

Aus dem Bereich Klinische Medizin
Der Medizinischen Fakultät
Der Universität des Saarlandes, Homburg/Saar

Funktionelle Plastizität des zentralen Nervensystems bei Kompetenzerwerb in einer Fremdsprache (L2)

Dissertation zur Erlangung des Grades eines Doktors der Medizin
der Medizinischen Fakultät
der UNIVERSITÄT DES SAARLANDES

2009 / 2010

Vorgelegt von: PASCUCCI Claude

Geboren am: 18. November 1980 in Luxemburg

Aus der Klinik für Diagnostische und Interventionelle Neuroradiologie
Universitätsklinikum des Saarlandes, Homburg/Saar
Direktor: Prof.Dr.med. Wolfgang Reith

Inhaltsverzeichnis

I. Zusammenfassung / Abstract	3
II. Einleitung	5
II.1 Das Gehirn – Denkzentrum und Steuerelement	5
II.2 Morphologische und funktionelle Plastizität	6
II.3 Funktionelle Plastizität in der Psychiatrie und Psychotherapie	8
II.4 Spracherwerb und Sprachverarbeitung	10
II.5 Zielsetzung	16
III. Material, Probanden, Methodik	17
III.1 Probanden	17
III.2 Versuchsaufbau	20
III.3 Aufgaben	21
III.3 a) Lesen eines Textes	21
III.3 b) Sprachproduktion	22
III.3 c) Hören eines Textes	23
III.4 Anatomische Schichtaufnahmen	24
III.5 Sprachkompetenzevaluation	24
III.6 Auswertung der Daten	27
III.6 a) Bearbeitung der Bilder	28
III.6 b) Statistik	28
IV. Ergebnisse	30
IV.1 Lesen: L1 > Aa	30
IV.2 Sprechen: L1 > Bla	33
IV.3 Sprechen: L2 > Bla	34
IV.4 Sprechen: L1+L2 > Bla	35
IV.5 Sprechen: L1 > L2	38
IV.6 Sprechen: L2 > L1	41

IV.7 Vergleich vorher nachher	43
IV.7 a) Sprachkompetenztest	43
IV.7 b) fMRI Lesen	44
IV.7 c) fMRI Sprechen	48
IV.7 d) Anatomie	51
V. Diskussion	53
V.1 Die Sprachverarbeitungsprozesse	54
V.2 Muttersprache versus Fremdsprache	55
V.3 Vergleich vorher – nachher	55
V.3 a) Lesen B > A korrel. Delta L2 (alle)	56
- Orbitofrontaler Cortex und emotionale Belohnung	56
- Der Dorsolaterale Präfrontale Cortex – Vom	57
Arbeitsgedächtnis zum Sprachkompetenzareal	
V.3 b) Sprechen B > A korrel. Delta L2 (n=6)	59
V.4 Anatomische Plastizität	60
V.5 Fazit	64
VI. Literaturverzeichnis	67
VII. Abkürzungen	76
VIII. Dank	78
IX. Lebenslauf	79

I. ZUSAMMENFASSUNG / ABSTRACT

Deutsch

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit der Akquisition einer Fremdsprache (L2) und den damit einhergehenden funktionellen Veränderungen im Großhirnkortex. Die Studie wurde anhand von Untersuchungen an freiwilligen Studenten mittels funktioneller Kernspintomographie (fMRI) realisiert. Die Studenten nahmen an einem universitären Austauschprogramm teil, sie begaben sich für mindestens 6 Monate ins Ausland wo sie sich mit der Fremdsprache konfrontiert sahen. Ihre Sprachkompetenz wurde anhand eines speziell ausgearbeiteten Sprachtests jeweils zu Beginn und am Ende des Aufenthaltes ermittelt. Ebenso wurden fMRI Messungen zu Beginn und am Ende des Aufenthaltes durchgeführt. Während dieser Messungen sollten die Probanden bestimmte Sprachaufgaben ausführen: 1. Lesen eines Textes abwechselnd in Mutter- und Fremdsprache (Sprachverständnis). 2. Beschreiben von gezeigten Bildern abwechselnd in Mutter- und Fremdsprache (Sprachproduktion). 3. Hören eines Textes in Mutter- und Fremdsprache. Letztere Ergebnisse waren nicht verwertbar. Eine Kontrollgruppe von Medizinstudenten, welche keinen Auslandsaufenthalt unternahmen, wurde den gleichen Untersuchungen unterzogen. Ziel der Untersuchung war es, Veränderung im Gehirn-Aktivierungsmuster bei der Aufgabenstellung zu detektieren. Die Aktivierungen vor dem Aufenthalt wurden bei jedem Studenten mit denen nach dem Aufenthalt verglichen. Es wurden diejenigen Änderungen herausgefiltert, welche mit der Sprachkompetenzzunahme korrelierten. Dabei zeigten sich vermehrte Aktivierungen in verschiedenen kortikalen Regionen, v.a. im orbitofrontalen Kortex rechts und in der BA 46 links beim Lesen, sowie im unteren vorderen Brocazentrum beim Sprechen. Die Ergebnisse zeigen die physiologischen Alterationen, die ein vermehrtes Sprachtraining – parallel zu der verbesserten Sprachbeherrschung – im Gehirn bewirkt. Sie unterstreichen die langfristige Ansprechbarkeit und Reagibilität bestimmter zerebraler Regionen auf eine vermehrte äußere Beanspruchung. Sie sprechen für eine zielgerichtete Veränderbarkeit von Aktivierungsmustern im Gehirn, im weitesten Sinne für eine gewisse, im Erwachsenenalter bestehenbleibende Plastizität des zentralen Nervensystems.

English

In the present work I analyzed the functional changes in the brain cortex during the acquisition of further competence in a second language (L2) in adult bi- or trilingual students. The students underwent a special language test as well as functional magnetic resonance imaging sessions (fMRI) before and after a stay abroad for about 6 months. While they were studying in a foreign country, they were supposed to make considerable progress in their target language. During the fMRI scans, the students did perform several language tasks: 1. Reading a text alternatively in mother tongue (L1) and L2. 2. Describing showed pictures alternatively in L1 and L2. 3. Listening to a spoken text in L1 and L2. The letter task could not be worked out due to technical problems. A control group of medical students who did not ameliorate their performance in L2 was submitted to the same investigations. The cortical activation pattern before and after their stay abroad was compared. Significantly increased activation was detected in several parts of the cortex, mostly in the right orbitofrontal cortex and the left-sided dorsolateral prefrontal cortex (BA 46) during the reading task, and in the anterior inferior Broca center during the picture describing task; these activation increases were positively correlated with the L2 competence augmentation. Our results show that an intensive contact with the second language does not only promote the linguistic competences but also the underlying neurophysiological processes of cortical activations in the respective language-correlated regions. They show that the human adult brain is susceptible to long-term functional changes while submitted to an external stimulation or training (stimulus-dependent functional plasticity). In the broadest sense, this paper supports the idea that the human adult central nervous system does still possess certain plasticity.

II. EINLEITUNG

II.1 Das Gehirn – Denkzentrum und Steuerelement

Der Untersuchungsgegenstand dieser Forschungsarbeit ist das menschliche Gehirn. Damit ist der intrakraniell gelegene Teil des zentralen Nervensystems gemeint. Dieses Organ mit seinem durchschnittlichen Volumen von etwa 1,3 Litern und einer Masse von 1,3 kg, was knapp 2 % des Gesamtkörpergewichtes ausmacht, ist die Schaltzentrale von wo aus die gesamte willkürliche Motorik unseres Körpers gesteuert wird. Es gibt die Befehle zur Exekution an die ausführenden Werkzeuge – die Muskeln. Im Gehirn wird geplant und entschieden. Es kann als Zentrum des Willens angesehen werden. Eine Trennung zwischen dem Gehirn und den Exekutivorganen führt zu einer Lähmung, also einer Unfähigkeit zur willentlichen Betätigung der Motorik, wie es zum Beispiel bei Querschnittssyndromen zu beobachten ist.

Das Gehirn des ausgewachsenen Menschen ist ein komplexer Apparat mit einer außerordentlichen Vielfalt an Funktionen. Diese Vielfalt zeigt sich an den verschiedensten Prozessen, wie der sensorischen Verarbeitung (peripherer Reize), der Integration informativer Zuflüsse, der Ausarbeitung motorischer Abläufe, des Memorisierens und Denkens im weitesten Sinne, der Erzeugung von Bewusstsein, und nicht zuletzt der Sprache. Die meisten der letztgenannten Phänomene, die höheren kognitiven Funktionen, haben ihren Sitz hauptsächlich im Pallium – in der das innere Markgewebe wie ein Mantel umgebenden grauen Substanz (pallium = Mantel). In der vorliegenden Arbeit gilt unser Interesse dieser Großhirnrinde – Cortex cerebri – vor allem dem phylogenetisch jüngsten Teil davon, dem Neocortex, aber auch Teilen des älteren Archicortex, welcher dem limbischen System angehört. Beim sogenannten a-pallischen Syndrom sind gerade jene zerebralen Funktionen, welche das typisch Menschliche ausmachen, nicht mehr verfügbar; dieser Zustand ist auf einen ausgedehnten Ausfall von vor allem neo-kortikalen Regionen zurückzuführen (Laureys, 2004; Laureys, 2005). Kotchoubey charakterisiert den Zustand genauer. Er diskutiert die Möglichkeit der weiterbestehenden Integrität dieser neokortikalen

Regionen bei fehlenden Verbindungen und Interaktionen mit anderen Regionen des Gehirns (Kotchoubey, 2005).

II.2 Morphologische und funktionelle Plastizität

Das menschliche Gehirn des Erwachsenen wurde lange Zeit als etwas relativ Statisches und in seiner histo-architektonischen Struktur Unveränderbares betrachtet, vor allem was die Nervenzellen selbst betrifft. Es galt als unantastbares Dogma, dass sich neues Nervengewebe nicht mehr bilden, und sich eine Nervenzelle (Neuron) im ausgewachsenen Gehirn nicht mehr teilen kann. Klinische Beobachtungen haben gezeigt, dass neurologisch geschädigte Patienten ihre verlorenen motorischen oder sensiblen Fähigkeiten zumindest teilweise wiedererlangen können, vor allem beim konsequenten Trainieren der ausgefallenen Funktionen (Kennedy et al., 2008; Vallat et al., 2005). Nicht nur die rein klinische Beobachtung sondern auch Verfahren der funktionellen Bildgebung können von dieser Plastizität nach Schädigung des ZNS zeugen (Ward, 2004; Laatsch et al., 2006; Johansson et al., 1994). Diese Beobachtungen zwingen zur Annahme, dass die vom zerstörten Hirngewebe getragene Funktion von einer neuen Gewebeentität übernommen wird. Diese neue Gewebeentität könnte entweder eine schon vorhandene, noch intakte Region des Gehirns, andererseits aber neugebildetes Gewebe sein. Auch im ersteren Fall muss man die Aktivierung bisher nicht oder weniger benutzter Verbindungswege annehmen, oder aber eine Gewebezunahme, welche das Substrat der neuen Verbindungen zu den ab- beziehungsweise zuführenden Fasern des zugrundegegangenen Hirngewebes darstellt. Es wird gerne angenommen, dass sich neue Verbindungen – Synapsen – zwischen den ab- und zuführenden (im Folgenden: motorischen und sensiblen) Fasern und dem neuen funktionsübernehmenden Hirngebiete ausbilden. Zudem steht in Diskussion, ob und in welchen Regionen sich im ausgewachsenen Gehirn sogenannte pluripotente Vorläuferzellen befinden, welche imstande sind, neue Nervenzellen zu generieren und so einen Pool, einen Ersatz von Neuronen darstellen (Pollard et al., 2006; Revishchin et al., 2008; Zhao et al., 2008; Shors, 2008). Auf jeden Fall kann man aber behaupten, dass sich nach der Rehabilitationszeit eines hirngeschädigten

Patienten (vor allem nach Schlaganfall) ein neuer - zumindest funktioneller - Schaltkreis zwischen den involvierten Neuronen gebildet hat.

