1100 - 1140	10	-76	41	6,07	7	Precuneus
	10	-76	36	5,99	19	Cuneus
1140 - 1180	-45	21	22	5,66	46	Middle Frontal Gyrus
	-54	21	27	5,64	9	Middle Frontal Gyrus
1180 - 1220	25	55	25	5,66	10	Superior Frontal Gyrus
1220 - 1260	15	60	25	6,08	10	Superior Frontal Gyrus
	10	55	25	5,81	9	Superior Frontal Gyrus

Tabelle 7: Die Signifikanzergebnisse ($p < .05$) des SnPM über das geschätzte Zeitintervall in dem die semantische Fehlererkennung stattfindet (300 – 1300 ms) für 40 ms Zeitfenster. Es sind nur die (bis zu) 3 BA (bzw. Strukturen) mit den stärksten Differenzen zwischen den Bedingungen (VB – KB) aufgeführt. [x-, y-, z-Koordinaten nach Talairach; BA = Brodmann Areal].

Das erste signifikante Zeitfenster liegt isoliert von 380 bis 420 ms und zeigt eine stärkere Aktivierung des inferioren Temporallappens für die VB.

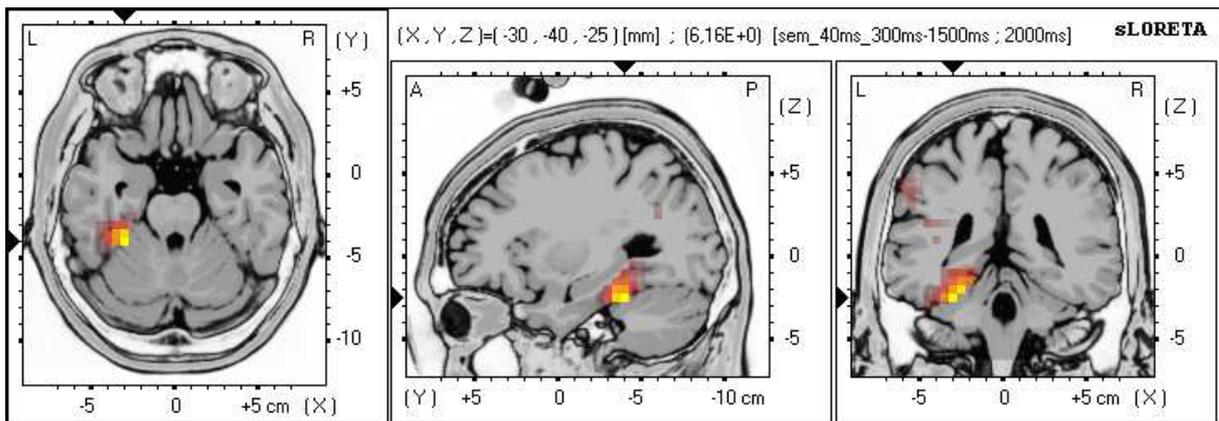


Abbildung 25: sLORETA: Quelle des stärksten statistischen Unterschieds (VB - KB) im Zeitfenster 380 - 420 ms. Fusiform Gyrus (20).

Der Zeitraum von 500 bis 700 ms nach Stimulus-Onset ist von Aktivierungen im ventralen gyrus precentralis und der Insula, bis 660 ms rechts lateral geprägt. Nach diesem Zeitraum wechseln die Aktivierungen bis 1100 ms mit einigen wenigen Ausnahmen auf die linke

Hemisphäre. Im Fenster 700 bis 740 ms befinden sich die maximalen Unterschiede im ventralsten Teil des gyrus precentralis (BA 44) sowie dem gyrus frontalis inferior (BA 45), danach (740 – 780 ms) überraschenderweise im gyrus temporalis transversalis (BA 42) und dem BA 43. Von 780 bis 820 ms ist der Unterschied der beiden Bedingungen maximal im linken Precuneus (BA 31) und dem rechten gyrus frontalis superior (BA 9, 10). Der Zeitraum von 820 bis 940 ms ist dominiert von Aktivierungsunterschieden im linken gyrus frontalis superior, von 910 bis 940 ms auch rechts lateral, 940 bis 980 ms findet sich dann ein Unterschied im gyrus frontalis medior. Eine Sekunde nach Stimulus-Onset (980 – 1020 ms) ist die Aktivierung zum rechten gyrus temporalis superior und gyrus supramarginalis gewandert (BA 39). Von 1020 bis 1060 ms ist erstmals der linke gyrus frontalis medialis (BA 10, 46) der Fokus des Bedingungsunterschieds, bevor er sich (1060 – 1100 ms) wieder in den linken gyrus frontalis superior (BA 10, 9) und anschließend (1100 – 1140 ms) in den rechten Precuneus (BA 7, 19) verlagert. Im Zeitfenster 1140 bis 1180 ms ist der Bedingungsunterschied im linken gyrus frontalis medior (BA 46, 9) zu finden. Für die beiden letzten signifikanten Fenster (1180 – 1260 ms) liegt der Unterschied wieder im gyrus frontalis superior (BA 10, 9).

2.3. Diskussion

Die Analyse der EEG-Daten mittels sLORETA und SnPM ergab sehr widersprüchliche Ergebnisse. Die statistische Analyse der Aktivierungsunterschiede zwischen den Bedingungen lieferte zwar eine Vielzahl signifikanter Areale, die jedoch – betrachtet man die Quellenlokalisationen der Bedingungen alleine – nicht zu den stärksten Quellen der inversen Lösung gehörten. Da fraglich ist, wie viele Quellen sLORETA imstande ist verlässlich zu lokalisieren, ist die Validität der Ergebnisse, abgesehen des Precuneus, eher zweifelhaft. Dennoch soll die Diskussion der anderen signifikanten Ergebnisse nicht unterschlagen werden, da sie teilweise in Bezug auf die Literatur recht plausibel scheinen und somit als mögliches Modell der semantischen Fehlerverarbeitung von komplexen Bildern dienen sollen.

2.3.1. Precuneus & Lobulus Parietalis Superior / Inferior

Der Precuneus war sowohl in der Bedingung mit semantischem Fehler, als auch in der Kontrollbedingung in mehreren Zeitfenstern dominant aktiv. In der Versuchsbedingung war er in den drei Zeitfenstern von 600 bis 1500 ms der Ort der stärksten Aktivierung, während das in der KB in keinem Intervall zutraf. Für das Fenster von 900 bis 1200 ms ergab sich dafür im SnPM auch ein signifikantes Ergebnis.

Der Precuneus wird mit einer Reihe von höheren kognitiven Funktionen in Verbindung gebracht: visuo-räumliche Vorstellung, episodisches Gedächtnis, selbstbezogene Gedanken und nicht zuletzt Bewusstsein [19]. Er ist eine jener Regionen, die bei fMRI Messungen des Ruhezustandes bei Bewusstsein maximale Aktivität zeigen, im Schlaf, bei Hypnose, globaler Anästhesie und Appalischem Syndrom jedoch nur geringe. Es gibt ebenfalls Studien, die precuneale Beteiligung an Aufgaben, die Aufmerksamkeitswechsel erfordern, festgestellt haben. Cavanna et al. (2006) geben in ihrem Review die Koordinaten der Maximierungsfoki unterschiedlicher bildgebender Studien zum Precuneus an. Die Studien mit den Quellen, die dem stärksten signifikanten Unterschied dieser Studie ($x = 15$, $y = -71$, $z = 36$) im Zeitfenster von 900 bis 1200 ms am nächsten kommen, enthielten Aufgaben zum Aufmerksamkeitswechsel einerseits und zum Abruf von Wortpaaren andererseits .

Le et al. (1998) [58] untersuchten mittels fMRI den Aufmerksamkeitswechsel auf Objektmerkmale (Farbe, Form). Die Vpn mussten dabei auf die richtige Farbe bzw. die richtige Form mit Knopfdruck antworten. In der einen Bedingung wechselte die Merkmalskategorie (Farbe, Form), auf die geachtet werden musste, nach einer erfolgreichen Antwort (selektiver Aufmerksamkeitswechsel), während sie in der anderen Bedingung gleich blieb (andauernde Aufmerksamkeit). Maximale Aktivierung im Precuneus fanden sie bei

Talairach-Koordinaten: $x = 9$, $y = -70$, $z = 36$. Bei Nagahama et al. (1999) [73] führten die Vpn eine klassische Karten-Sortieraufgabe durch, bei der sie die Aufmerksamkeit selbständig auf ein anderes Kartenmerkmal richten mussten, sobald das Feedback signalisierte, dass die Sortier-Strategie nicht mehr korrekt war (max. Aktivierung im Precuneus bei: $x = 4$, $y = -70$, $z = 32$).

Wenn wir diese Befunde im Licht der vorliegenden Studie betrachten, findet sich eine Gemeinsamkeit. Auch bei den komplexen Bildern dieser Studie besteht die Notwendigkeit, die Aufmerksamkeit zwischen verschiedenen Details hin und her springen zu lassen, um den Inhalt zu erfassen bzw. einen möglichen Fehler zu entdecken. Bei den Bildern mit semantischer Anomalie ist dies noch mehr der Fall, da sie Detail-Kontext-Diskrepanzen (iPod im Jesus-Mosaik, Sumoringer auf Rennpferd) enthalten, deren Evaluation vermehrt Aufmerksamkeitswechsel zwischen den widersprüchlichen Inhalten erfordert. Der Zeitraum, in dem der signifikante Unterschied im Precuneus auftrat (900 bis 1200 ms bzw. 1100 bis 1140 ms), könnte auch jener Bereich sein, in dem die semantischen Anomalie gerade bewusst und die Bildinhalte, die eine Diskrepanz konstituieren, daraufhin gezielt exploriert wurden, was einen raschen Wechsel der selektiven Aufmerksamkeit erforderte.

Ebenfalls sehr ähnliche Aktivierungen im Precuneus wurden bei Aufgaben zum episodischen Gedächtnis gefunden. Krause et al. (1999) [53] gaben den Probanden in einer PET Studie semantisch nicht verwandte Wortpaare, die sie später erinnern sollten, visuell oder auditorisch vor. Diese konnten entweder leicht zu imaginieren sein oder abstrakte Wörter darstellen. Als Kontrollbedingung wurden nicht-Wörter gezeigt. Beide Gruppen von Wortpaaren führten zu stärkeren Aktivierungen im Precuneus, als die KB. Die Bedingung, bei der die Stimuli auditorisch präsentiert wurden, zeigte bei den abstrakten Wortpaaren im rechten Precuneus die stärkste Aktivierung ($x = 12$, $y = -76$, $z = 32$). Schmidt et al. (2002) [96] führten (ebenfalls mit PET) ein fast identes Design durch. Die Aktivierungsschwerpunkte im rechten Precuneus für stark imaginative Bilder, schwach imaginative Bilder bzw. visuell dargebotene Bilder lagen bei $x = 8/12/10$ respektive, $y = -76$, $z = 36$.