Das Erwachsenenengehirn ist also *unter bestimmten Umständen* fähig, sich umzumodellieren. Im Falle der zerebralen Ischämie, des Hirn-Traumas oder sonstiger Schädigung des Hirnparenchyms wurden die Umstände dem Patienten von außen auferlegt. Nun kann sich der Mensch aber auf eigenen Willen solche ‚produktiven‘ Umstände selbst kreieren. Ich habe in der vorliegenden Studie untersucht, inwiefern sich insbesondere kortikale Gebiete des Großhirns erwachsener Menschen verändern können, wenn sich diese in eine (für das Gehirn) besonders anspruchsvolle Situation begeben, i.e. in diesem speziellen Falle wenn sie einen längeren Auslandsaufenthalt machen und somit gezwungen sind, eine Fremdsprache zu gebrauchen derer sie mit Abstand nicht so mächtig sind wie ihrer Muttersprache. Ich nahm zu Beginn der Studie an, dass sich diese hohe Anforderung an den Geist in irgendeiner Weise auf das funktionstragende Gewebe, das Encephalon, auswirken müsste. Um diese Annahme zu überprüfen wurde das Gehirn entsprechender Personen bildgeberisch (mittels der Magnetresonanztomographie) funktionell und anatomisch erfasst. In meinen Messungen wollte ich feststellen, welche Veränderungen im Gehirn bei Kompetenzzunahme in einer Fremdsprache (Zweitsprache) – nachfolgend L2 genannt – stattfinden.

In einer fMRI Vorstudie (Franceschini et al., 2004) konnte gezeigt werden, dass die Aktivität des linken dorsolateralen präfrontalen Cortex (DLPFC), vor allem die Brodman Area 46 (BA46), positiv korreliert mit der L2-Professionalität. Diese Korrelation war am höchsten während die Probanden Texte in ihrer jeweiligen L2 lasen. Aber nicht nur die Aktivität sondern auch die Dichte der grauen Substanz stand in diesem Areal in positiver Korrelation zur L2-Kompetenz: Die graue Substanz war bei Dolmetschern im Vergleich zu neutralen Probanden vermehrt. Aufgrund dieser Vorbefunde werden wir unser Augenmerk unter anderem auf dieses Areal richten. Siehe hierzu auch Abbildung 1.

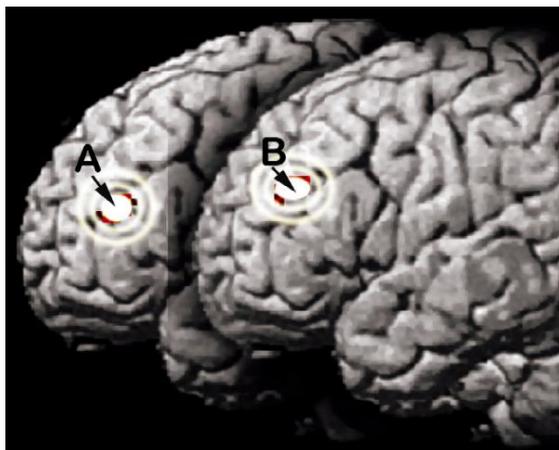


Abbildung 1: Die Aktivierung von BA46 beim Lesen in L2 korreliert mit der L2-Erfahrung (A). Zudem steigt die Dichte der grauen Substanz in BA46 mit zunehmender Spracherfahrung in L2 an (B).

Eine fMRI-Studie von Erickson et al. zeigt, dass sich das Aktivierungsmuster beim Ausführen einer einfachen Stimulus–Antwort Aufgabe nach einigen Trainingseinheiten signifikant ändert (im Vergleich zu einer Kontrollgruppe) (Erickson et al., 2007). Das Intervall zwischen den 2 fMRI Messungen welches das Training beinhaltete betrug 2 – 3 Wochen. Es wurden vor allem Aktivierungsminderungen nach dem Training festgestellt. Eine erhöhte Aktivierung fand sich nach dem Training im DLPFC. Diese Studie zeugt von dem hohen funktionell-plastischen Potential des Gehirns.

II.3 Funktionelle Plastizität in der Psychiatrie und Psychotherapie

In der Psychiatrie werden viele Studien durchgeführt, welche sich mit der Korrelation zwischen einer bestimmten Geisteskrankheit und morphologischen Eigenarten in gewissen Gebieten des Gehirns befassen. Beispielsweise wird das Volumen des Hippocampus von schizophrenen Patienten ausgemessen. Es wird festgestellt, dass diese Region tatsächlich signifikant kleiner ist, als beim durchschnittlichen Menschen (Barkataki et al., 2006). Nelson wies in einer Metastudie die signifikante Reduktion des Hippocampusvolumens bei Schizophrenen

nach (Nelson et al., 1998). In einer anderen Metaanalyse untersuchte Wright 58 MRI Studien die sich mit dem Ausmessen von Gehirnvolumina bei schizophrenen Patienten befassten. Er kam dabei zu dem Ergebnis, dass das Gesamtvolumen des Gehirns von Patienten durchschnittlich kleiner ist als das von Gesunden. Rechts- und linksseitiger Hippocampus und Amygdala zeigten ein signifikant reduziertes Volumen, sowie auch die parahippocampale Region. Das Ventrikelsystem war bei den schizophrenen Menschen erweitert (Wright et al., 2000). Ab diesem Moment stehen 2 mögliche Erklärungen für diesen Sachverhalt zur Verfügung: Erstens, die untersuchten Patienten haben eine kongenitale Hypoplasie z.B. des Hippocampus, kommen also mit einem anatomischen Defizit zur Welt und entwickeln deshalb zwangsläufig eine Geisteskrankheit im Laufe ihres Lebens; anders ausgedrückt bedeutet das, dass diese Patienten mit einem genetisch vorprogrammierten Fehler leben müssen. Zweitens, diese leidenden Menschen wurden mit einem normal ausgebildeten Hippocampus geboren, haben aber im Laufe ihres Lebens aufgrund verschiedenster Faktoren (Lebensumstände, Störung der gesunden Geistesentwicklung, schwerste psychotraumatische Erlebnisse) eine Reduktion der Hirnsubstanz in dieser Region erlitten. Meine vorliegende Dissertation soll diese zweite Hypothese unterstützen, und somit einem zu fatalistischen Denken in der heutigen Psychiatrie entgegenwirken. Ich führe hierzu folgende Studie an, welche meine Annahmen stützt: (Velakoulis et al.: Hippocampal and amygdala volumes according to psychosis stage and diagnosis: a magnetic resonance imaging study of chronic schizophrenia, first-episode psychosis, and ultra-high-risk individuals. 02.2006) und zitiere daraus Velakoulis et alii : „These findings emphasize the importance of longitudinal studies examining patients before and after the onset of a psychotic illness.“ Das dynamische Verhalten des Gehirns infolge geistiger Prozesse wird oft unterschätzt. Diese Studie soll untermauern, dass das geistige Konstrukt des Menschen und dessen Dynamik einen nicht zu vernachlässigenden Einfluss auf die physiologischen, messbaren Prozesse des Gehirns (des Körpers), also auf das Somatische hat, und das psychische Geschehen den physiologischen Gesetzen nicht bedingungslos unterliegt, sondern auch umgekehrte Wechselwirkungen möglich sind. In der Medizin wird dieser Aspekt immer noch häufig übersehen, und – was nicht oft genug betont werden kann – nur ein menschlicher Körper anstelle eines Menschen als Arbeitsobjekt betrachtet. Die Auffassungen in der Psychiatrie gehen manchmal dahin zu sagen, dass fast ausschließlich biochemische Vorgänge im

Gehirn den Geist des Menschen bestimmen. Es scheint so, als ob der umgekehrte Prozess davon (geistige Dynamik beeinflusst das biochemische Geschehen und kann zu 'Krankheit' führen) oft in den Hintergrund verschoben wird. Das geht soweit, dass im Falle psychotischen Erlebens von einer „Stoffwechselstörung des Gehirn“ gesprochen wird, womit das komplexe geistige Geschehen auf ein rein mechanistisches und physikalisches Konzept verschoben, ja reduziert wird. Sicherlich stellt diese Strategie eine Vereinfachung für den Psychiater dar. Mit dem Konzept der Stoffwechselstörung des Gehirns – welche dem Patienten in genau dieser Wortfassung auch nicht selten nahegelegt wird – wird dem psychisch Kranken jedoch von vornherein alle Hoffnung und jeden Mut auf ein selbsteingreifendes, ich-analysierendes und -modulierendes Vorgehen genommen.

An dem hier analysierten Beispiel des Kompetenzerwerbs in einer Zweitsprache soll die Veränderungsfähigkeit des menschlichen Gehirns verdeutlicht werden. Es soll gezeigt werden, dass unser Denk- und Verarbeitungsapparat ein enormes Potential bereithält. Seit längerer Zeit bestehende, fixe Aktivierungsmuster können sich wandeln oder neuen Verarbeitungsmustern Platz machen. Solche Erkenntnisse könnten sich Psychotherapeuten zunutze machen. Ähnlich wie beim Spracherwerb bzw. -lernen, kann auch das psychotherapeutische Setting einen modulierenden Effekt auf die neuronalen Aktivierungsprozesse ausüben (Schnell et al., 2007).

II.4 Spracherwerb und Sprachverarbeitung

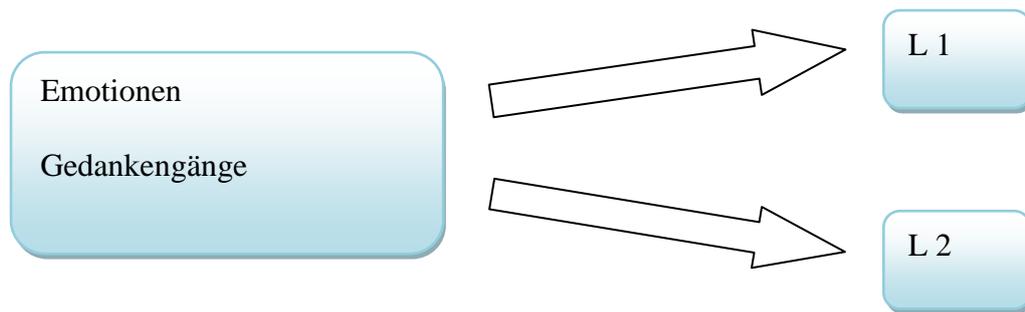
In dem heutigen, zusammenwachsenden Europa ist es zunehmend von Bedeutung sich eine Zweit- oder gar Drittsprache anzueignen. Das Beherrschen einer Fremdsprache gibt auch gleich einen Einblick in die Kultur und Mentalität des entsprechenden Landes. So spezifisch wie die Sitten und Gebräuche der einzelnen Staaten sind, so speziell gestalten sich auch die zugehörigen Sprachen. Jede Sprache besitzt ihre eigenen Ausdrucksformen, ihre Sinnbilder und Sprichwörter.

Die Perfektion im Umgang mit der Muttersprache wird bei einer Zweitsprache selten erreicht. Je später ein Mensch in seinem Leben beginnt, eine Fremdsprache zu erlernen, desto niedriger wird sein späteres Kompetenzniveau in dieser Fremdsprache sein (Gordon, 2000). Das Erlernen der Muttersprache in den ersten Lebensjahren funktioniert anders als das spätere Erlernen einer Fremdsprache (Dehaene et al., 1997). Dehaene hat in dieser Publikation festgestellt, dass unterschiedliche Areale des Neocortex beim Gebrauch von L1 und L2 aktiviert werden. Während das Aktivierungsmuster der Muttersprache bei verschiedenen Individuen eher konstant bleibt und bestimmten, definierten Hirnarealen zugeordnet werden kann, verhält es sich bei der später erworbenen Fremdsprache anders: Es gibt größere interindividuelle Unterschiede im Aktivierungsmuster beim Hören von L2. Es wurde unter anderem festgestellt, dass beim Hören von L2 vermehrt die rechte Hemisphäre zum Einsatz kam.

Muttersprache und im Erwachsenenalter erworbene Zweitsprache überlagern sich teilweise in ihrer kortikalen Repräsentation, belegen aber auch unterschiedliche Regionen (Kim et al., 1997). Je später die Zweitsprache erworben wurde, desto stärker unterscheiden sich die topographischen kortikalen Sprachgebiete von L1 und L2; die Region der Überlappung verringert sich, während sich die spracheigenen Gebiete vergrößern. Dies suggeriert einen unterschiedlichen Mechanismus der Sprachaneignung und auch –anwendung, abhängig vom Zeitpunkt der L2 Akquisition. Je früher L2 erlernt wird, desto näher ist der Sprachmechanismus an dem von L1 dran. Wird L2 allerdings später erworben, so setzt langsam eine andere Art der Sprachverwendung ein. L1 und L2 werden strenger voneinander getrennt, erscheinen weniger miteinander verknüpft. L2 wird dann vermehrt über Umwege erlernt und verwendet. L2 wird bei späterem Erwerbszeitpunkt umständlicher durch Übersetzung von L1 verwandt, während bei frühen Bilingualen L2 durch direkten Zugang zu und Verknüpfung mit den Emotionen und den Gedankengängen produziert wird. Papaeliou zeigt die engen Verknüpfungen zwischen Emotionen und Laut- (Sprach-) Produktion beim Säugling auf (Papaeliou et al., 2002).

Zum besseren Verständnis ist hier nochmal ein Schema dieser beiden Sprachmechanismen dargestellt:

Mechanismus 1: L2 Erwerb zu einem sehr frühen Zeitpunkt



Mechanismus 2: L2 Erwerb zu einem späteren Zeitpunkt

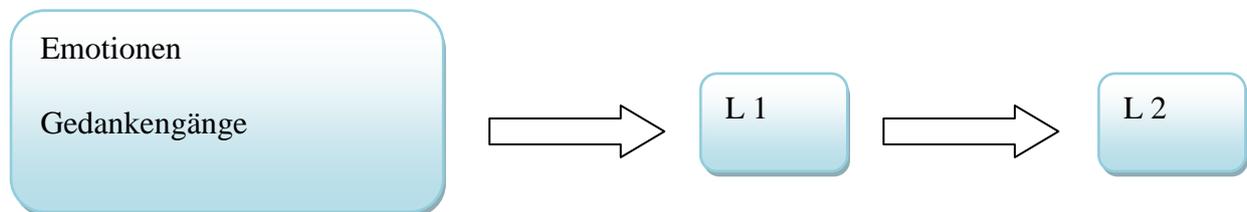


Abbildung 2: Grobe Darstellung über die Vorstellung der Sprachakquisitionsmechanismen

Diese Schemata sollen jedoch nicht den Eindruck geben, dass es nun zwei fundamental differente biologische Sprachwege gibt. Vielmehr sollen sie vermitteln, dass der Mechanismus 2 eigentlich eine Abänderung des Mechanismus 1 ist, welche sich nach und nach im Verlauf des Lebens vollzieht. Es sind fließende Übergänge, wobei die beiden Schemata die Extreme darstellen. Je älter der Mensch wird, desto eher tendiert er zu der Anwendung von Mechanismus 2 beim Erwerb einer Fremdsprache. Dahingehend zeigt Sparks zum Beispiel dass eine höhere Angstbereitschaft eine Auswirkung auf die Sprachkompetenzentwicklung in einer Zweitsprache hat (Sparks et al., 1997): Die höhere Erwartungsangst bewirkt Blockaden und erschwert den direkten, freien Zugang zu basalen Emotionen, somit wird die direkte Assoziation der Phoneme mit den Emotionen behindert; der schwerfälligere und ineffektivere Mechanismus 2 tritt in den Vordergrund. Die finale Sprachkompetenz in L2 ist vermindert.

Die These des unterschiedlichen neuronalen Spracherwerbmechanismus wird insbesondere auch durch einen aktuellen Artikel von Bloch et al. gestützt: Hierin wird festgestellt, dass ein späterer Kontakt mit der Fremdsprache zu einem erweiterten kortikalen Aktivierungsmuster und vermehrter Variabilität führt als bei sehr frühem Kontakt. Frühzeitige Exposition zu mehreren Fremdsprachen führt zu einem mehr homogenem Aktivierungsregime und neuronalem Netzwerk, wohingegen spätere Exposition inhomogenere, differente Netzwerke beteiligt. Die Variabilität der lokalen Gehirnaktivierung steigt progressiv mit dem Alter der L2 Akquisition (Bloch et al., 2009).

Eine rezente fMRI Studie von Saur zeigt, dass spätere L2 Erlerner (Akquisitionsbeginn / age of onset of acquisition / AOA = 10 Jahre) beim Lesen der Fremdsprache eine vermehrte Aktivierung vor allem im linken inferioren frontalen Cortex aufweisen, während bei den Früherlernern (AOA < 3 Jahre) kein signifikanter Aktivierungsunterschied beim Hören der beiden Sprachen zu verzeichnen war (Saur et al., 2009). Auch dies deutet auf unterschiedliche Akquisitionsmechanismen der Sprachen in Abhängigkeit vom Alter hin. Früh erworbene Sprachen werden über die gleichen Verarbeitungswege geleitet; bei späterem Erwerb werden erweiterte neuronale Netzwerke beansprucht. Auch Wartenburger konnte in einer fMRI Studie zeigen, dass die AOA einen Effekt auf kortikale Repräsentation von grammatischen Sprachprozessen hat (Wartenburger et al., 2003).

Cathy Price hat in einem Review über die „Anatomie der Sprache“ die heutigen Vorstellungen über die Sprachverarbeitungsmechanismen im Gehirn zusammengefasst (Price et al., 2000). Dort werden noch einmal die verschiedenen Lokalisationen bestimmter Verarbeitungsschritte hervorgehoben. Im ersten Teil ihrer Publikation stellt sie das neurologische Sprachmodell aus dem 19. Jahrhundert vor, welches sich auf klinische Beobachtungen von aphasischen Patienten begründet (Broca, 1863; Wernicke, 1874).

Die nachfolgenden Abbildungen schematisieren die sprachassoziierten Großhirnrindengebiete und die Vorstellungen über die Sprachprozessierung.

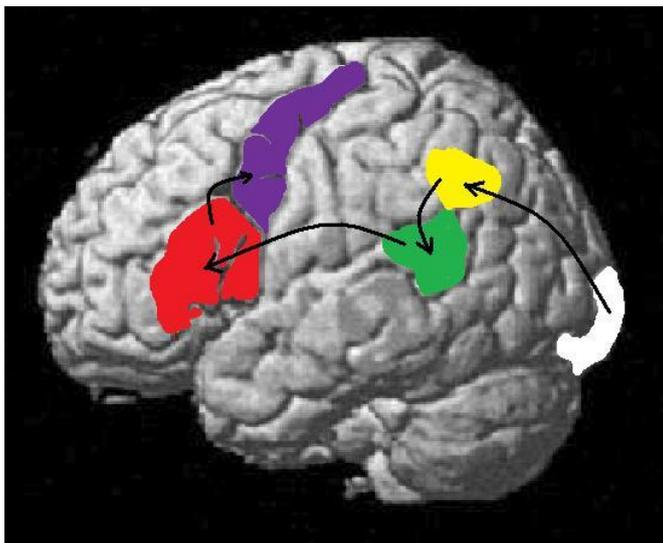
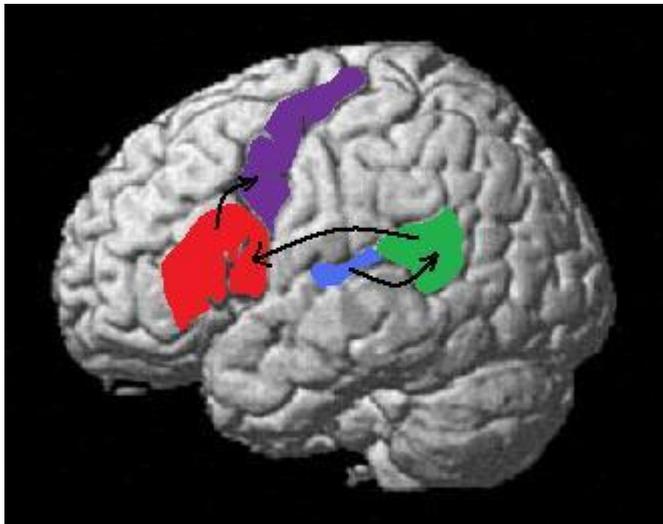


Abbildung 3: In die Verarbeitung und Produktion von Sprache involvierte Rindengebiete. Oben: Informationsfortleitung beim Nachsprechen von gehörten Worten. Blau = primäre Hörrinde, grün = Wernicke Zentrum, rot = Broca Zentrum, violett = primär motorischer Cortex, Pfeil zwischen Broca und Wernicke = Fasciculus arcuatus. Unten: Informationsfortleitung beim Lesen. Weiß = visueller Cortex, gelb = Gyrus angularis. Nach C. Price.

In ihren weiteren Ausführungen berichtet Price von den sprachbezogenen funktionell bildgebenden Studien, welche die im 19ten Jahrhundert vorhergesehenen implizierten Sprachgebiete zum größten Teil bestätigen. Beim Nachsprechen eines gehörten eines Textes wird zuerst die primäre Hörrinde aktiviert (Heschl'sche temporale Querwindung). Dann aktiviert sich das Wernicke Zentrum im Gyrus temporalis superior unmittelbar ventral des Gyrus angularis. Von dort werden die Informationen über den Fasciculus arcuatus an das sogenannte motorische Sprachzentrum (Broca Areal) weitergeleitet. Letzteres überträgt die Information an den primären Motorkortex. Beim (lauten) Lesen eines Textes wird zu Beginn anstelle des primären auditorischen Cortex der occipital um den Sulcus calcarinus gelegene visuelle Cortex aktiviert; von dort gelangt das Signal in den Gyrus angularis, der es in das Wernicke Zentrum weiterleitet. Ab dort ist der Sprachverarbeitungsweg der gleiche wie beim Nachsprechen von Wörtern. Was hier als sequenzielles Aktivierungsprogramm dargestellt wurde geschieht in Wirklichkeit in sehr rascher Abfolge, und zwar so schnell, dass die gemessenen Aktivierungen als simultanes Muster erscheinen.

M. Stein hat in einer ERP Studie (Event-related potentials) ganz ähnliche Forschungsziele verfolgt wie die vorliegende Arbeit: Auch er hat in einem longitudinal angelegten Setting die Plastizität des Sprachapparates beim Erwachsenen analysiert und ist zu einem positiven Ergebnis gekommen: Die Reaktionszeit bei Präsentation von Wörtern in der Fremdsprache war nach 6 Monaten Training signifikant reduziert (Stein et al., 2006).

Ojima analysierte die Unterschiede in einem ERP Setting zwischen englischen Muttersprachlern und Menschen (Japanern), die englisch erst nach der Kindheit erlernt haben. Letztere waren in 2 Gruppen eingeteilt, die eine mit hoher und die andere mit niedriger Sprachkompetenz. Es fand sich eine große Ähnlichkeit im Reaktionsmuster aller 3 Gruppen, lediglich bei der syntaktischen Differenzierung zeigten die Muttersprachler zusätzliche Reaktionen. Seine Ergebnisse sprechen für einen simlären Sprachverarbeitungsapparat für Muttersprachler und Spät-Erlerner. Er diskutiert die Frage nach einem absoluten kritischen Schwellenzeitpunkt, ab welchem das korrekte Spracherlernen nicht mehr möglich oder eine hohe

Sprachkompetenz nicht mehr zu erreichen sei, und spricht sich eher gegen diese Möglichkeit aus. Er argumentiert für eine quantitative aber nicht qualitative Verschiedenheit der Sprachverarbeitung bei späteren L2-Erbwerbern (Ojima et al., 2005).