Die Interpretation der Aktivierung des Precuneus in dieser Studie könnte auch im Kontext des episodischen Gedächtnisses gesehen werden. Denn das Betrachten der Bilder, könnte zu impliziten Assoziationen einzelner Inhalte mit Erfahrungen aus dem eigenen Leben (auch wenn sie über das Fernsehen erworben wurden) geführt haben. Bei einem Stimulus, der einen Soldaten mit einem Blumenstrauß im Anschlag zeigt, könnten diese folgendermaßen aussehen: *'Soldat... in letzter Zeit in dieser Pose öfters in den Nachrichten gesehen... aber mit Gewehr und nicht Blumen in der Hand... Blumen... schön, Geschenk für meine Mutter... passen nicht zu Krieg...'*. Man bedenke, dass diese Assoziationen zunächst unbewusst,

automatisiert und höchstwahrscheinlich nicht in konkreter verbalisierter Form, wie hier geschildert, ablaufen könnten um sich später in bewusster Form fortzusetzen.

Cabeza et al. (2008) [18] beschreiben in einem neuen Reviewartikel ein Modell der dualen Aufmerksamkeitsprozesse. Der lobulus parietalis superior (dorsal parietal cortex, DPC) ist demnach für top-down gesteuerte Aufmerksamkeit zuständig, während der lobulus parietalis inferior (ventral parietal cortex, VPC) bottom-up Prozesse der Aufmerksamkeit, die durch das Ergebnis des Gedächtnisabruf gleichsam 'gefangen' wird, vermittelt.

Die Ergebnisse der sLORETA Quellenlokalisationen der einzelnen Bedingungen brachten neben Precuneus-Aktivierungen vor allem diese beiden Areale zum Vorschein. Dies lässt sich gut mit den Ergebnissen von Cabeza et al. (2008) in Einklang bringen. Denn die komplexen Stimuli erforderten eine sehr genaue visuelle Suche, die sowohl durch gezielte Steuerung der Aufmerksamkeit bedingt ist, als auch durch automatische Aufmerksamkeitslenkung auf dominante Reizmerkmale. Wenn auch nicht signifikant, fällt auf, dass die stärkste Aktivierung zwischen 0 und 300 ms in der Versuchsbedingung in lobulus parietalis inferior liegt, während dies in der Kontrollbedingung nicht der Fall ist. Eventuell lenken schon zu diesem Zeitpunkt deviante Stimulusmerkmale die Aufmerksamkeit, im Sinne einer bottom-up Steuerung.

2.3.2. Gyrus Fusiformis

Der Aktivierungsunterschied im gyrus fusiformis zwischen 380 und 420 ms, einem Zeitraum, in dem bei diversen semantischen Aufgaben (siehe 1.3.1.) die N400 beobachtet wurde, steht im Einklang mit mehreren anderen Studien. So fanden auch Michelon et al. (2003) Aktivierungen im linken fusiformen gyrus (BA37), sowohl für infrequente, als auch frequente inkongruente Bilder, jedoch posteriorer als in dieser Studie. Der gyrus fusiformis wurde auch von Ni et al. (2001) [75] sowie Newman et al. (2001) [74] bei verbalen semantischen Erwartungsverletzungen gefunden. In einer MEG-Studie zur Quellenlokalisation der N400 fanden Simos et al. (1997) [81] Aktivierungen in der Nähe des Hippocampus und gyrus parahippocampalis, als auch des mittleren temporalen gyrus. Interessanterweise fanden McCarthy et al. (1995) [64] in ihren intrakraniellen Ableitungen zur N400 ein positives Potential (P400), das in der Nähe des sulcus collateralis und gyrus fusiformis anterior zu entstehen scheint. In einer 128-Kanal ERP-Studie [49] wurde diese P400 bei semantischen Fehlern genauer untersucht und ebenfalls ein Entstehungsort in den Temporallappen nahe gelegt. Insgesamt gibt es also eine Reihe von Befunden, die den gyrus fusiformis mit semantischer Fehlerverarbeitung bzw. Erwartungsverletzung in Verbindung bringen.

2.3.3. Gyrus Frontalis Inferior

Im Zeitraum von 600 bis 900 ms finden sich signifikante Aktivierungen im linken inferioren

frontalen gyrus (IFG, BA 45) für die VB vs. KB. Wenn man die 40 ms Zeitintervalle betrachtet, findet sich das selbe signifikante Voxel von 700 bis 740 ms, sodass die Spitze der IFG Aktivierung wohl in diesem Zeitbereich anzusiedeln ist. Michelon et al. (2003) [67], die ihren Probanden Bilder zeigten, die zum Teil aus einem Tier und zum Teil aus einem Artefakt bestanden, die zu einem Objekt zusammengefügt worden waren (z.B. Hinterteil eines Tieres, Vorderteil einer Kießkanne), fanden mit fMRI ebenfalls Aktivität im IFG (BA 45/46), aber nur für die Bedingung infrequente-inkongruente Bilder. Sie bringen diese Aktivierung mit Elaborationsprozessen des Gedächtnis in Zusammenhang.

Lundstrom et al. (2005) [60] untersuchten das episodische Gedächtnis mittels einer Kontext-Lernaufgabe, bei der die Vpn Wörter, die entweder von einem passenden Bild gefolgt wurden, oder bei denen ein solches Bild vorgestellt werden sollte, lernen mussten. Bei der Wiedererkennung sollten sie die Wörter in die Kategorien 'Bild', 'vorgestellt' oder 'neu' einteilen, je nachdem, in welchem Kontext sie es gelernt hatten. Sie fanden differentielle Aktivierungen im Precuneus und gyrus frontalis inferior. Sie folgerten daraus, dass das der ventrale Teil des IFG (BA 47, frontales Operculum) für die Suche nach Informationen, BA 44 und 45 für die Überprüfung von Informationen und der dorsal-inferiore Teil des IFG (BA 45/46) für Auswahl von Informationen zuständig ist.

Bei den Bildern mit semantischem Fehler bzw. Anomalie könnte der IIFG die Funktion haben, die widersprüchlichen Inhalte zu überprüfen oder ein Detail auszuwählen, um es näher 'unter die Lupe' zu nehmen.

2.3.4. Integration der Ergebnisse

Wenn man sich den Verlauf der Bedingungsunterschiede in den 40 ms Fenstern ansieht, kann man feststellen, dass die signifikanten Unterschiede im gyrus fusiformis beginnen. In unmittelbarer Nähe dieser Region entspringt wahrscheinlich die N400, eine ERP bei semantischer Erwartungsverletzung und Konflikt. Hier könnte eine erste Anomalie im Stimulus – ob bewusst oder unbewusst – entdeckt werden. Zwischen 540 und 700 ms liegt der Unterschied der Bedingungen in der Insula. Diese Struktur war auch bei Friederici et al. (2003) [32] beim Hören semantisch inkorrektur Sätze aktiv. Der insuläre Cortex wird unter Anderem mit Gedankenunterdrückung in Verbindung gebracht. Er war aktiv, als Probanden bei Wyland et al. (2003) [110] die Instruktion hatten, alle bewussten Gedanken zu unterdrücken, im Vergleich zur Bedingung, den Gedanken freien Lauf zu lassen. Eventuell spielt die Insula auch eine Rolle beim automatischen Inhibieren von Assoziationen. Mummery et al. (1999) [71] fanden im Rahmen eines Experiments zum semantischen Priming Insula Aktivierung bei lexikalischen Entscheidungen (Wort oder nicht-Wort?) im Vergleich zur Aufgabe zu entscheiden, ob im Zielwort ein bestimmter Buchstabe enthalten ist. Die darauf

folgende Aktivierung des IIFG (700 bis 740 ms) könnte, wie schon erwähnt, mit Selektionsprozessen konkurrierender semantischer Repräsentationen zu tun haben. Der Precuneus (780 bis 820 ms) mag die visuelle Aufmerksamkeitsrichtung nach der Selektion auf das ausgewählte Bildmerkmal repräsentieren. Eine andere Möglichkeit der Involvierung wäre auch, Assoziationen des episodischen Gedächtnis abzurufen. Anschließend folgt eine ca. 200 ms lange Phase dorso-lateraler präfrontaler Requirierung (dlPFC, BA 10, 9), die mit eingehender Stimulusprüfung erklärt werden könnte. Die von 980 bis 1020 ms auftretende stärkere Aktivierung des gyrus supramarginalis (BA 39) – einem Teil des Wernicke Areal – in der Versuchsbedingung könnte die darauffolgende Integration der Bedeutung des Einzelmerkmals in den Kontext sein. Zwischen 1100 bis 1140 ms tritt wieder der Precuneus hervor, was einen erneuten Wechsel der Aufmerksamkeitsfokussierung darstellen könnte. Der SnPM-Test mit 300 ms Zeitfenstern brachte nach dem Unterschied im Precuneus für die folgenden Sekunden hauptsächlich Ergebnisse im medialen PFC, sowie dlPFC. Ersterer könnte eine affektive Komponente der Bildverarbeitung darstellen, während zweiter mit den meisten komplexeren Denkprozessen assoziiert wird. Zwischen 2100 und 2400 ms findet sich dann noch interessanterweise eine Aktivierung im angularen und supramarginalen gyrus (BA 39, 40), dem Wernicke Areal. Dies könnte eine letzte abschließende semantische Integration des Bildes darstellen. Rufen wir uns noch einmal die Ergebnisse des Vortests in Erinnerung, so sehen wir, dass sich der Zeitbereich kurz nach der mittleren Reaktionszeit der Entscheidung auf die Bilder befindet.