II.5 Zielsetzung

Zusammenfassend gehe ich in dieser Arbeit der Frage nach, ob sich bestimmte zerebrale Prozesse, die bei der Sprachverarbeitung und der Sprachproduktion in L2 in Gang gesetzt werden, im Erwachsenenengehirn nach einem bestimmten Zeitintervall verändern oder stets das selbe Muster beibehalten. Wird die Prozessierung der Fremdsprache im Cortex nach monatelangem Trainieren von L2 effizienter? Gibt es eine signifikante Korrelation zwischen der Sprachleistungsverbesserung und der bildgeberisch sichtbaren zerebralen Verarbeitungsweise des Lesens und Sprechens von L2? Kann das Gehirn tatsächlich, ähnlich einem Muskel, durch kontinuierliche Übung und vermehrte Beanspruchung in seiner Arbeitseffektivität gestärkt werden?

III. MATERIAL, PROBANDEN, METHODIK

Das hier erarbeitete und angewandte Paradigma soll dazu dienen, Veränderungen im kortikalen Aktivierungsmuster bei bestimmten linguistischen Aufgaben nach einem bestimmten Zeitintervall und eventuelle damit einhergehende hirnanatomische Veränderungen zu erfassen. Es soll im Folgenden beschrieben werden.

Zur topographischen und quantitativen Messung der Gehirnaktivitäten wurde die Methode der funktionellen Kernspintomographie angewandt. Diese Technik macht sich die unterschiedlichen magnetischen Eigenschaften von oxygeniertem und nicht oxygeniertem Blut im Gehirn zunutze, um einen Kontrast darzustellen (BOLD Kontrast, BOLD = Blood oxygenation level-dependent) (Ogawa et al., 1990). Die vermehrt beanspruchten Regionen im Gehirn haben einen höheren Sauerstoffverbrauch, folglich entlassen sie auch einen höheren Prozentsatz an desoxygeniertem Hämoglobin welches sich zum oxygenierten Hämoglobin kontrastiert. Das sogenannte Kontrastmittel ist das eigene Blut, die Zufuhr eines exogenen Kontrastmittels, wie zum Beispiel bei der PET (Positronenemissionstomographie), ist bei dieser Methode nicht nötig.

III.1 Probanden

Das Kollektiv bestand aus insgesamt 22 Probanden. Davon waren 10 Männer und 12 Frauen. Sie waren allesamt Universitätsstudenten im Alter zwischen 21 und 39 Jahren (zum Zeitpunkt der ersten Messung). Das Durchschnittsalter lag bei 24,6 a (SD = +/- 4,7a). Sie waren alle mindestens zweisprachig, wobei die Muttersprache entweder Deutsch oder Französisch war. Jeder der Teilnehmer war Rechtshänder. Die Studierenden wurden in 2 Gruppen aufgeteilt. Die erste Gruppe (Gruppe 1) wurde von denjenigen Probanden gebildet, welche ihre Kompetenz in der untersuchten Fremdsprache (L2) möglicherweise steigerten und bestand aus 6 Leuten (5 Frauen, 1 Mann). Die zweite Gruppe (Gruppe 2) bestand aus Studenten welche ihr Kompetenzniveau in L2 nicht mehr (zum Positiven) veränderten und

wurde von 16 Leuten gebildet (7 Frauen, 9 Männer). Aus Gruppe 2 verweigerten 2 Leute die Teilnahme an der zweiten Messung; deshalb wurden diese 2 Probanden für die Auswertungsstatistik nicht in Betracht gezogen. *Gruppe 1 war also die Zielgruppe und Gruppe 2 die Kontrollgruppe.*

Die 6 Studenten der Gruppe 1 nahmen in der Zeit zwischen den beiden Messungen an einem Universitätsaustauschprogramm teil. 3 Probandinnen hiervon waren deutsche Sprachstudentinnen, wobei eins ihrer Hauptstudienfächer Französisch war. Sie studierten an einer deutschen Universität. Sie gingen für mindestens ein Semester (Wintersemester 2005/2006) zum Austausch auf eine Universität in Frankreich. Man konnte erwarten, dass sie während dieser Zeit an Sprachkompetenz in Französisch (L2) zulegten. Die 3 Teilnehmerinnen hatten schon zu Beginn der Studie eine relativ gute Sprachkenntnis in L2 aufgrund des Studiums und/oder der schulischen Ausbildung. Die anderen 3 Probanden der Gruppe 1 waren französische Studierende, die zu einem Austausch für mindestens ein Semester (Wintersemester 2005/2006) nach Deutschland kamen. Ihre Studienfächer waren respektive Mechatronik, Jura und Medizin. Auch bei ihnen konnte man wegen der tagtäglichen Konfrontation mit der Fremdsprache (Deutsch) während ihres Auslandsaufenthaltes eine Kompetenzzunahme erwarten. Diese 3 Teilnehmer hatten zu Beginn eine geringere Sprachbeherrschung in L2.

Die Teilnehmer der Gruppe 2 waren alle deutsche Studierende der Medizin in unterschiedlichen Semestern. Für sie galt also L1 = Deutsch und L2 = Französisch. Das Sprachniveau in L2 variierte von einem Kandidaten zum anderen.

Die nachfolgende Tabelle gibt einen Überblick über die Probanden, ihre Muttersprache und die jeweiligen Zeitintervalle zwischen den zwei Messungen.

Tabelle 1: Probanden. (Die mit * markierten Probanden nahmen an der zweiten Messung nicht mehr teil und wurden aus der Bewertung ausgeschlossen.)

Initialen des Probanden	Gruppe	Alter	Session A	Session B	Intervall zwischen den 2 Messungen (in Tagen)	L1 - L2
A.P.	2	22	09.10.2005	18.02.2006	131	D - F
B.S.	2	22	08.10.2005	19.02.2006	133	D - F
B.C.	1	21	06.11.2005	18.02.2006	103	F - D
D.E.	1	23	18.09.2005	26.02.2006	160	D - F
G.N.	2	24	02.10.2005	19.03.2006	167	D - F
H.V.	2	21	08.10.2005	19.03.2006	161	D - F
H.H.	2	21	09.10.2005	19.02.2006	132	D - F
H.A.	1	21	18.09.2005	28.04.2006	221	D - F
K.C.	2	24	06.11.2005	19.02.2006	104	D - F
L.So.	1	21	22.10.2005	25.03.2006	153	F - D
L.Sa.	2	24	08.10.2005	18.02.2006	132	D - F
L.F.	2	28	08.10.2005	26.02.2006	140	D - F
L.A.	2	28	09.10.2005	19.02.2006	132	D - F
M.F.	1	22	06.11.2005	18.02.2006	103	F - D
M.J.	2	33	08.10.2005	25.02.2006	139	D - F
M.P.	2	32	08.10.2005	25.02.2006	139	D - F
M.W.	2	39	02.10.2005	23.04.2006	202	D - F
O.K.	2	22	09.10.2005	23.04.2006	195	D - F
S.J.*	2	26	02.10.2005	-	-	D - F
W.K.*	2	22	09.10.2005	-	-	D - F
W.M.	2	23	08.10.2005	19.03.2006	161	D - F
W.J.	1	23	18.09.2005	25.04.2006	218	D - F
	Mittelwert:	24,64			151,30	
	Standardabweichung:	4,71			35,17	

Die Probanden wurden über den Ablauf des Experiments, mögliche Risiken, sowie über die Einflüsse des Magnetfeldes im Kernspintomographen informiert. Neurologische Erkrankungen, die die Versuchsdurchführung beeinflussen könnten wurden zuvor ausgeschlossen. Alle Versuchsteilnehmer gaben entsprechend der Vereinbarung von Helsinki eine Einverständniserklärung ab.

III.2 Versuchsaufbau

Zum Scannen benutzten wir einen 1,5 - Tesla Magnetresonanztomographen von Siemens: 1,5-T Magnetom Sonata Ganzkörpertomograph mit Kopfspule.

Jeder Proband wurde insgesamt 2-mal im Kernspintomographen gemessen. Das erste Mal im Herbst des Jahres 2005. Das zweite Mal im Frühjahr des Jahres 2006 (siehe Tabelle 1). Zwischen den beiden Messungen liegen im Schnitt 151 Tage, also rund 5 Monate. Das längste Zeitintervall betrug bei einem Probanden 221 d, das kürzeste 103 d. Im Folgenden werden die ersten Messreihen (Herbst 2005) und die sich darauf beziehenden Daten immer mit „A Version“, die zweiten Messreihen (Frühjahr 2006) mit „B Version“ bezeichnet. Für jeden Probanden galt es pro Sitzung mindestens 2 linguistische Aufgaben durchzuführen während funktionelle Kernspin-Messungen (fMRI) ihres Gehirns erfolgten. Dann wurden anatomische Schichtaufnahmen in T1 Wichtung in sagittaler Ebene gemacht. Zusätzlich fertigten wir axiale T2 Schnittbilder an zum Erkennen eventueller anatomisch-pathologischer Prozesse.

Der Fließtext sowie die Bilder wurden mit Hilfe eines Video-Beamers von hinten durch ein Fenster in den Raum mit dem MRT-Gerät projiziert. Die Probanden lagen auf dem Rücken, Kopf voran, im MR-Scanner. Über ihrem Gesicht wurde ein Spiegel installiert, der den Probanden ermöglichte, das gebeamte Bild korrekt zu sehen. Die Probanden trugen Lärm abschirmende Kopfhörer, über welche sie eventuell den Hörtext abgespielt bekamen, und über welche kurze Kommunikation in den Pausen zwischen den Scan-Sequenzen erfolgte.

III.3 Aufgaben

III.3 a) Lesen eines Textes

Die erste Aufgabe bestand für die Probanden darin, im Kernspingerät einen dahin fließenden Text vom Bildschirm abzulesen, während funktionelle MRT Messungen ihrer Gehirnaktivität erfolgten. Der Fließtext bestand aus 8 Blöcken in Deutsch und 8 Blöcken in Französisch. Jeder Block enthielt zwischen 1 und 3 Sätzen. Zwischen den deutschen und französischen Textblöcken interkalierten wir sinnlose Worte, die nur aus „A“s bestanden. Die Probanden sollten den ganzen Text mit möglichst wenigen Kiefer- und Lippenbewegungen lesen, um Bewegungsartefakte bei der Bildakquisition zu vermeiden. Sie sollten jedoch nicht rein gedanklich lesen, sondern die Wörter richtig ausformulieren (Flüstersprache); auf diese Weise hoffe ich ein geistiges Verschwimmen und Abdriften vermindert und die Konzentration besser aufrecht erhalten zu haben. Vor der Durchführung der Aufgabe wurde den Probanden nahegelegt, dass sie danach zum Inhalt der Texte befragt würden. Auf diese Weise erhöhte ich bei den Studenten die Aufmerksamkeit auf den Lesetext und versicherte mir die korrekte Durchführung der Aufgabe. Der Inhalt der Texte bestand aus kurzen Schlagzeilen aktueller Ereignisse, sprich: Nachrichtentext. Das Sprachniveau war in Deutsch und in Französisch auf dem gleichen Level.

Die A-Version und die B-Version enthielten dieselbe Anzahl von Blöcken, wurden mit der gleichen Fließgeschwindigkeit abgespielt und dauerten ungefähr gleich lange. Inhaltlich handelte es sich um unterschiedliche Geschehnisse, jedoch um den gleichen Themenbereich (Umweltkatastrophen, Grippeepidemien).

In der A-Version wurden 228 Scans, in der B-Version 250 Scans vorgenommen. Jeder fMRI Scan bestand aus 36 axialen Schichten.

III.3 b) Sprachproduktion – Kommentieren von Bildern

Mit der zweiten Aufgabe wurde die Gehirnaktivität bei der Sprachproduktion erfasst. Die Probanden bekamen Fotos oder Bilder zu sehen, die es kurz zu beschreiben galt. Sie sollten die Bilder in deutscher oder französischer Sprache kommentieren, oder die sinnlosen Phoneme „blabla“ (Non-sense-Sprache) von sich geben. In welcher Reihenfolge die verschiedenen Sprachen zum Einsatz kommen sollten, wurde durch einen Zufallsgenerator bestimmt. Ich achtete darauf, dass die Anzahl der in deutscher, französischer und non-sense Sprache zu beschreibenden Bilder ungefähr gleich war. Zudem achtete ich darauf, die zu erwartenden inhaltlich – affektiven Wirkungen der Bilder nicht zugunsten einer bestimmten Sprache zu gewichten: So bildete ich 3 Gruppen von Bildern, die ich mit Neutral, Positiv und Negativ bezeichnete. Jeder Sprache wurde ungefähr die gleiche Anzahl an negativen, positiven und neutralen Bildern zugeteilt.

Insgesamt wurden sowohl in der A- als auch in der B-Version 39 Bilder gezeigt. Jedes Bild wurde 20 Sekunden lang gezeigt. Die Probanden sollten das Bild während 10 Sekunden beschreiben. Während dieser 10 Sekunden lief am unteren Bildschirmrand ein Balken ab. Nach dem Ablauf des Balkens sollten die Probanden nichts mehr sagen. Es folgte eine 10-sekündige Phase des ‚Nichtstuns‘, welche zur Erfassung der Grundaktivität des Gehirns, der so genannten Baseline, diente. Der rein visuelle Stimulus blieb hierbei erhalten; somit ergibt die später erfolgende Subtraktion der Aktivität während der passiven Nichtstun-Phase von der Aktivität während der aktiven Kommentier-Phase die tatsächliche Gehirnaktivität welche nur auf das Beschreiben des Bildes zurückzuführen ist. Am linken unteren Bildschirmrand wurde jeweils die zu wählende Sprache in Form eines Buchstaben eingeblendet. F für Französisch, D für Deutsch und B für die Non-sense Sprache.

In der A- und in der B-Version wurden 260 Scans vorgenommen. Jeder fMRI Scan bestand aus 36 axialen Schichten.

III.3 c) Hören eines gesprochenen Textes

Diese Aufgabe habe ich aufgrund technischer Probleme, d.h. zu laute Nebengeräusche des MRT-Gerätes, nicht in die Wertung mit einbezogen. Trotzdem soll die Vorgehensweise und die Idee dieses Teilexperimentes hier kurz geschildert werden.

Die dritte Aufgabe wurde nicht von allen Probanden durchgeführt. Wegen der eher schlechten Durchführbarkeit beschränkten wir uns auf die Probanden mit zu erwartender Kompetenzsteigerung. Die Studenten gaben uns an, dass der Hörtext relativ schwierig zu verstehen war, wegen der lauten Geräuschkulisse des Kernspingerätes. Deshalb ist die Beurteilung der Ergebnisse dieser Aufgabe eher zurückhaltend anzugehen.

Die Probanden hörten mittels Kopfhörer eine Tondatei, die aus verschiedenen gesprochenen Nachrichtentexten bestand. Diese kurzen Ansagen stammten aus vom Internet aus abspielbaren Nachrichten. Ich hatte verschiedene Texte abgespeichert, geschnitten und zu einer großen Audiodatei zusammengefügt. Sowohl die A- als auch in der B-Version bestand aus 5 deutschen und 5 französischen Textblöcken, welche sich abwechselten (D – F – D – F – D – F ...). Die durchschnittliche Dauer eines Textblocks betrug etwa 109 Sekunden. Die A-Version dauerte insgesamt 19 Minuten und 50 Sekunden, die B-Version 16 Minuten und 31 Sekunden. In der A-Version wurden 394 Scans, in der B-Version 330 Scans vorgenommen. Jeder fMRI Scan bestand aus 36 axialen Schichten.

Die Probanden sollten auf den Inhalt hören und wurden gebeten, denselben nachher grob zu reproduzieren. Dies war jedoch nicht allen Probanden möglich gewesen.

III.4 Anatomische Schichtaufnahmen

Die Morphologie wurde anhand von primär sagittalen T1 gewichteten Schnittbildern analysiert. Es wurden sowohl in der A-Version als auch in der B-Version 176 Schichten aufgenommen. Diese MRT Bilder dienten zum Vergleich der anatomischen Struktur eines jeden Gehirns zum Zeitpunkt A mit derjenigen desselben Gehirns zum Zeitpunkt B. Hierbei wurde eine Turbo Flash T1-gewichtete Sequenz (magnetization prepared acquisition of gradient echo = MPRAGE) mit 1 x 1 x 1 mm³ Voxelgröße verwendet.

Es wurden 36 axiale Schichten in T2 Wichtung vorgenommen. Diese Bilder wurden nicht in die statistische Auswertung mit einbezogen sondern dienten ausschließlich dem Erkennen eventuell vorhandener zentralnervöser pathologischer Prozesse bei den einzelnen Studenten. Durchgeführt wurde hier ein standard Kernspin Scan ohne Kontrastmittel unter Verwendung einer Spin Echo T2 Sequenz mit 0,72 x 0,72 x 3 mm³ Voxelgröße.

III.5 Sprachkompetenzevaluation

Die Probanden der Gruppe 1 wurden zudem noch einem Sprachkompetenz-evaluationstest außerhalb des Kernspins unterzogen. Der Test beinhaltete ganz ähnliche Aufgaben wie die während der Kernspinmessungen gestellten. Er bestand aus 4 Teilen, wobei jeweils verschiedene Sprachfertigkeiten geprüft wurden: Zuerst das Leseverständnis in einem kurzen Text mit anschließenden Verständnisfragen; dann das Hörverständnis durch einen Hörtext mit entsprechenden Fragen zum Inhalt; daraufhin die Sprachproduktion, wobei die Studenten bestimmte Bilder kurz inhaltlich beschreiben mussten; und zuletzt die freie Ausdrucksfähigkeit und Sprachflüssigkeit in einer kurzen Vorstellung der eigenen Person. Abbildungen 4 und 5 zeigen Auszüge aus diesen Sprachtests. Die Tests wurden von einer Mitarbeiterin des Institutes für Romanistik der Universität des Saarlandes erarbeitet. Mithilfe dieses Utensils wurde die Kompetenz eines jeden Studenten der Gruppe 1 in der jeweiligen Fremdsprache L2 bewertet. Dementsprechend lag der Test sowohl in Französisch für die primär deutschsprachigen (L1 = D) als auch in Deutsch für die primär

französischsprachigen Studenten (L1 = F) vor. Hierdurch hatten wir ein möglichst objektives Instrument zur Erfassung der tatsächlichen Sprachkompetenz zur Verfügung. Genau wie bei den MRT-Messungen gab es auch hier eine A-Version und eine B-Version. Die Studenten der Gruppe 2 wurden nicht mit diesem Test bewertet. Da sie nicht an einem Auslandsaufenthalt teilnahmen und keine sonstigen Anstrengungen zur Verbesserung ihrer L2 machten, konnte ich annehmen, dass ihre Sprachkompetenz während der A und der B Session unverändert gleich waren.

Lest den Artikel über Le Raincy und entscheidet, ob die folgenden Behauptungen korrekt sind. Wenn sie falsch sind, korrigiert sie in eigenen Worten (ganze Sätze).

Unruhen in Frankreich: Notstand im Paradies

Aus Le Raincy berichtet Holger Dambeck

Triste Betonblocks und ausgebrannte Autos gibt es in der Kleinstadt Le Raincy bei Paris keine - stattdessen aber Villen, gepflegte Spielplätze und sanierte Bürgerhäuser. Trotzdem hat der Bürgermeister ein Ausgehverbot verhängt.

Das kleine Städtchen Le Raincy bei Paris ist eine Insel der Glückseligkeit. Hübsche alte Gebäude säumen die Hauptstraße - eine perfekte Kulisse für einen Frankreich-Werbefilm. Während in den umliegenden Kommunen in den vergangenen Tagen immer wieder die Gewalt eskalierte, blieb Raincy davon verschont. Damit das auch weiterhin so bleibt, hat Bürgermeister Eric Raoult sich etwas einfallen lassen: eine Ausgangssperre für Jugendliche. Nebenbei hat er den Regierenden in Paris damit die Show gestohlen. Bereits in der Nacht vom Montag zum Dienstag durften Heranwachsende unter 18 Jahren nach 22 Uhr nur noch in Begleitung Erwachsener auf die Straßen von Raincy. Im übrigen Frankreich sind Ausgangssperren erst seit heute Morgen 0 Uhr möglich, nachdem die Regierung ein Gesetz aus der Zeit des Algerien-Kriegs aktiviert hatte.

Nach Raoults Alleingang in Sachen Ausgangssperre wimmelt es in der Kleinstadt nur so von Journalisten. Italienisches Radio, russisches Fernsehen, CNN - alle wollen wissen, wie es ist, wenn sich Menschen mitten im demokratischen Europa plötzlich nicht mehr frei bewegen dürfen.

Dass ausgerechnet Raincy den Anfang macht, birgt eine gewisse Absurdität. Die vergleichsweise reiche Stadt, in der Häuser deutlich teurer sind als in den umliegenden Banlieues, hat bislang keine Krawalle erlebt. "Es ist besser zu agieren als zu reagieren", meint der Sprecher des Bürgermeisters, Jean-Michel Legrand. "Es gibt viele junge Leute von außerhalb, die hierher kommen." Dass Jugendliche aus den wohlbehüteten Familien von Raincy zündeln gehen, mag selbst er sich nicht so recht vorstellen.

- a. Auch in Le Raincy gab es in der Nacht Ausschreitungen.
- b. In Le Raincy wurden schon viele Werbefilme gedreht.
- c. Die Ausgangssperre wurde zunächst in Le Raincy und anschließend in Paris verhängt.
- d. Ausgangssperren hat es in Frankreich schon früher gegeben.
- e. In der Kleinstadt sind sehr viele neugierige Journalisten.
- f. Der Bürgermeister reagiert mit der Maßnahme auf die Krawalle in Le Raincy.
- g. Die Jugendlichen aus Le Raincy haben in anderen Banlieues Autos angezündet.

Abbildung 4: Auszug aus dem deutschsprachigen Sprachtest, der von den primär französischsprachigen Studenten (L1 = F) bewältigt wurde. Es handelt sich hier um den Teil, der das Leseverständnis erfasst.

Ecoutez l'extrait de la revue de presse européenne que l'on vous fera écouter et choisissez la réponse correcte :

- a) La presse française a beaucoup parlé des émeutes à Belfast.
La presse française n'a pas beaucoup parlé des émeutes à Belfast.
La presse européenne a beaucoup parlé des émeutes à Belfast.
- b) Selon la presse irlandaise, les réactionnaires de l'ordre orangiste ont perdu leur crédibilité.
Selon la presse irlandaise, les réactionnaires de l'ordre orangiste ont honte des émeutes.
Selon la presse irlandaise, les réactionnaires de l'ordre orangiste n'ont pas encore perdu leur crédibilité.
- c) Des milliers de manifestants ont brûlé des voitures.
Les forces de polices ont cherché à tuer des manifestants.
Les manifestants ont jeté des cocktails Molotov sur les forces de polices.
- d) Samedi, un jeune catholique de 32 ans a été blessé.
Samedi, 29 policiers ont été blessés.
Pendant le week-end, 32 policiers ont été blessés.
- e) Le Guardian parle d'un « retour des armes à feu ».
Le Guardian parle d'une « orgie de violence ».
Le Times parle d'une « orgie de violence ».
- f) Pour avoir la paix en Irlande du nord, il suffit de désarmer le camps des catholiques.
Pour avoir la paix en Irlande du nord, il suffit de désarmer les groupes terroristes unionistes.
Pour avoir la paix en Irlande du nord, il ne suffit pas de désarmer le camps des catholiques.

Abbildung 5: Auszug aus dem französischsprachigen Sprachtest, der von den Studenten mit L1 = D beantwortet wurde. Es handelt sich um den Teil, der das Hörverständnis erfasst. Die Studenten bekamen einen Hörtext vorgespielt und mussten anschließend die richtige Antwort aus den Antwortmöglichkeiten auswählen.

III.6 Auswertung der Daten

Das Hauptziel bestand jetzt darin, die Daten vom Zeitpunkt A mit denen vom Zeitpunkt B zu vergleichen. Jedes Gehirn wurde mit sich selbst verglichen. Eine Veränderung in der funktionellen Verarbeitungsweise würde uns somit auffallen.