2.3.5. Kritik

Die Kritikpunkte und Mängel der Studie sollen nicht unerwähnt bleiben. Zuallererst hätte die Studie wohl am meisten von einer größeren Anzahl an Stimuli (und damit Durchgängen) profitiert, da dadurch das Signal-Rausch-Verhältnis deutlich verbessert worden wäre. Eine größere Stimuluszahl hätte außerdem eine restriktivere Artefaktkontrolle ermöglicht, was insgesamt zur Qualität der Daten beigetragen hätte. Grund für die geringe Anzahl an Stimuli war einerseits die Durchführung zweier Versuche in einem Experiment, die zur Aufteilung des zeitlichen Rahmens – von dem die Zahl der Stimuli mitbedingt wurde – führte. Andererseits war die Suche nach semantischen Fehlerbildern, die Kriterien wie Qualität in der Herstellung und schnelle Fehlererkennung (siehe auch Abschnitt 2.1.2. und 2.2.1.) erfüllten, zeitaufwendig. Eventuell hätten aus dem Pool von 60 Bildern pro Bedingung, die vor dem Prä-Test existierten, mehr Bilder behalten werden sollen. Ein weniger restriktives Einschlusskriterium als mindestens 15 von 16 richtigen Zuordnungen im Vortest hätte dazu beigetragen und wäre vertretbar gewesen. Denn man muss bedenken, dass der Vortest keinen Übungsdurchgang beinhaltete und somit die eine oder andere falsche Zuordnung auf

vertauschte Antworttasten zurückzuführen ist. Außerdem lief der Prätest unter Zeitdruck ab (Abbruchkriterium von vier Sekunden und Instruktion, dass die Vpn so schnell wie möglich antworten sollten), was somit sicher teilweise zu impulsiven Antworten führte. Im EEG-Versuch gab es dann keine Antwort-Instruktion, weshalb Bilder, bei denen der Evaluationsprozess länger dauert, wohl kein Problem dargestellt hätten.

Die Auswahl der Bilder hätte hingegen stärker nach inhaltlichen Gesichtspunkten eingeschränkt werden können. So liegen Bilder von Gegebenheiten, die in der Alltagsrealität unmöglich sind, vor (ein Rodeoreiter auf einem überdimensionalen Berglöwen, ein Paragleiter im All, etc.), als auch ungewöhnliche, jedoch prinzipiell nicht unmögliche Bilder (ein Mosaik von Jesus, der einen iPod in der Hand hält, ein Glühbirne, die mit Wasser gefüllt ist, Menschen, die unter Wasser fernsehen). Auch hinsichtlich der Frage wodurch der semantische Fehler bzw. die semantische Anomalie im Bild zuerst wahrgenommen wird, sind die Bilder sicherlich heterogen. So wird in manchen Bildern die Anomalie vielleicht gewissermaßen propriozeptiv wahrgenommen (die Gewichtheber-Stange ist viel zu schwer für das Kleinkind) während in anderen der Fehler eher logisch erschlossen wird (in der Atmosphäre des Mondes kann kein Helikopter fliegen) und in einer anderen Kategorie die Inkongruenz durch verletzte visuelle Schemata unmittelbar ins Auge sticht ist (Hand mit Gitterfenster). Es ist wahrscheinlich, dass diese Kategorien von Bildern unterschiedlich verarbeitet werden, vielleicht auch in einem Grad, den man mit dem EEG messen kann. Doch in Hinblick auf eine zu geringe und noch dazu ungleichmäßig verteilte Itemzahl in diesen Kategorien wurde auf die Untersuchung dieser Unterschiede verzichtet.

Ein anderer Kritikbereich betrifft die Datenanalyse. Wie schon mehrfach erwähnt, wurden die meisten signifikanten Ergebnisse der Bedingungsunterschiede nicht durch eine dominante Stellung in der Quellenlokalisierung der Bedingungen gestützt. Aus Diskussionen mit Herbert Bauer und Avni Pillana (und unveröffentlichten Simulationen) entstand noch dazu erheblicher Zweifel, in wie weit sLORTEA imstande ist, mehr als eine Quelle verlässlich zu lokalisieren (siehe auch [107]). Somit ist fraglich, wie valide die gefundenen Areale mit Aktivierungsunterschieden tatsächlich sind, auch wenn gewisse Ergebnisse, wie das signifikante Ergebnis des Temporallapens im Zeitfenster von 380 ms bis 420 ms, plausibel erscheinen. Eine mögliche Vorgangsweise, um die Validität der statistischen Ergebnisse zu erhöhen, soll kurz erwähnt werden. Es wäre möglich, die signifikanten Voxel der SnPM-Analyse nach Arealen zu gruppieren und einen statistischen Häufigkeitsvergleich, wie viele Voxel pro Areal gefunden wurden, durchzuführen. Zusätzlich könnte die zeitliche Konstanz eines derart ermittelten signifikanten Areals überprüft werden, da durchgehende Aktivierungen wohl eher für tatsächliche physiologische Prozesse, denn für durch Artefakte generierte 'Geisterquellen' sprechen. Der Nachteil der Verwendung einer solchen

Zeitkonstante wäre, dass während des Informationsverarbeitungsprozesses tatsächlich nur kurz auftretende Akquisitionen von Hirnregionen dadurch untergehen.

Für die Zukunft bleibt zu hoffen, dass realistische Signaltransduktions-Modelle erarbeitet werden, die die unterschiedliche Leitfähigkeiten entlang des Craniums, einschließlich seiner Nahtstellen, der Liquorräume und verschiedenen Meningen berücksichtigen. Ein solches realistisches Kopfmodell (im Gegensatz zu dem, den meisten Vorwärts-Lösungen zugrunde liegenden, Drei-Schicht-Modell) würde, idealerweise kombiniert mit einer magnetresonanztomographischen Aufnahme des Gehirns pro V_p , zu einer verlässlicheren inversen Lösung führen.

2.4. Konklusion

Die gesuchte starke und stabile Aktivierung im anterioren cingulären cortex konnte weder für die Bilder der Alltagsobjekte aus ungewöhnlichen Blickwinkeln, noch für die Bilder mit semantischem Fehler bzw. Anomalie gefunden werden. Dies kann mehrere Ursachen haben. Einerseits mag sich die Funktion der Fehler- und Konfliktüberwachung, die dem ACC zugeschrieben wird, primär auf motorische und exekutive, denn auf rein sensorische und wahrnehmungsgebundene Prozesse beschränken. Es ist jedoch auch nicht auszuschließen, dass die Anzahl der Durchgänge (und damit das Signal-Rausch Verhältnis) zu gering war um eine Aktivität des ACC mittels sLORETA zu erfassen. Zu bedenken ist auch, dass der ACC aufgrund seiner anatomischen Lage generell schwach im EEG abgebildet ist. Optimal wäre es, die Stimuli in einem fMRI-Experiment zu evaluieren.

Die komplexen visuellen Stimuli der semantischen Versuchs- und Kontrollbedingung lösen primär Aktivität in höheren visuellen Assoziationsarealen (Lobulus parietalis superior und inferior sowie Precuneus) aus. Die semantischen Fehlerbilder führten zu signifikant stärkerer Aktivierung im Precuneus von 900 bis 1200 ms. Diese Aktivität könnte mit erhöhter visueller selektiver Aufmerksamkeit assoziiert sein, worauf auch der Zeitraum hindeutet. Daten des Vortests legen nahe, dass der Fehler in diesem Zeitfenster bewusst wurde, bzw. kurz davor bewusst geworden war.

Der statistische Vergleich der beiden Bedingungen mittels SnPM ergab ein temporo-fronto-parietales Netzwerk der semantischen Fehlerverarbeitung. Auch wenn die Ergebnisse plausibel erscheinen, ist die ökologische Validität der Bedingungsunterschiede (mit Ausnahme des Precuneus) fraglich, da diese Areale nicht zu den dominanten Aktivierungen in der Quellenlokalisierung zählten und sLORETA nicht imstande ist, so viele Quellen unter realistischen Bedingungen zu lokalisieren.

3. Verzeichnisse

3.1. Literaturverzeichnis

- [1] Bauer, H., Lamm, C., Holzreiter, I., Hollaender, U., Leodolter, M., Leodolter, U. (2000) Measurement of 3D electrode coordinates by means of a 3D photogrammetric head digitizer. *NeuroImage* 11, S. 461.
- [2] Bauer, H., Korunka, C., Leodolter, M. (1989). Technical requirements for high-quality scalp DC recordings. *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol.* 72, 545–547.
- [3] Bauer, H., Lauber, W. (1979). Operant conditioning of brain steady potential shifts in man. *Biofeedback Self-Regul.* 4, 145–154.
- [4] Bauer, H., Pripfl, J., Lamm, C., Prainsack, C., Taylor, N. (2003). Functional neuroanatomy of learned helplessness. *NeuroImage* 20, 927–939.
- [5] Bauer, H., Rebert, C., Korunka, C., Leodolter, M. (1992). Rare events and the CNV—the oddball CNV. *Int. J. Psychophysiol.* 13, 51–58.
- [6] Barrett, S.E., Rugg, M.D., Perrett, D.I. (1988). Event-related potentials and the matching of familiar and unfamiliar faces. *Neuropsychologia* 26(1), 105–117.
- [7] Barrett, S., Rugg, M.D. (1989). Event-related potentials and the semantic matching of faces. *Neuropsychologia* 27, 913–922.
- [8] Batty, M.J., Bonnington, S., Tang, B.-K., Hawken, M.B, Gruzelier, J.H. (2006). Relaxation strategies and enhancement of hypnotic susceptibility: EEG neurofeedback, progressive muscle relaxation and self-hypnosis. *Brain Research Bulletin* 71, 83–90.
- [9] Bench, C.J., Frith, C.D., Grasby, P.M., Friston, K.J., Paulesu, E., Frackowiak, R.S.J., Dolan, R.J. (1993). Investigations of the functional anatomy of attention using the Stroop test. *Neuropsychologia* 9, 907–922.
- [10] Besson, M., Macar, F. (1987). An event-related potential analysis of incongruity in music and other non-linguistic contexts. *Psychophysiology* 24, 14–25.
- [11] Birbaumer, N., Schmidt, R.F. (2003). *Biologische Psychologie* (5. Auflage). Berlin: Springer. / S. 573.
- [12] Botvinick, M.M., Nystrom, L.E., Fissell, K., Carter, C.S., Cohen, J.D. (1999). Conflict monitoring versus selection-for-action in anterior cingulate cortex. *Nature* 402, 179–181.