III.6 a) Bearbeitung der Bilder

Die gewonnenen Datensätze (fMRI, T1, T2) lagen in DICOM-Format vor. Zunächst galt es, die Daten in ein anderes Format („Analyze“) umzuwandeln. Die Bilder wurden mittels eines Programms, MRIcro, in das Analyze-Format konvertiert. Die weitere Datenverarbeitung erfolgte mit dem Programm SPM99 (Statistical Parametric mapping) auf Basis von Matlab. Es wurden nun einige Korrekturen an den vorliegenden fMRI-Scans vorgenommen. Zuerst erfolgte die Time Slice Correction: Da ein Scandurchgang (1 Volume, bestehend aus x Schichten) eine gewisse Zeitspanne (y Sekunden) benötigt, werden eigentlich die Aktivierungen der verschiedenen Schichten eines Volumes zu unterschiedlichen Zeitpunkten gemessen, sodass ein Volume (ein gesamter Kopf) nicht wirklich ein Aktivierungsmuster zu einem bestimmten Zeitpunkt darstellt, sondern verschiedene Aktivierungen zu unterschiedlichen Zeitpunkten. Mithilfe der Time Slice Correction wird diese Ungenauigkeit korrigiert und alle Schichten eines gesamten Volume einem bestimmten, gleichen Zeitpunkt zugeordnet. Es folgte die Motion correction, Bewegungskorrektur, welche darauf abzielte, die während einer längeren MR Session unvermeidbar auftretenden Bewegungen der Probanden auszugleichen. Daraufhin wurden die Volumes normalisiert, d.h. in einen einheitlichen Referenzraum überführt, damit die verschiedenen Positionen vergleichbar werden. Zum Schluss erfolgte das Smoothing, die Glättung der Volumes.

III.6 b) Statistik

Die Sequenzen wurden in eine Erwartungsdesignmatrix in SPM eingespeist. Dieses Erwartungsdesign basierte auf einem zeitlichen Muster. Für jedes Paradigma gab es ein spezielles zeitliches Erwartungsmuster. Beim Lesen-Paradigma befand sich der Erwartungszeitpunkt der Aktivierungsänderung jeweils am Anfang des nächsten Textblockes. Beim Sprechen-Paradigma markierte immer der Ablauf des Balkens und das Erscheinen des nächsten Bildes nach je 10 Sekunden den nächsten Erwartungszeitpunkt.

Der Computer errechnete die Koordinaten der mehraktivierten Voxel (Volume Pixel) im MNI Raum. Diese wurden dann in die Talairach Koordinaten umgewandelt, woraus sich das jeweils zutreffende Brodman Areal ableiten ließ. Der Talairach Raum ist ein auf Koordinaten basiertes System zur Orientierung und Kartographierung des Gehirns, wobei jedem Punkt ein entsprechendes Brodman Areal zugeordnet wurde. Die Erarbeitung dieses Talairach Atlases geht auf seinen Namensgeber, den französischen Neurochirurgen und Hirnforscher Jean Talairach zurück (Talairach et al., 1988).

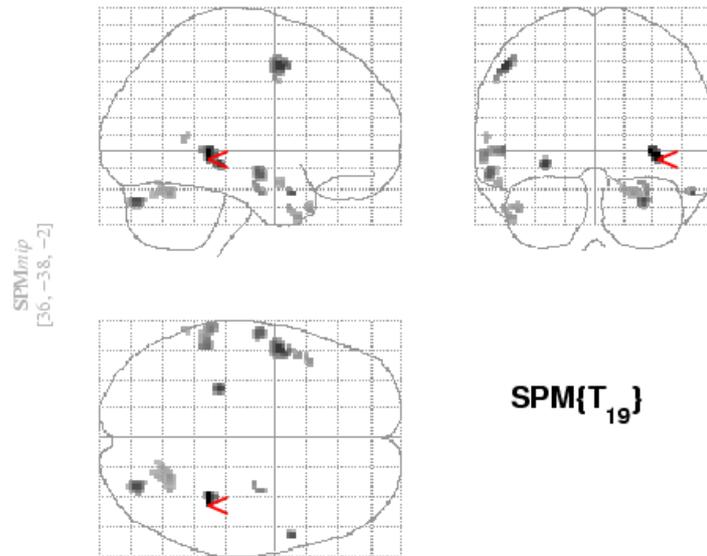
IV. ERGEBNISSE

In allen folgenden Aktivierungstabellen sind die Areale nach der Hirnlokalisation geordnet. Angegeben sind jeweils die Koordinaten im MNI und Talairach Raum, der Z-Wert (Intensität der Aktivierung) sowie die Hirnregion und die entsprechende Zuordnung zur Brodmann Area (BA).

IV.1 Lesen: L1 > Aa

Im Folgenden werden diejenigen Areale gezeigt, welche beim Lesen der Muttersprache mehr aktiviert wurden als beim Lesen der sinnfreien Wörter „Aaa...“.

Die mit (korr) bezeichneten Koordinaten in den Tabellen deuten auf korrigierte Werte hin, da die aus dem MNI Raum stammenden entsprechenden Koordinaten bei direkter Übertragung in den Talairach Raum entweder außerhalb des Gehirns lagen oder auf die weiße Substanz trafen. Es wurde jeweils der nächstliegende kortikale Punkt gewählt.



SPMresults:Gruppenstatistik/L1-A_alle
 Height threshold $T = 2.86$
 Extent threshold $k = 5$ voxels

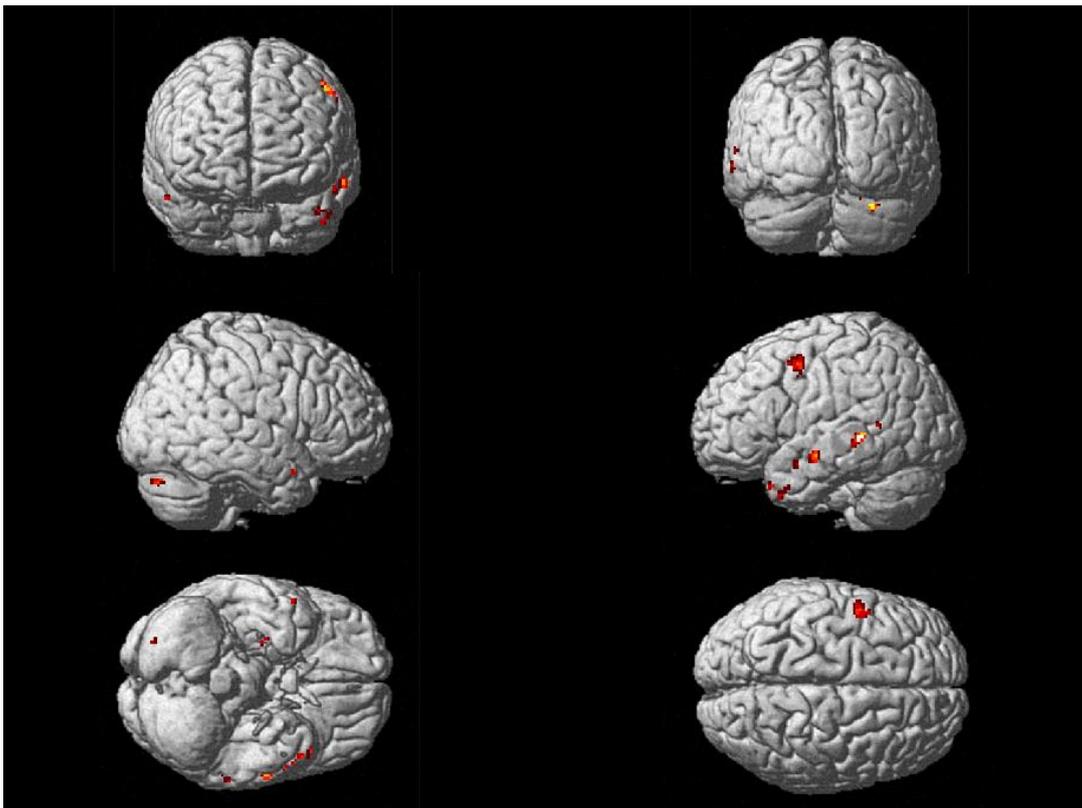


Abbildung 6: Lesen L1 > Aaa. Mehraktivierung beim Lesen der Muttersprache gegenüber sinnfreier Lautproduktion.

Tabelle 2: Mehraktivierte Regionen beim Lesen von L1 gegenüber „Aaa“.

MNI x y z	Talairach (mm) x y z	Z-Wert	Region	BA
Frontal				
-50 2 50	-49,5 4,2 45,8	3,47	Gyrus praecentralis (GPrC), links	6
-56 0 42	-55,4 1,9 38,6	2,93	GPrC, links	6
Temporal				
-44 20 -34	-43.6 17.9 -29.5	2,87	Gyrus temporalis superior (GTs), links	38
56 10 -24	55.4 8.7 -20.6	3,29	Gyrus temporalis medius (GTm), rechts	21
-60 -8 -14	-59.4 -8.3 -11.4	3,23	GTm, links	21
-52 -38 0	-51.5 -36.8 1.8	3,14	GTm, links	21
-62 -36 -2	-61.4 -35.0 0.1	3,05	GTm, links	21
-48 14 -38	-47.5 12.0 -32.6	2,85	GTm, links	38
-52 8 -32	-51.5 6.4 -27.2	2,79	GTm, links	21
-54 4 -18	-53.5 3.1 -15.3	2,74	GTm, links	21
-62 -52 6	-61.4 -50.1 8.0	2,71	GTm, links	21
Temporo-mesial				
28 -80 -28	27.7 -78.7 -19.6	3,35	Gyrus fusiformis (GF), rechts	19
22 -60 -24	21.8 -59.1 -17.2	2,87	GF, rechts	19
30 -60 -26	29.7 -59.2 -18.9	2,74	GF, rechts	19
14 -68 -18	13.9 -66.6 -11.8	2,60	GF, rechts	19
36 -38 -2	25,9 -35,0 1,9 (korr)	3,83	Hippocampus (Hi), rechts	30
28 -32 -8	-27,7 -31,3 -5,2	3,42	Hi, links	27
26 -12 -18	25.7 -12.4 -14.5	2,88	Hi, rechts	34
30 -8 -24	-15.1 0.0 -17.6 (korr)	2,99	Uncus (U), links	34

IV.2 Sprechen: L1 > Bla

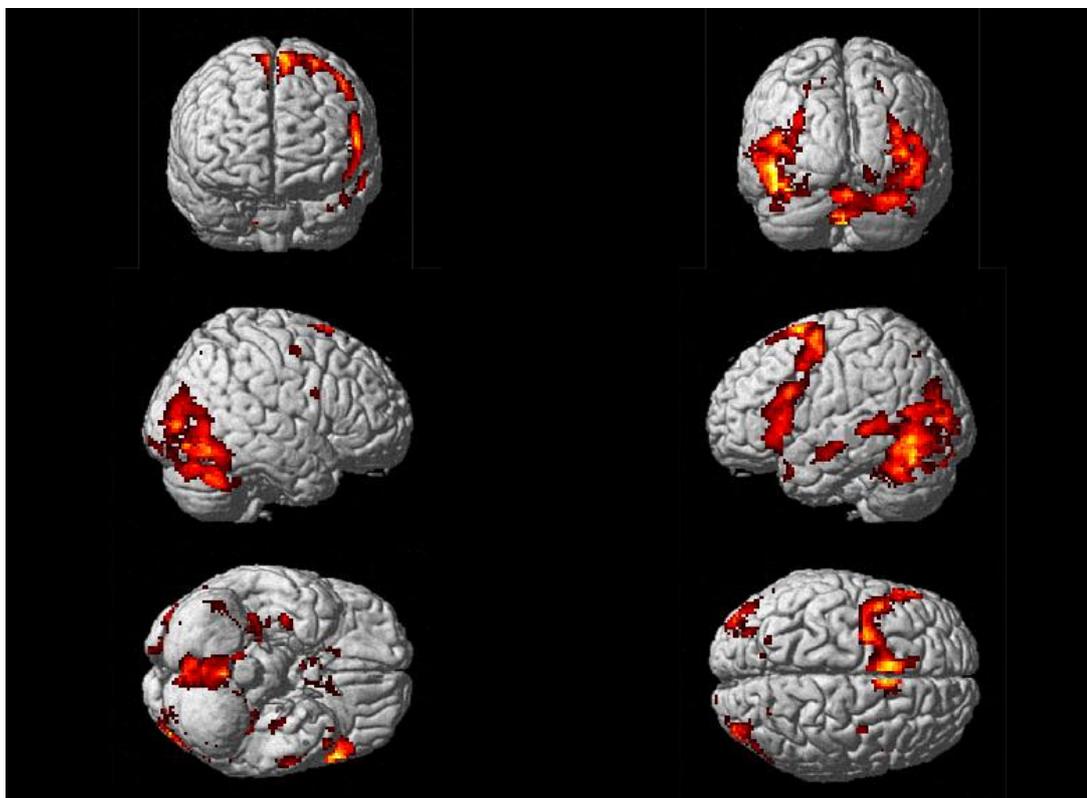
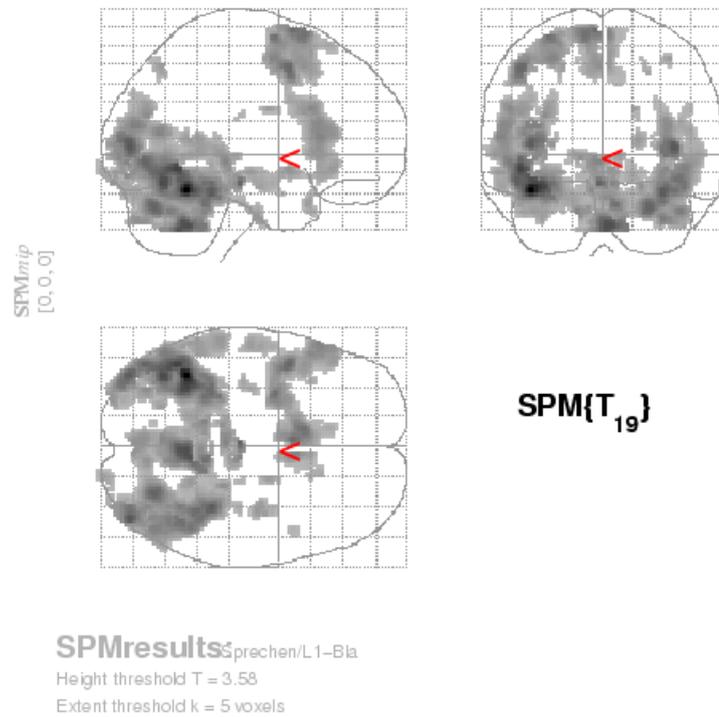
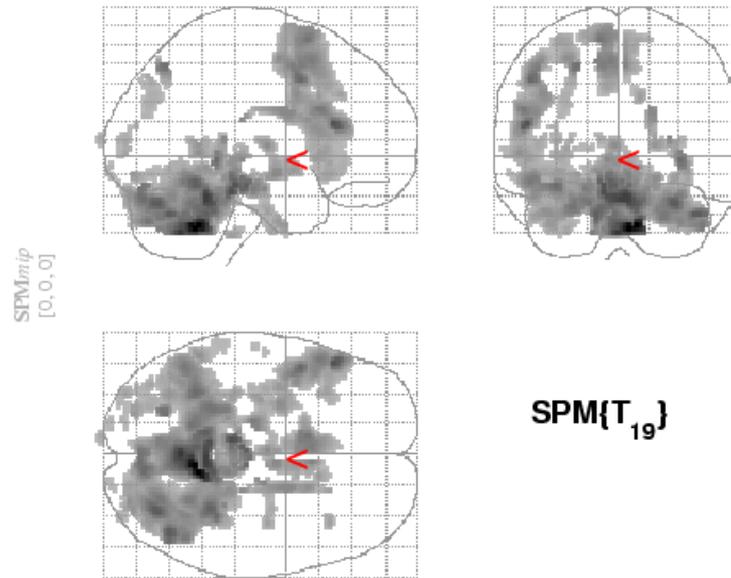


Abbildung 7: Mehraktivierungen beim Sprechen in der Muttersprache L1 gegenüber sinnfreier Lautproduktion „Bla“

IV.3 Sprechen: L2 > Bla



SPMresults_{Sprechen/L2-Bla}
Height threshold T = 3.58
Extent threshold k = 5 voxels

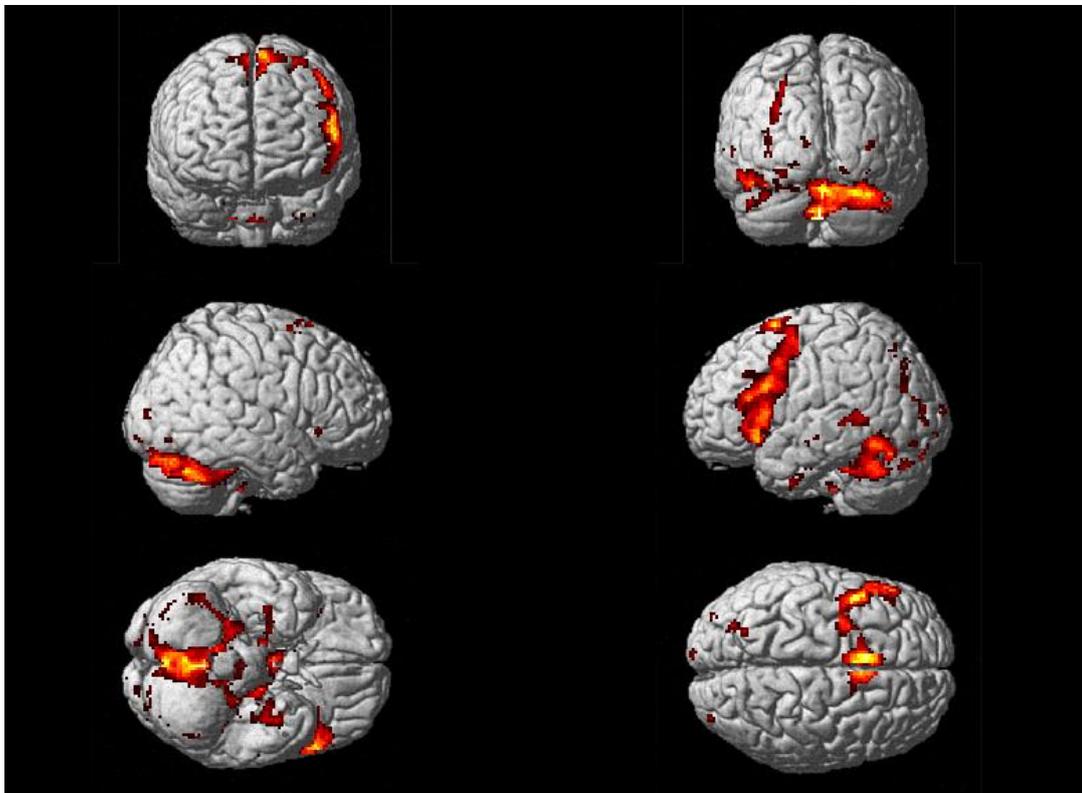


Abbildung 8: Mehraktivierungen beim Sprechen in der Fremdsprache L2 gegenüber sinnfreier Lautproduktion „Bla“

IV.4 Sprechen: L1 + L2 > Bla

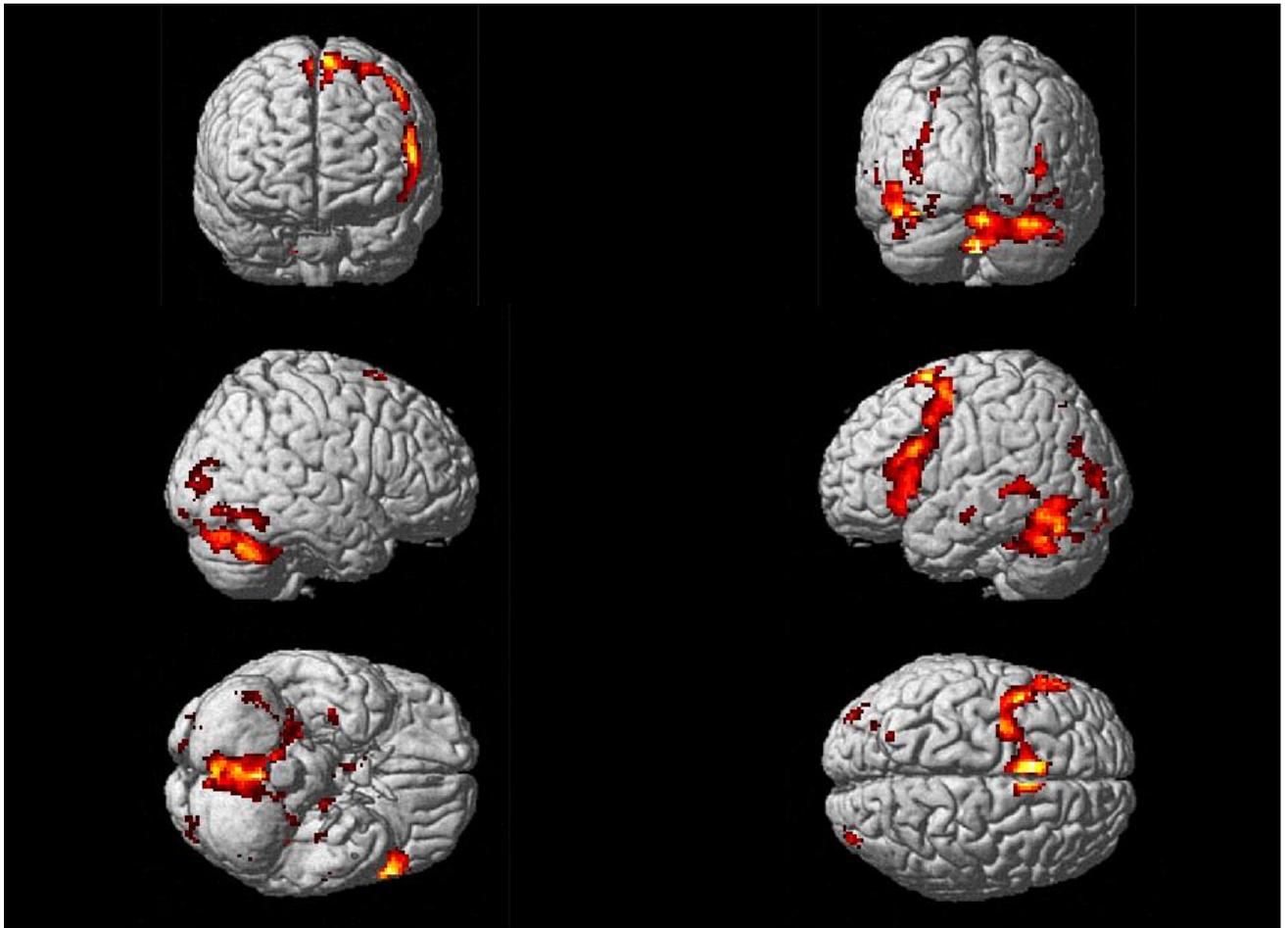


Abbildung 9: Mehraktivierungen beim Sprechen in L1 und L2 gegenüber sinnfreier Lautproduktion „Bla“

Tabelle 3: Mehraktivierte Regionen beim Sprechen in L1+L2 gegenüber sinnfreier Lautproduktion „Bla“