- [13] Botvinick, M.M, Cohen, J.D., Carter, C.S. (2004). Conflict monitoring and anterior cingulate cortex: an update. *Trends in Cognitive Sciences* 8(12), 539-546.
- [14] Buckner, R.L., Bandettini, P.A., O'Craven, K.M., Savoy, R.L., Petersen, S.E., Raichle, M.E., Rosen, B.R. (1996). Detection of cortical activation during averaged single trials of a cognitive task using functional magnetic resonance imaging. *Proceedings of the National Academy of Science* 93(25), 14878–14883.
- [15] Bush, G., Frazier, J.A., Rauch, S.L., Seidman, L.J., Whalen, P.J., Jenike, M.A., Rosen, B.R., Biederman, J. (1999). Anterior cingulate cortex dysfunction in attention deficit/hyperactivity disorder revealed by fMRI and the counting Stroop. *Biol. Psychiatry*,45(12), 1542–1552.
- [16] Bush, G., Luu, P., Posner, M.I. (2000). Cognitive and emotional influences in anterior cingulate cortex. *Trends in Cognitive Sciences* 4(6), 215-222.
- [17] Bush, G., Whalen, P.J., Rosen, B.R., Jenike, M.A., McInerney, S.C., Rauch, S.L. (1998). The counting Stroop: an interference task specialized for functional neuroimaging – validation study with functional MRI. *Hum. Brain Mapp* 6, 270–282.
- [18] Cabeza, R., Ciaramelli, E., Olson, I.R., Moscovitch, M. (2008). The parietal cortex and episodic memory: an attentional account. *Nat Rev Neurosci.* 9, 613–625.
- [19] Cavanna, A.E., Trimble, M.R. (2006). The precuneus: a review of its functional anatomy and behavioural correlates. *Brain* 129, 564–583.
- [20] Cohen, M.S., Weisskoff, R.M. (1991). Ultra-fast imaging. *Magnetic Resonance Imaging* 9(1), 1–37.
- [21] Coles, M.G.H., Scheffers, M.K., Holroyd, C. (2001). Why is there an ERN/Ne on correct trials? Response representations, stimulus-related components, and the theory of error-processing. *Biological Psychology* 56, 173–189.
- [22] Curatolo, P., Paloscia, C., D'Agati, E., Moavero, R., Pasini, A. (2009). The neurobiology of attention deficit/hyperactivity disorder. *European journal of paediatric neurology* 13, 299–304.
- [23] Damasio, H., Grabowski, T.J., Tranel, D., Hichwa, R.D., Damasio, A.R. (1996). A neural basis for lexical retrieval. *Nature* 380, 499–505.
- [24] Debrulle, J.B. (2007). The N400 potential could index a semantic inhibition. *Brain Res Rev* 56(2), 472–477.
- [25] DeCharms, C.R., Christoff, K., Glover, G.H., Pauly, J.M., Whitfield, S., Gabrielia, J.D. (2004). Learned regulation of spatially localized brain activation using real-time fMRI. *NeuroImage* 21, 436– 443.

- [26] DeLong, K.A., Urbach, T.P., Kutas, M. (2005). Probabilistic word pre-activation during language comprehension inferred from electrical brain activity. *Nat. Neurosci.* 8, 1117–1121.
- [27] Devlin, J.T., Matthews, P.M., Rushworth, M.F. (2003). Semantic Processing in the Left Inferior Prefrontal Cortex: A Combined Functional Magnetic Resonance Imaging and Transcranial Magnetic Stimulation Study. *Journal of Cognitive Neuroscience* 15, 71–84.
- [28] Falkenstein, M., Hohnsbein, J., Hoorman, J., Blanke, L. (1990). Effects of errors in choice reaction tasks on the ERP under focused and divided attention. In C. H. M. Brunia, A. W. K. Gaillard, & A. Kok (Eds.), *Psychophysiological brain research* (Vol. 1, pp. 192–195). Tilburg, the Netherlands: Tilburg University Press.
- [29] Falkenstein, M., Hoorman, J., Christ, S., Hohnsbein, J. (2000). ERP components on reaction errors and their functional significance: A tutorial. *Biological Psychology* 51, 87–107.
- [30] Fischler, I., Bloom, P.A., Childers, D.G., Roucos, S.E., Perry, N.W. Jr. (1983). Brain potentials related to stages of sentence verification. *Psychophysiology* 20(4), 400–409.
- [31] Fox, D.J., Tharp, D.F., Fox, L.C. (2005). Neurofeedback: an alternative and efficacious treatment for Attention Deficit Hyperactivity Disorder. *Appl Psychophysiol Biofeedback* 30(4), 365–73.
- [32] Friederici, A.D., Rüschemeyer, S.A., Hahne, A., Fiebach, C.J. (2003). The Role of Left Inferior Frontal and Superior Temporal Cortex in Sentence Comprehension: Localizing Syntactic and Semantic Processes. *Cerebral Cortex* 13, 170–177; 1047–3211.
- [33] Frishkoff, G.A., Tucker, D.M., Davey, C., Scherg, M. (2004). Frontal and posterior sources of event-related potentials in semantic comprehension. *Cognitive Brain Research* 20, 329–354.
- [34] Gabrieli, J.D., Poldrack, R.A., Desmond, J.E. (1998). The role of left prefrontal cortex in language and memory. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 95, 906–913.
- [35] Ganis, G., Kutas, M. (2003). An electrophysiological study of scene effects on object identification. *Brain Res Cogn Brain Res.*16(2),123–144.
- [36] Gevensleben, H., Holl, B., Albrecht, B., Schlamp, D., Kratz, O., Studer, P., Wangler, S., Rothenberger, A., Moll, G.H., Heinrich, H. (2009). Distinct EEG effects related to neurofeedback training in children with ADHD: A randomized controlled trial. *International Journal of Psychophysiology* 74, 149–157.
- [37] Gigi, A., Atkins, S., Katzav, R.B., Katzav, E., Hendler, T. (2007). Prefrontal and Parietal Regions Are Involved in Naming of Objects Seen From Unusual Viewpoints. *Behavioral Neuroscience* 121(5), 836–844.

- [38] Gold, B.T., Buckner, R.L. (2002). Common prefrontal regions co-activate with dissociable posterior regions during controlled semantic and phonological retrieval tasks. *Neuron* 35, 803–812.
- [39] Grindrod, C.M, Bilenko, N.Y., Myers, E.B., Blumstein, S.E. (2008). The role of the left inferior frontal gyrus in implicit semantic competition and selection: An event-related fMRI study. *Brain Research* 1229, 167–178.
- [40] Heinrich, H., Gevensleben, H., Freisleder, F.J., Moll, G.H., Rothenberger, A. (2004). Training of slow cortical potentials in attention-deficit/hyperactivity disorder: evidence for positive behavioral and neurophysiological effects. *Biol. Psychiatry* 55 (7), 772–775.
- [41] Hoenig, K., Scheef, L. (2009). Neural correlates of semantic ambiguity processing during context verification. *NeuroImage* 45, 1009–1019.
- [42] Holcomb, P. (1988). Automatic and attentional processing: an event-related brain potential analysis of semantic priming. *Brain Lang.* 35, 66–85.
- [43] Holcomb, P. (1993). Semantic priming and stimulus degradation: implications for the role of the N400 in language processing. *Psychophysiology* 30, 47–61.
- [44] Holcomb, P.J., Grainger, J., O'Rourke, T. (2002). An electrophysiological study of the effects of orthographic neighborhood size on printed word perception. *J. Cogn. Neurosci.* 14, 938–950.
- [45] Holroyd, C.B., Coles, M.G. (2002). The Neural Basis of Human Error Processing: Reinforcement Learning, Dopamine, and the Error-Related Negativity. *Psychological Review* 109(4), 679–709.
- [46] Holroyd, C.B., Coles, M.G. (2007). Dorsal anterior cingulate cortex integrates reinforcement history to guide voluntary behavior. *Cortex* 44, 548–559.
- [47] Holroyd, C.B., Dien, J., Coles, M.G. (1998). Error-related scalp potentials elicited by hand and foot movements: Evidence for an output independent error-processing system in humans. *Neuroscience Letters* 242, 65–68.
- [48] Hughes, J.R, John, E.R. (1999). Conventional and quantitative electroencephalography in psychiatry. *Journal of Neuropsychiatry and Clinical Neuroscience* 11(2),190–208.
- [49] Johnson, B.W., Hamm, J.P. (2000). High-density mapping in an N400 paradigm: Evidence for bilateral temporal lobe generators. *Clinical Neurophysiology* 111, 532–545.
- [50] Just, M., Carpenter, P. (1987). *The Psychology of Reading and Language Comprehension*. Boston.
- [51] Kamiya, J. (1968). Conscious control of brain waves, *Psychol. Today* 1.

- [52] Kiehl, K.A., Laurens, K.R., Liddle, P.F. (1999). Reading anomalous sentences: An event-related fMRI study of semantic processing. Proceedings of the Cognitive Neuroscience Society 6th Annual Meeting, Washington, D.C..
- [53] Krause, B.J., Schmidt, D., Mottaghy, F.M., Taylor, J., Halsband, U., Herzog, H., Tellmann, L., Müller-Gärtner, H.W. (1999). Episodic retrieval activates the precuneus irrespective of the imagery content of word pair associates: a PET study. *Brain* 122, 255–263.
- [54] Kuperberg, G.R., Sitnikova, T., Caplan, D., Holcomb, P.J. (2003). Electrophysiological distinctions in processing conceptual relationships within simple sentences. *Brain Res. Cogn. Brain Res.* 17(1), 117–129.
- [55] Kutas, M., Hillyard, S.A. (1980). Reading senseless sentences: Brain potentials reflect semantic incongruity. *Science* 207(4427), 203–205.
- [56] Kutas, M., Hillyard, S. (1984). Brain potentials during reading reflect word expectancy and semantic association. *Nature* 307, 161–163.
- [57] Laming, D.R. (1968). *Information Theory of Choice-Reaction Times*. Academic Press, London.
- [58] Le, T.H., Pardo, J.V., Hu, A.X. (1998). 4T-fMRI study of nonspatial shifting of selective attention: cerebellar and parietal contributions. *J Neurophysiol* 79, 1535–1548.
- [59] Lubar, J.F., Shouse, M.N. (1976). EEG and Behavioral changes in a hyperkinetic child concurrent with training of the sensorimotor rhythm (SMR): a preliminary report. *Biofeedback Self Regul* 1, 293–306.
- [60] Lundstrom, B.N., Ingvar, M., Petersson, K.M. (2005). The role of precuneus and left inferior frontal cortex during source memory episodic retrieval. *NeuroImage* 27, 824–834.
- [61] Makris, N., Seidman, L.J., Valera, E.M., Biederman, J., Monuteaux, M.C., Kennedy, D.N., Caviness Jr., V.S., Bush, G., Crum, K., Brown, A.B., Faraone, S.V. (2010). Anterior Cingulate Volumetric Alterations in Treatment-Naïve Adults With ADHD. *Journal of Attention Disorders* 13(4), 407–413.
- [62] Martin A. (2001). Functional neuroimaging of semantic memory. In: Cabeza, R., Kingstone, A., Hrsg. *Handbook of functional neuroimaging of cognition*, (p. 153-86). Cambridge, MA: MIT Press.
- [63] Mason, R.A., Just, M.A. (2007). Lexical ambiguity in sentence comprehension. *Brain Research* 1146, 115–127.
- [64] McCarthy, G., Nobre, A.C., Bentin, S., Spencer, D.D. (1995). Language-related field potentials in the anterior-medial temporal lobe: I. Intracranial distribution and neural generators. *Journal of Neuroscience* 15(2), 1080–1089.

- [65] McNamara, D.S., McDaniel, M.A. (2004). Suppressing irrelevant information: knowledge activation or inhibition? *J Exp Psychol Learn Mem Cogn.* 30(2), 465–482.
- [66] McPherson, W.B., Holcomb, P.J. (1999). An electrophysiological investigation of semantic priming with pictures of real objects. *Psychophysiology* 36, 53–65.
- [67] Michelon, P., Snyder, A.Z., Buckner, R.L., McAvoy, M., Zacksa, J.M. (2003). Neural correlates of incongruous visual information. An event-related fMRI study. *NeuroImage* 19, 1612–1626.
- [68] Monastra, V.J., Lubar, J.F., Linden, M., VanDeusen, P., Green, G., Wing, W., Phillips, A., Fenger, T.N. (1999). Assessing attention deficit hyperactivity disorder via quantitative electroencephalography: An initial validation study. *Neuropsychology*, 13(3), 424–433.
- [69] Monastra, V.J., Monastra, D.M., George, S. (2002). The Effects of Stimulant Therapy, EEG Biofeedback, and Parenting Style on the Primary Symptoms of Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder. *Applied Psychophysiology and Biofeedback* 27(4), 231-249.
- [70] Monastra, V.J., Lynn, S., Linden, M., Lubar, J.F., Gruzelier, J., LaVaque, T.J. (2005). Electroencephalographic Biofeedback in the Treatment of Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder. *Applied Psychophysiology and Biofeedback* 30(2), 55-82.
- [71] Mummery, C.J., Shallice, T., Price, C.J. (1999). Dual-process model in semantic priming: a functional imaging perspective. *Neuroimage* 9, 516–525.
- [72] Müller, R.A., Kleinhans, N., Courchesne, E. (2003). Linguistic theory and neuroimaging evidence: an fMRI study of Broca's area in lexical semantics. *Neuropsychologia* 41, 1199–1207.
- [73] Nagahama, Y., Okada, T., Katsumi, Y., Hayashi, T., Yamauchi, H., Sawamoto, N., Toma, K., Nakamura, K., Hanakawa, T., Konishi, J., Fukuyama, H., Shibasaki, H. (1999). Transient neural activity in the medial superior frontal gyrus and precuneus time locked with attention shift between object features. *Neuroimage* 10, 193–199.
- [74] Newman, A.J., Pancheva, R., Ozawa, K., Neville, H.J., Ullman, M.T. (2001). An event-related fMRI study of syntactic and semantic violations. *J. Psycholing. Res.* 30, 337–361.
- [75] Ni, W., Constable, R.T., Menci, W.E., Pugh, K.R., Fulbright, R.K., Shaywitz, S.E., Shaywitz, B.A., Gore, J.C., Shankweiler, D. (2000). An event-related neuroimaging study distinguishing form and content in sentence processing. *Journal of Cognitive Neuroscience* 12, 120–133.
- [76] Nichols, T.E., Holmes, A.P. (2002). Nonparametric Permutation Tests for Functional Neuroimaging: A Primer with Examples. *Human Brain Mapping* 15, 1–25.
- [77] Nigam, A., Hoffman, J.E., Simons, R.F. (1992). N400 to semantically anomalous pictures and words. *Journal of Cognitive Neuroscience* 4, 15–22.

- [78] Noppenney, U., Phillips, J., Price, C. (2004). The neural areas that control the retrieval and selection of semantics. *Neuropsychologia* 42, 1269–1280.
- [79] Oldfield, R.C. (1971). The assessment and analysis of handedness: The Edinburgh inventory. *Neuropsychologia* 9, 97–113.
- [80] O’Connell, R.G., Bellgrovec, M.A., Dockreea, P.M., Laud, A., Hester, R., Garavana, H., Fitzgerald, M., Foxeb, J.J., Robertson, I.H. (2009). The neural correlates of deficient error awareness in attention-deficit hyperactivity disorder (ADHD). *Neuropsychologia* 47, 1149–1159.
- [81] Simos, P.G., Basile, L.F., Papanicolaou, A.C. (1997). Source localization of the N400 response in a sentence-reading paradigm using evoked magnetic fields and magnetic resonance imaging. *Brain Research* 762, 29–39.
- [82] Pascual-Marqui, R.D. (2002). Standardized low resolution brain electromagnetic tomography (sLORETA): technical details. *Methods and Findings in Experimental and Clinical Pharmacology* 24, 5–12.
- [83] Patterson, K, Nestor, P.J, Rogers, T.T. (2007). Where do you know what you know? The representation of semantic knowledge in the human brain. *Nature Reviews Neuroscience*. 12, 976–87.
- [84] Pobric, G., Jefferies, E., Ralph, M.A. (2010). Amodal semantic representations depend on both anterior temporal lobes: evidence from repetitive transcranial magnetic stimulation. *Neuropsychologia* 48(5), 1336–1342.
- [85] Poldrack, R.A., Wagner, A.D., Prull, M.W., Desmond, J.E., Glover, G.H., Gabrieli, J.D. (1999). Functional specialization for semantic and phonological processing in the left inferior prefrontal cortex. *Neuroimage* 10, 15–35.
- [86] Polich, J. (1985b). N400 from sentences, semantic categories, number and letter strings? *Bulletin of the Psychonomic Society* 23(4), 361–364.
- [87] Proverbio, A.M., Riva, F. (2009). RP and N400 ERP components reflect semantic violations in visual processing of human actions. *Neuroscience Letters* 459, 142–146.
- [88] Rodd, J.M., Davis, M.H., Johnsrude, I.S. (2005). The neural mechanisms of speech comprehension: fMRI studies of semantic ambiguity. *Cereb. Cortex* 15, 1261–1269.
- [89] Rodd, J.M., Longe, O.A., Randall, B., Tyler, L.K. (2010). The functional organisation of the fronto-temporal language system: Evidence from syntactic and semantic ambiguity. *Neuropsychologia* 48, 1324–1335.

- [90] Rogers, T.T., Lambon R.M., Garrard, P., Bozeat, S., McClelland, J.L., Hodges, J.R., Patterson, K. (2004). Structure and deterioration of semantic memory: a neuropsychological and computational investigation. *Psychol. Rev.* 111, 205–235.
- [91] Rogers, T.T., Hocking, J., Noppeney, U., Mechelli, A., Gorno-Tempini, M.L., Patterson, K., Price, C.J. (2006). Anterior temporal cortex and semantic memory: reconciling findings from neuropsychology and functional imaging. *Cogn. Affect. Behav. Neurosci.* 6, 201–213.
- [92] Rogers, T.T. , Patterson, K. (2007). Object categorization: reversals and explanations of the basic-level advantage. *J. Exp. Psychol. Gen.* 136, 451–469.
- [93] Rossmann, T. (2008) im Proseminar: Spezifische Störungsbilder: ADHS über die Lebensspanne - Diagnostik & Behandlung der Aufmerksamkeits-Defizit-Hyperaktivitätsstörung bei Kindern, Jugendlichen und Erwachsenen. Universität Wien.
- [94] Ruff, I., Blumstein, S.E., Myers, E.B., Hutchison, E. (2008). Recruitment of anterior and posterior structures in lexical-semantic processing: an fMRI study comparing implicit and explicit tasks. *Brain Lang.* 105(1), 41–49.
- [95] Scheffers, M.K., Coles, M.G., Bernstein, P., Gehring, W.J., Donchin, E. (1996). Event-related brain potentials and error-related processing: an analysis of incorrect responses to go and no-go stimuli. *Psychophysiology* 33(1), 42–53.
- [96] Schmidt, D. (2002). Brain systems engaged in encoding and retrieval of word-pair associates independent of their imagery content or presentation modalities. *Neuropsychologia* 40, 457–470.
- [97] Smith, M.E., Halgren, E. (1987). Event-related potentials during lexical decision: effects of repetition, word frequency, pronounceability and concreteness. In: Johnson, R., Rohrbaugh, J.W., Parasuraman, R. (Hrsg.), *Current Trends in Event-related potential Research (EEG Suppl. 40)*. Elsevier Science Publishers B. V. (Biomedical Division), 417–421.
- [98] Serman, M.B., Friar, L. (1972). Suppression of seizures in epileptics following EEG feedback training., *Electroencephalographic Clinical Neurophysiology* 33, 89–95.
- [99] Stuss, D.T., Picton, T.W., Cerri, A.M. (1988). Electrophysiological manifestations of typicality judgment. *Brain and Language* 33, 260–272.
- [100] Thompson-Schill, S.L., D’Esposito, M., Aguirre, G.K., Farah, M.J. (1997). Role of left inferior prefrontal cortex in retrieval of semantic knowledge: a reevaluation. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 94, 14792–14797.
- [101] Thompson-Schill, S.L. (2003). Neuroimaging studies of semantic memory: inferring “how” from “where”. *Neuropsychologia* 41, 280–292.

- [102] Valera, E.M., Faraone, S.V., Murray, K.E., Seidman, L.J. (2007). Metaanalysis of structural imaging findings in attention-deficit/hyperactivity disorder. *Biol Psychiatry* 61(12), 1361–1369.
- [103] Van Meel, C.S., Heslenfeld, D.J., Oosterlaan, J., Sergeant, J.A. (2007). Adaptive control deficits in attention-deficit/hyperactivity disorder (ADHD): The role of error processing. *Psychiatry Research* 151(3), 211–220.
- [104] Van Petten, C., Kutas, M., Kluender, R., Mitchiner, M., Mclsaac, H. (1991). Fractionating the word repetition effect with event-related potentials. *J. Cogn. Neurosci.* 3, 131–150.
- [105] Vigliocco, G. (2000). The anatomy of meaning and syntax. *Curr Biol.* 10(2), 78–80.
- [106] Wagner, A.D., Pare-Blagoev, E.J., Clark, J., Poldrack, R.A. (2001). Recovering Meaning: Left Prefrontal Cortex Guides Controlled Semantic Retrieval. *Neuron* 31, 329–338.
- [107] Wagner, M., Fuchs, M., Kastner, J. (2004). Evaluation of sLORETA in the Presence of Noise and Multiple Sources. *Brain Topography* 16(4), 277-280.
- [108] Whalen, P.J., Bush, G., McNally, R.J., Wilhelm, S., McInerney, S.C., Jenike, M.A., Rauch, S.L. (1998). The emotional counting Stroop paradigm: a functional magnetic resonance imaging probe of the anterior cingulate affective division. *Biol. Psychiatry* 44(12), 1219–1228.
- [109] Wittchen, H.U., Hoyer, J. (2006). *Klinische Psychologie & Psychotherapie*. Heidelberg: Springer.
- [110] Wyland, C.L., Kelley, W.M., Macrae, C.N., Gordon, H.L., Heatherton, T.F. (2003). Neural correlates of thought suppression. *Neuropsychologia* 41, 1863–1867.
- [111] Yeung, N., Botvinick, M.M, Cohen, J.D. (2004). The Neural Basis of Error Detection: Conflict Monitoring and the Error-Related Negativity. *Psychological Review* 111(4), 931–959.
- [112] Yoo S.S., Fairney T., Chen N.K., Choo S.E., Panych L.P., Park H., Lee S.Y., Jolesz F.A. (2004). Brain-computer interface using fMRI: spatial navigation by thoughts. *Neuroreport* 15(10), 1591–1595.
- [113] Zempleni, M.Z., Renken, R., Hoeks, J.C., Hoogduin, J.M., Stowe, L.A. (2007). Semantic ambiguity processing in sentence context: evidence from event-related fMRI. *Neuroimage* 34, 1270–1279.
- [114] Zhang, J.X., Feng, C.M., Fox, P.T., Gao, J.H., Tan, L.H. (2004). Is left inferior frontal gyrus a general mechanism for selection? *Neuroimage* 23, 596–603.
- [115] Zhu, Z., Zhang, J.X., Wang, S., Xiao, Z., Huang, J., Chen, H.C. (2009). Involvement of left inferior frontal gyrus in sentence-level semantic integration. *NeuroImage* 47, 756–763.

3.2. Abbildungsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Versuchsdesign: semantische Fehlerbilder. Bild: worth1000.com [25.11.2008].....	32
Abbildung 2:	Versuchsdesign: Alltagsobjekte aus ungewöhnlichen Blickwinkeln. Foto: Jakob Leyrer.....	32
Abbildung 3:	Elektrodenbrause und Setting. http://brl.psy.univie.ac.at , 01.05.2010.....	35
Abbildung 4:	Elektrodenschema der verwendeten Hauben von Easycap nach dem M10-System.....	37
Abbildung 5:	Mittlere Reaktionszeiten (ms) der 16 Vpn im Vortest auf die 30 Bilder der Kontrollkategorie.....	43
Abbildung 6:	Mittlere Reaktionszeiten (ms) der 16 Vpn im Vortest auf die 30 Bilder der Stimuluskategorie.....	43
Abbildung 7:	P-P Plot des Differenzwerts MW-Kontrollbilder - MW-Stimulusbilder für alle 16 Vpn des Vortests.....	44
Abbildung 8:	Grand-Average des gesamten Skalp über alle 25 Vpn, 30 Hz lowpass Filter.....	46
Abbildung 9:	Grand-Average der Elektrode L16 (Cz) über alle 25 Vpn, 30 Hz lowpass Filter.....	47
Abbildung 10:	Grand-Average der Elektrode L26 (Pz) über alle 25 Vpn, 30 Hz lowpass Filter.....	48
Abbildung 11:	Grand Average der Elektrode L31 (Inion) über alle 25 Vpn, 30 Hz lowpass Filter.....	49
Abbildung 12:	Grand-Average der Elektrode L3 (F9) über alle 25 Vpn, 30 Hz lowpass Filter.....	50
Abbildung 13:	sLORETA: Kontrollbedingung 0 - 2000 ms.....	51
Abbildung 14:	sLORETA: Versuchsbedingung 0 - 2000 ms.....	51
Abbildung 15:	sLORETA Kontrollbedingung 2000 - 4000 ms.....	52
Abbildung 16:	sLORETA Versuchsbedingung 2000 - 4000 ms.....	53
Abbildung 17:	sLORETA: Quelle des stärksten statistischen Unterschieds (VB - KB) im Zeitfenster 300 - 600 ms. Superior Temporal Gyrus (BA 22).....	57
Abbildung 18:	sLORETA: Quelle des stärksten statistischen Unterschieds (VB - KB) im Zeitfenster 600 - 900 ms. Precentral Gyrus (BA 4).....	58
Abbildung 19:	sLORETA: Quelle des stärksten statistischen Unterschieds (VB - KB) im Zeitfenster 900 - 1200 ms. Precuneus (BA 7).....	58
Abbildung 20:	sLORETA: Quelle des stärksten statistischen Unterschieds (VB - KB) im Zeitfenster 1500 - 1800 ms. Medial Frontal Gyrus (BA 10).....	58
Abbildung 21:	sLORETA: Quelle des stärksten statistischen Unterschieds (VB - KB) im Zeitfenster 1800 - 2100 ms. Medial Frontal Gyrus (BA 9).....	59
Abbildung 22:	sLORETA: Quelle des stärksten statistischen Unterschieds (VB - KB) im Zeitfenster 2100 - 2400 ms. Supramarginal Gyrus (BA 40).....	59
Abbildung 23:	sLORETA: Quelle des stärksten statistischen Unterschieds (VB - KB) im Zeitfenster 2400 - 2700 ms. Medial Frontal Gyrus (BA 10).....	59
Abbildung 24:	sLORETA: Quelle des stärksten statistischen Unterschieds (VB - KB) im Zeitfenster 2700 - 3000 ms. Superior Frontal Gyrus (BA 10).....	60
Abbildung 25:	sLORETA: Quelle des stärksten statistischen Unterschieds (VB - KB) im Zeitfenster 380 - 420 ms. Fusiform Gyrus (20).....	61
Abbildung 26:	Das Gehirn und seine Windungen (gyri): laterale Ansicht der linken Hemisphäre. Quelle: http://en.wikipedia.org/wiki/File:Gray726.png . [21.04.2010].....	83
Abbildung 27:	Das Gehirn und seine Windungen (gyri): Mediale Ansicht der linken Hemisphäre. Quelle: http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Gray727.svg . [21.04.2010].....	83
Abbildung 28:	Das Gehirn - Brodmann-Areale: Laterale Ansicht der linken Hemisphäre. Quelle:	

http://en.wikipedia.org/wiki/File:Gray726-Brodman.png. [16.05.2010].....	84
Abbildung 29: Das Gehirn - Brodmann-Areale: Mediale Ansicht der linken Hemisphäre. Quelle: http://en.wikipedia.org/wiki/File:Gray727-Brodman.png. [16.05.2010].....	84
Abbildung 30: Beispielstimulus der Bedingung mit semantischem Fehler. Bild: worth100.com, [18.11.2008].....	85
Abbildung 31: Beispielstimulus der Bedingung mit semantischem Fehler. Bild: worth1000.com, [25.11.2008].....	85
Abbildung 32: Beispielstimulus der Bedingung mit semant. Fehler. Bild: worth1000.com, [25.11.2008].....	86
Abbildung 33: Beispielstimulus der Bedingung mit semant. Fehler. Bild: worth1000.com, [18.11.2008].....	86
Abbildung 34: Beispielstimulus der Bedingung "ungewöhnlicher Blickwinkel". Bild: Jakob Leyrer, [13.03.2009].....	87
Abbildung 35: Beispielstimulus der Bedingung "gewöhnlicher Blickwinkel". Bild: Jakob Leyrer, [13.03.2009].....	87
Abbildung 36: Beispielstimulus der Bedingung "ungewöhnlicher Blickwinkel". Bild: Jakob Leyrer, [13.03.2009].....	88
Abbildung 37: Beispielstimulus de Bedingung "gewöhnlicher Blickwinkel". Bild: Jakob Leyrer, [13.03.2009].....	88

3.3. Tabellenverzeichnis

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Deskriptive Statistik der Reaktionszeiten (ms) der Vpn (n = 16) aus dem Vortest, gemittelt über die 30 Bilder pro Kategorie.....	42
Tabelle 2: Deskriptive Statistik der Reaktionszeiten (ms) auf die Bilder pro Kategorie (n = 30), gemittelt über die 16 Vpn aus dem Vortest.....	42
Tabelle 3: Die stärksten zwei Aktivierungen (nach BA) pro 300 ms Zeitfenster über das gesamte Zeitintervall (0 – 4000 ms) in der Kontrollbedingung ('gewöhnlich'). [x-, y-, z-Koordinaten nach Talairach; BA = Brodmann Areal].....	54
Tabelle 4: Die stärksten zwei Aktivierungen (nach BA) pro 300 ms Zeitfenster über das gesamte Zeitintervall (0 – 4000 ms) in der Versuchsbedingung ('ungewöhnlich / unmöglich'). [x-, y-, z-Koordinaten nach Talairach; BA = Brodmann Areal].....	55
Tabelle 5: Die Signifikanzergebnisse ($p < .05$) des SnPM (VB – KB) über das gesamte Zeitintervall (0 – 4000 ms) für 300 ms Zeitfenster, beschränkt auf diejenigen BA, die in der Quellenlokalisation der Einzelbedingungen unter den zwei stärksten Aktivierungen vertreten waren, unabhängig von der Lateralisierung. [x-, y-, z-Koordinaten nach Talairach; BA = Brodmann Areal].....	56
Tabelle 6: Die Signifikanzergebnisse ($p < .05$) des SnPM über das gesamte Zeitintervall (0 – 4000 ms) für 300 ms Zeitfenster. Es sind nur die (bis zu) 3 BA (bzw. Strukturen) mit den stärksten Differenzen zwischen den Bedingungen (VB – KB) aufgeführt. [x-, y-, z-Koordinaten nach Talairach; BA = Brodmann Areal].....	57
Tabelle 7: Die Signifikanzergebnisse ($p < .05$) des SnPM über das geschätzte Zeitintervall in dem die semantische Fehlererkennung stattfindet (300 – 1300 ms) für 40 ms Zeitfenster. Es sind nur die (bis zu) 3 BA (bzw. Strukturen) mit den stärksten Differenzen zwischen den Bedingungen (VB – KB) aufgeführt. [x-, y-, z-Koordinaten nach Talairach; BA = Brodmann Areal].....	61

4. Anhang

4.1. Das Gehirn

4.1.1. Das Gehirn und seine Windungen (Gyri)

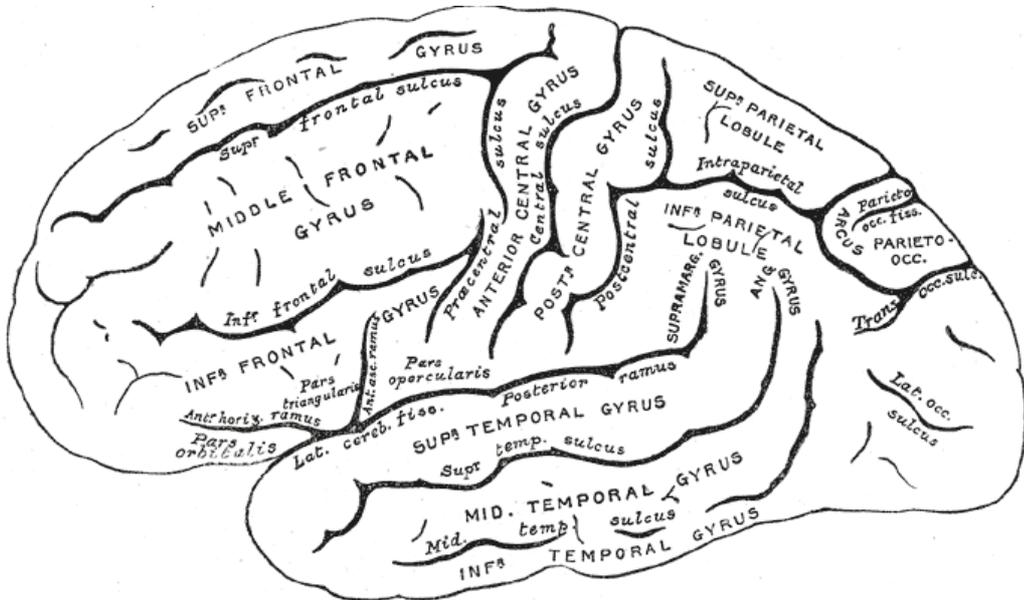


Abbildung 26: Das Gehirn und seine Windungen (gyri): laterale Ansicht der linken Hemisphäre. Quelle: <http://en.wikipedia.org/wiki/File:Gray726.png>. [21.04.2010]

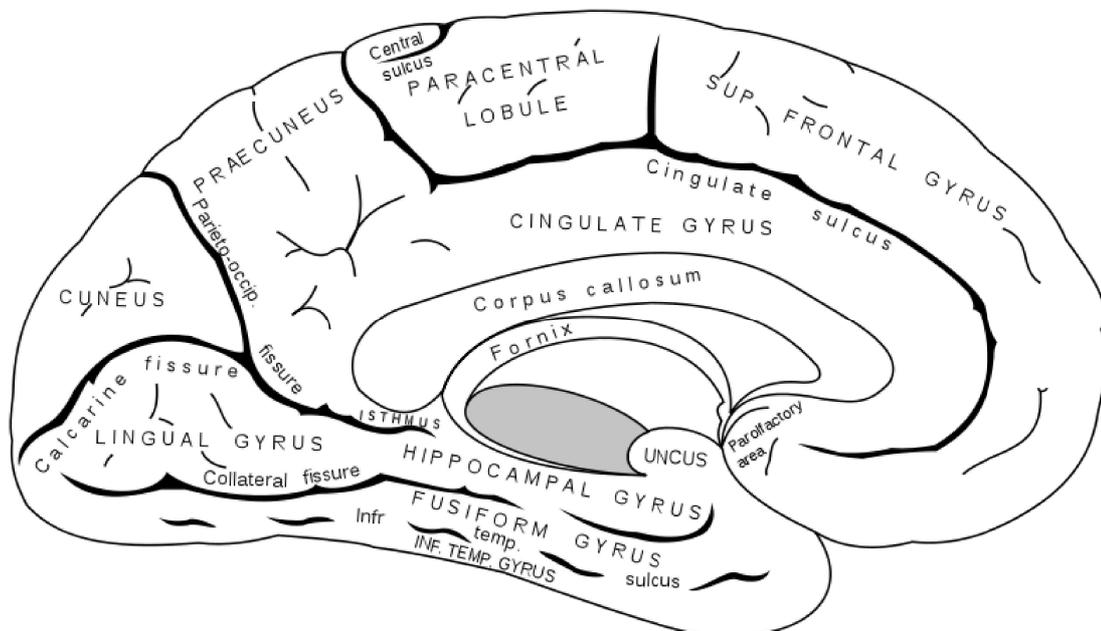


Abbildung 27: Das Gehirn und seine Windungen (gyri): Mediale Ansicht der linken Hemisphäre. Quelle: <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Gray727.svg>. [21.04.2010]

4.1.2. Das Gehirn - Brodmann-Areale

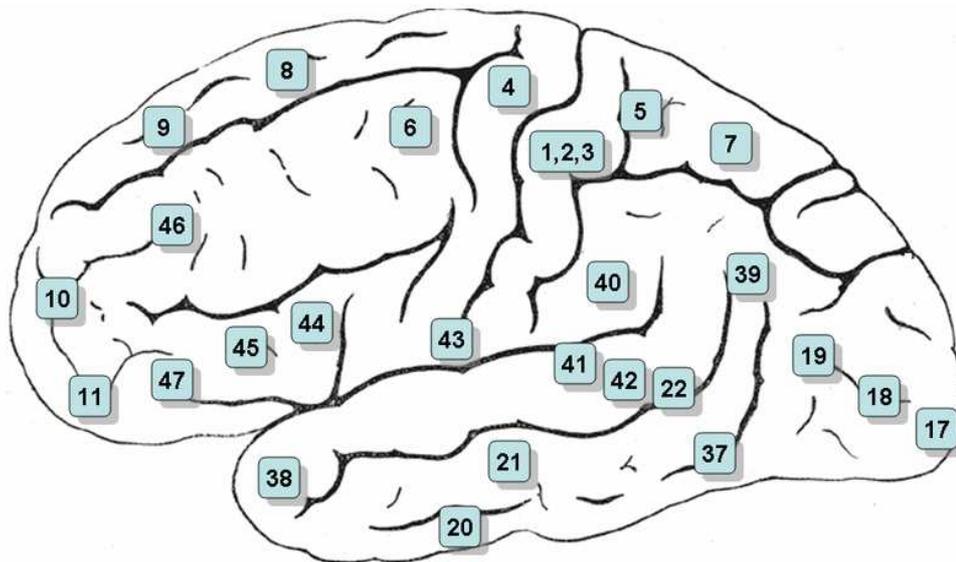


Abbildung 28: Das Gehirn - Brodmann-Areale: Laterale Ansicht der linken Hemisphäre.
Quelle: <http://en.wikipedia.org/wiki/File:Gray726-Brodman.png>.
[16.05.2010]

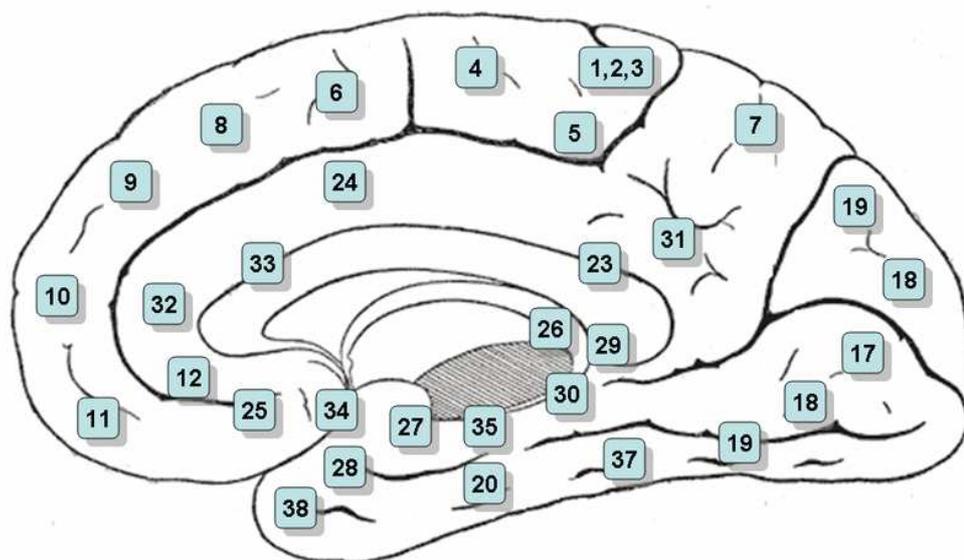


Abbildung 29: Das Gehirn - Brodmann-Areale: Mediale Ansicht der linken Hemisphäre.
Quelle: <http://en.wikipedia.org/wiki/File:Gray727-Brodman.png>.
[16.05.2010].

4.2. Beispielstimuli



Abbildung 30: Beispielstimulus der Bedingung mit semantischem Fehler. Bild: worth100.com, [18.11.2008].



Abbildung 31: Beispielstimulus der Bedingung mit semantischem Fehler. Bild: worth1000.com, [25.11.2008].

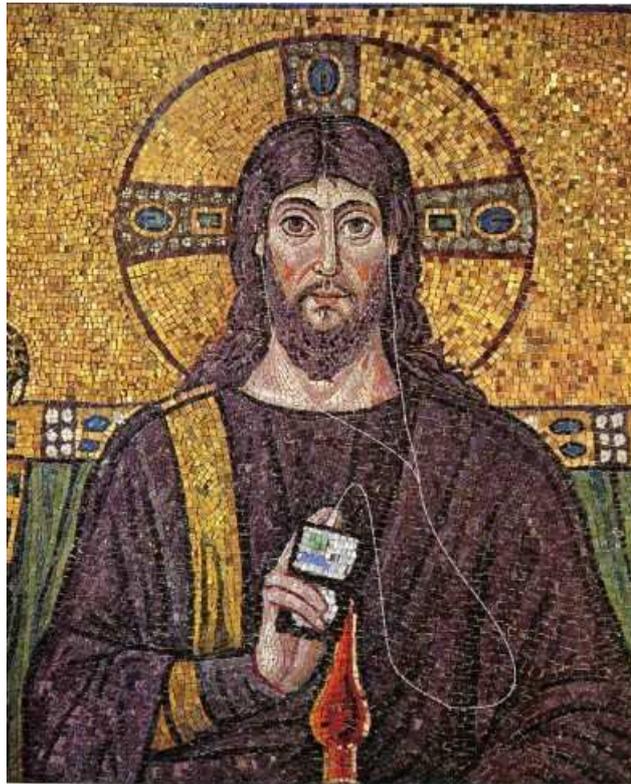


Abbildung 32: Beispielstimulus der Bedingung mit semant. Fehler. Bild: worth1000.com, [25.11.2008].



Abbildung 33: Beispielstimulus der Bedingung mit semant. Fehler. Bild: worth1000.com, [18.11.2008].



Abbildung 34: Beispielstimulus der Bedingung "ungewöhnlicher Blickwinkel". Bild: Jakob Leyrer, [13.03.2009].



Abbildung 35: Beispielstimulus der Bedingung "gewöhnlicher Blickwinkel". Bild: Jakob Leyrer, [13.03.2009].



Abbildung 36: Beispielstimulus der Bedingung "ungewöhnlicher Blickwinkel". Bild: Jakob Leyrer, [13.03.2009].



Abbildung 37: Beispielstimulus de Bedingung "gewöhnlicher Blickwinkel". Bild: Jakob Leyrer, [13.03.2009].

4.3. Zusammenfassung

Titel: Semantische Fehler in komplexen Bildern: eine EEG-Studie

Einführung:

Der Anteriore Cinguläre Cortex (ACC) ist eine Struktur im medialen präfrontalen Cortex (PFC), die mit Fehlerverarbeitung und Handlungskonflikt-Überwachung assoziiert ist. Die bisherige Forschung konzentrierte sich auf die Untersuchung dieses Zusammenhanges im Rahmen einfacher Reiz-Reaktions-Aufgaben. Die vorliegende Diplomarbeit hatte zum Ziel, Bilder zu finden, die durch reines Rezipieren Aktivierung im ACC auslösen. Solche Bilder könnten bei einer möglichen Neurofeedbacktherapie der Aufmerksamkeits-Defizit-Hyperaktivitäts-Störung eingesetzt werden, indem sie Aktivität im ACC anstößt, die dann vom Probanden weiter moduliert wird. Dazu wurden in einem Versuch komplexe Bilder gezeigt, die mittels Bildbearbeitungsprogramm so manipuliert worden waren, dass sie einen semantischen Fehler bzw. Anomalie enthielten (z.B. das Foto eines Elefanten, der auf einem Vogelnest sitzt). In einem zweiten Versuchsdurchgang wurden Fotos von Alltagsobjekten aus gewöhnlichen oder ungewöhnlichen Blickwinkeln gezeigt. Da dieser Versuch keine signifikanten Ergebnisse erbrachte, wurde auf die weitere Darstellung verzichtet. Des weiteren war von generellem Interesse, welche Unterschiede sich in der neuronalen Verarbeitung von komplexen Bildern mit vs. ohne semantischer Anomalie zeigen.

Methodik:

Zur Beantwortung der Fragestellungen wurden 25 ProbandInnen mit einem 64-Kanal DC-Elektroenzephalographen (EEG) nach dem M10-Elektrodensystem abgeleitet. Es wurden in beiden Versuchen 30 Stimulus- und 30 Kontrollbilder randomisiert dargeboten. Die Bilder wurden für 4 Sekunden mit variablem Interstimulus-Intervall präsentiert. Die Bilder der semantischen Fehler- und Kontrollbedingung waren in einem Vortest an 16 Versuchspersonen validiert worden, um aus 120 Bildern die 60 Bilder auszuwählen, die mit größter Sicherheit als „*ungewöhnlich*“ bzw. „*gewöhnlich*“ bewertet wurden, und gleichzeitig die Reaktionszeiten zu erheben. Da die Stimulusanzahl relativ gering war und die Bilder in der Antwortlatenz stark streuten und infolge dessen die Ereigniskorrelierten Potentiale (EKP) schlecht zum Vorschein kamen, wurde auf eine klassische „Peak-Analyse“ der EKP verzichtet. Die pro Versuchsperson und Bedingung gemittelten Daten (*average*) wurden mit sLORETA (*standardized low resolution brain electromagnetic tomography*) analysiert, um die neuronalen Quellen der Potentialverteilung an der Kopfoberfläche zu ermitteln. Ein Permutationstest (*SnPM, statistical non-parametric mapping*) mit einem Signifikanzniveau von 5% wurde gerechnet, um die Unterschiede zwischen den Bedingungen statistisch zu prüfen.

Ergebnisse:

Die EKP des Versuchs mit semantischen Fehlerbildern zeigten für die Versuchsbedingung (*ungewöhnlich*) eine stärkere Negativierung an inferior-lateralen frontalen Elektroden ab ca. 700 ms

nach Stimulus-Onset. Die stärksten Quellen in sLORETA lagen für beide Bedingungen zu Beginn im Precuneus und für den größeren Teil des restlichen Intervalls im Superioren und Inferioren Parietalen Lobulus, wobei für die Versuchsbedingung der Aktivierungsschwerpunkt länger im Precuneus verblieb. Der SnPM-Test lieferte für 300 ms Zeitfenster fast durchgehend signifikante Ergebnisse im Intervall von 300 bis 3000 ms. Diese lagen vor allem im rechten Precuneus, medialen, linken dorsolateralen und inferioren PFC (Broca Areal), linken temporo-parietalen Gebiet (Wernicke Areal) sowie linken Temporallappen. (Zur Validität der signifikanten Ergebnisse: siehe Diskussion).

Diskussion:

Die gesuchte starke und verlässliche Aktivierung im ACC konnte nicht gefunden werden. Eine mögliche Erklärung ist, dass das Signal-Rausch-Verhältnis durch die geringe Stimulusanzahl zu klein war, um eine Aktivität des ACC, der aufgrund seiner anatomischen Lage ohnehin schwach im EEG abgebildet ist, mittels sLORETA zu erfassen. Die statistisch signifikanten Ergebnisse der Bedingungsunterschiede des SnPM sind – mit Ausnahme des Precuneus – in Frage zu stellen, da sie sich nicht unter den Aktivierungsschwerpunkten der Quellenlokalisierung der einzelnen Bedingungen befinden und sLORETA nicht in der Lage zu sein scheint, mehr als zwei verlässliche Quellen zu liefern. Die Aktivität im Precuneus könnte mit selektiver visueller Aufmerksamkeit assoziiert sein. Die anderen signifikanten Ergebnisse dienen als Beispielmodell, vor dem Befunde aus anderen Studien diskutiert werden.

4.4. Abstract

Title: Semantic Errors in complex Pictures: an EEG-Study.

Introduction:

The Anterior Cingulate Cortex (ACC), a structure located in the medial prefrontal cortex (PFC), is well associated with error detection and conflict monitoring. The existing literature focused on the investigation of this brain-behavior-relationship in the context of simple stimulus-response tasks. The goal of this diploma theses was to find pictures that elicit activity in the ACC through mere observation. Such pictures could be helpful in the treatment of attention-deficit-hyperactivity-disorder (ADHD) with neurofeedback by eliciting activation in the ACC which can then be modulated by the subject. To this end, complex pictures which had been manipulated to contain a semantic error or anomaly (e.g. the foto of an elefant sitting on a bird's nest) were presented. In a second experiment, fotos of every-day objects, taken from usual or unusual viewpoints were displayed. Because this second experiment didn't yield any significant results, it was excluded from further discussion. Another goal of the study was to investigate the differences in the neural processing of complex pictures with vs. without semantic anomaly.

Methods:

To answer the posed questions, 25 subjects underwent recording of 64-Channel DC-Electroencephalography (EEG) with a M10 electrode setup. In both experiments, 30 pictures for the stimulus and controle condition each were randomly presented for 4 seconds, with a variable inter-stimulus intervall. In a pre-test the pictures of the anomalous- and controle-condition had been given to 16 subjects in a forced choice reaction task to select the 60 out of 120 pictures which were most reliably labeled as "anomalous" or "common". Reaction times had also been measured. It was refrained from analyzing peak-amplitude values because the great dispersion of reaction times and low stimulus number led to broad and deflated event related potentials (ERP). The averaged ERP were analyzed with sLORETA (standardized low resolution brain electromagnetic tomography) to find neural sources of the scalp potential distribution. A permutation-test (SnPM, statistical non-parametric mapping) was performed to assess statistical differences between the conditions.

Results:

The ERP displayed a stronger negativity for anomalous pictures at inferior-lateral frontal electrodes starting 700 ms after stimulus onset. The strongest sources found by sLORETA were the Precuneus for both conditions initially and the Superior and Inferior Parietal Lobule for the remaining major part of the time interval. In the stimulus condition, the focus of activation stayed in the Precuneus for longer than in the controle condition. The SnPM

yielded significant results in a time period between 300 and 3000 ms for 300 ms time windows, mainly in the right Precuneus, medial, left dorsolateral and inferior PFC (Broca's area), the left temporo-parietal area (Wernicke area) and the left temporal lobe. (Concerning the validity of the significant results, see the discussion).

Discussion:

The strong and reliable activation in the ACC that was sought to be elicited could not be found. A possible explanation could be, that because of the low signal to noise ratio, a direct result of the low number of trials, sLORETA was unable to detect activity in the ACC. In particular, given that due to the anatomical restraints, the ACC contributes only weakly to the scalp-EEG. The validity of the statistical significant regions of the condition-comparison produced by the SnPM has to be questioned – with the exception of the Precuneus – since they were not found among the most strongly activated sources of the individual conditions and sLORETA seems to be unable to locate more than two sources reliably. The activity of the Precuneus could be associated with increased selective visual attention in the semantic-anomaly condition. The other significant results act as an exemplary-model to discuss findings from other studies.



Lebenslauf

Name: Jakob Leyrer

Geburtsdatum und –ort: Wien, 24.09.1982

Kontakt: jakob.leyrer@univie.ac.at

Bildungsweg:

1989 - 1993 Volksschule

1993 - 2001 AHS

09.2002 Beginn des Psychologiestudiums

belegen von extrakurrikulären Fächern in Physik,
Medizin, Psychologie, Biologie, und Philosophie

04.2005 Erster Studienabschnitt beendet

05.2010 Zweiter Studienabschnitt beendet

Praktika:

08. - 09.2006, ITS Wien, laube GmbH.

08. - 09.2007, Landeskrankenhaus Mostviertel Amstetten-Mauer
(Neurologie)

Kongresse & Workshops:

21. - 26.09.2008, Int. Tutorentaining der Anamnesegruppen,
Philipps-Universität für Medizin, Klinik für psychosomat.
Medizin und Psychotherapie, Marburg

21. - 24.05.2009, Int. Maitreffen der Anamnesegruppen,
Ludwig-Maximilians-Universität, München

02. - 03.07.2009, EEGLAB-Workshop mit Stefan Debener,
Wien

20. - 26.09.2009, Mitorganisation des Int. Tutorentainings der
Anamnesegruppen, Medizinische Universität, Wien

18. - 20.03.2010, Int. Congress on Epilepsy, Brain and Mind,
Prag

Berufslaufbahn:

09.2008 – 06.2010 Studienassistent am Institut für Klinische,
Biologische und Differentielle Psychologie
(Arbeitsbereich für Biologische Psychologie)

09.2008 – 06.2009 Tutor an der medizinischen Universität,
Institut für Medizinische Psychologie
(Anamnesegruppen)