MNI x y z	Talairach (mm)	Z-Wert	Region	BA
Frontal				
-10 12 66	-9.9 14.7 60.1	7,28	Gyrus frontalis superior (GFs), links	6
-46 6 44	-45.5 7.8 40.1	7,46	Gyrus frontalis inferior (GFi), links	9
18 -4 26	35.6 -4.0 37.0 (korr)	6,06	Gyrus praecentralis (GPrC), rechts	4
-4 8 70	-4.0 11.0 63.9	7,08	Gyrus frontalis medialis (GFd), links	6
4 8 66	4.0 10.8 60.3	6,13	GFd, rechts	6
Parietal				
-22 -66 50	-21.8 -61.6 49.1	6,62	Lobulus parietalis superior (LPs), links	7
Temporal				
-54 -48 2	-53.5 -46.4 4.2	5,88	Gyrus temporalis medius (GTm), links	22
-60 -34 0	-59.4 -32.9 1.6	5,33	GTm, links	21
-58 -16 -10	-57.4 -15.9 -7.6	5,19	GTm, links	21
20 -24 20	29.9 -24.0 18.7 (korr)	5,63	Gyri temporales transversi (GTT), rechts	41
Occipital				
-34 -88 8	-33.7 -84.9 11.6	6,41	Gyrus occipitalis medius (GOM), links	18
-36 -90 0	-35.6 -87.2 4.4	5,89	GOM, links	18
34 -84 4	33.7 -81.2 7.7	5,72	GOM, rechts	19
34 -92 8	33.7 -88.8 11.8	5,70	GOM, rechts	18
-36 -82 16	-35.6 -78.7 18.7	5,59	GOM, links	19
36 -76 16	35.6 -72.9 18.4	5,39	GOM, rechts	19
34 -74 -10	41.4 -74.7 0.0	5,95	Gyrus occipitalis inferior (GOi), rechts	37
42 -78 -8	41.6 -75.9 -2.9	5,06	GOi, rechts	19
18 -96 -12	17.8 -93.5 -5.4	5,00	Sulcus calcarinus (Sca), rechts	17
Paramedian / Paracingulär				
4 14 50	4.0 15.9 45.3	6,50	Sulcus callosomarginalis (Scm), rechts	6
-2 -30 -4	-11.1 -36.1 1.0 (korr)	6,58	Cingulum (Ci), links	27
20 -48 6	11.2 -45.0 4.5 (korr)	6,06	Ci, rechts	30
-16 -16 -18	-15.8 -16.3 -14.3	5,54	Ci, links	34
-2 -10 6	-2.0 35.4 1.0 (korr)	5,52	Gyrus cinguli (GC), links	24
6 6 -8	5.9 5.5 -7.0	6,19	Gyrus paraterminalis, rechts	25
Temporo-mesial				
-8 -30 -20	-19.3 -20.9 -16.0 (korr)	6,85	Gyrus parahippocampalis, links	35
-2 -22 -16	-14.8 -9.1 -12.0 (korr)	7,54	Gyrus parahippocampalis, links	28
-30 -14 -16	-29.7 -14.2 -12.7	5,37	Hippocampus (Hi), links	35
-28 -36 4	-22.7 -35.0 1.6 (korr)	5,23	Hi, links	30
-32 -30 -8	-31.7 -29.4 -5.3	5,10	Hi, links	27
-34 -52 -18	-33.7 -51.1 -12.6	inf	Gyrus fusiformis (GF) , links	37
-28 -92 -16	-27.7 -89.8 -9.0	5,52	GF, links	18
-36 -20 -28	-35.6 -20.6 -22.5	5,27	GF, links	35
32 -10 -40	31.7 -11.4 -33.1	5,14	GF, rechts	36
38 -10 -30	37.6 -10.9 -24.7	5,10	GF, rechts	20
-26 -84 -12	-25.7 -81.9 -6.0	5,09	GF, links	19

Fortsetzung Tabelle 3: Mehraktivierung beim Sprechen von L1 + L2 gegenüber „Bla“

MNI x y z	Talairach (mm)	Z-Wert	Region	BA
Cerebellär				
6 -50 -40	0.0 -46.8 -35.1 (korr)	inf	Vermis	
0 -58 -42	0.0 -58.0 -32.4	inf	Cerebellum	

IV.5 Sprechen: L1 > L2

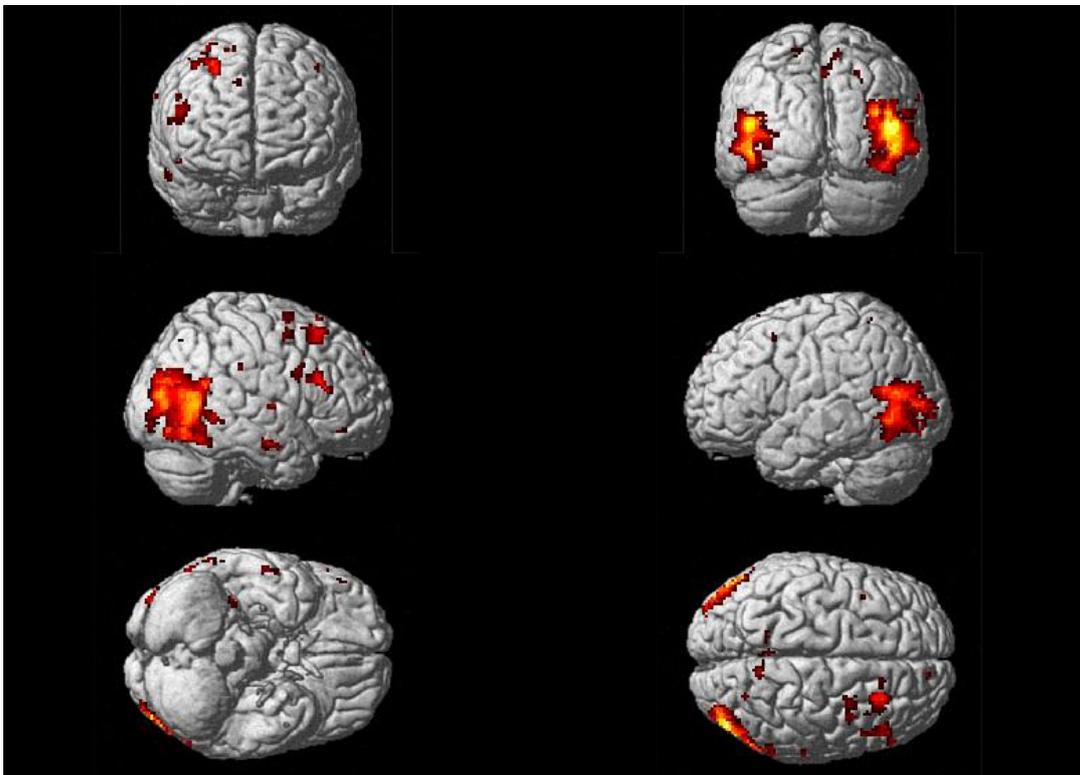
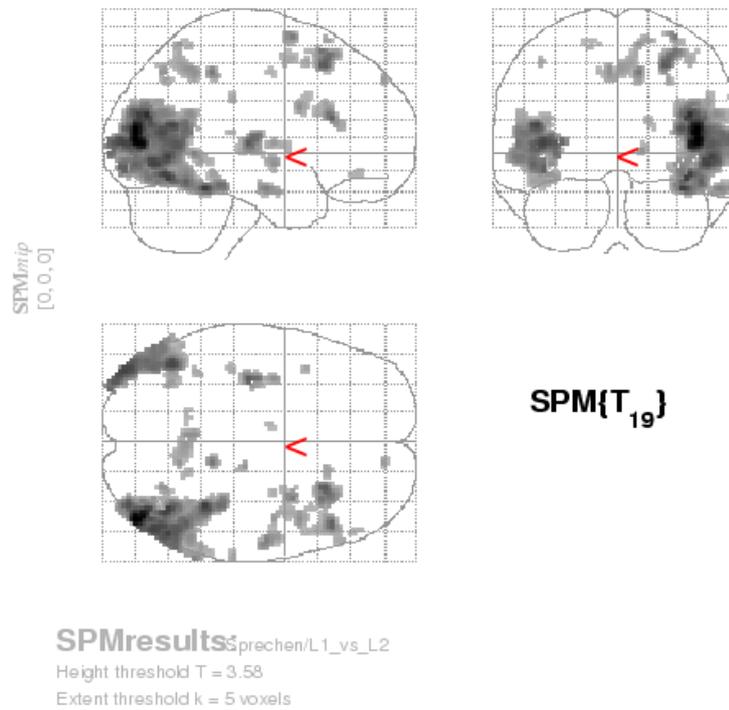


Abbildung 10: Mehraktivierungen beim Sprechen in L1 gegenüber L2

Tabelle 4: Gehirnaktivierung beim Sprechen in L1 gegenüber L2. Signifikanzschwelle $p < 0,001$ (unkorrigiert), 5 Voxel extent threshold.

MNI x y z	Talairach (mm)	Z-Wert	Region	BA
Frontal				
12 54 42	11.9 54.2 36.0	3,61	Gyrus frontalis superior (GFs), rechts	9
16 24 64	15.8 26.2 57.6	3,56	GFs, rechts	8
26 22 50	25.7 23.6 44.9	4,52	Gyrus frontalis medius (GFm), rechts	8
32 20 58	31.7 22.0 52.3	4,21	GFm, rechts	8
32 4 66	31.7 6.9 60.5	4,12	GFm, rechts	6
-42 12 52	-41.6 14.0 47.2	3,49	GFm, links	8
40 2 54	39.6 4.4 49.5	3,44	GFm, rechts	6
38 14 58	37.6 16.2 52.6	3,28	GFm, rechts	8
26 -2 56	25.7 0.6 51.6	3,30	GFm, rechts	6
48 26 20	47.5 26.1 17.1	4,43	Gyrus frontalis inferior (GFi), rechts	45
56 32 16	55.4 31.7 13.2	3,43	GFi, rechts	45
50 40 -12	49.5 38.2 -12.0	3,30	GFi, rechts	47
52 12 32	51.5 13.1 28.8	3,29	GFi, rechts	9
44 8 26	-58.1 8.0 28.4 (korr)	3,78	Gyrus praecentralis (GPrC), rechts	44
Parietal				
26 -66 46	25.7 -61.8 45.5	3,77	Lobulus parietalis superior (LPs), rechts	7
12 -58 62	11.9 -53.3 59.8	3,73	LPs, rechts	7
12 -40 46	11.9 -36.6 44.2	4,16	Praecuneus (PCu), rechts	31
-4 -50 46	-4.0 -46.3 44.7	3,82	PCu, links	31
2 -54 48	2.0 -50.1 46.7	3,69	PCu, rechts	7
8 -58 52	7.9 -53.8 50.6	3,49	PCu, rechts	7
-16 -54 60	-15.8 -49.6 57.8	3,30	Lobulus paracentralis (Lpc), links	7
Temporal				
54 -8 4	53.5 -7.6 4.1	3,41	Gyrus temporalis superior (GTs), rechts	22
-44 -62 16	-43.6 -59.3 17.7	4,78	Gyrus temporalis medius (GTm), links	39
56 -10 -20	55.4 -10.5 -16.3	4,05	GTm, rechts	21
-42 -30 12	-41.6 -28.5 12.5	3,32	Gyri temporales transversi (GTT), links	41
66 -28 30	65.3 -25.7 28.9	3,49	Sulcus lateralis cerebri (SI), rechts	40
Occipital				
44 -82 14	43.6 -78.8 16.8	5,53	Gyrus occipitalis medius (GOM), rechts	19
40 -76 22	39.6 -72.6 23.9	5,03	GOM, rechts	19
-40 -88 6	-39.6 -85.0 9.8	4,80	GOM, links	18
-34 -94 6	-33.7 -90.8 10.1	4,60	GOM, links	18
Insulär				
-36 -20 6	-35.6 -19.1 6.5	4,52	Insula (INS), links	41
-36 -6 -6	-35.6 -6.1 -4.7	3,82	INS, links	42
44 -6 6	43.6 -5.5 5.8	3,69	INS, rechts	4
28 -6 -8	37.8 0.0 -2.7	3,34	INS, rechts	43
Paramedian / Paracingulär				
-10 -8 46	-9.9 -5.6 42.7	3,25	Gyrus cinguli (GC), links	24

Fortsetzung Tabelle 4: Mehraktivierungen L1 gegenüber L2.

Temporo-mesial				
36 -44 -20	35.6 -43.5 -14.6	4,85	Gyrus fusiformis (GF), rechts	37
-40 -48 -18	-39.6 -47.3 -12.8	3,41	GF, links	37
14 -22 2	14.4 0.0 -24.3 (korr)	3,74	Uncus (U), rechts	34
18 -54 18	17.1 -57.6 0.0 (korr)	3,36	Gyrus lingualis (GL), rechts	19

IV.6 Sprechen: L2 > L1

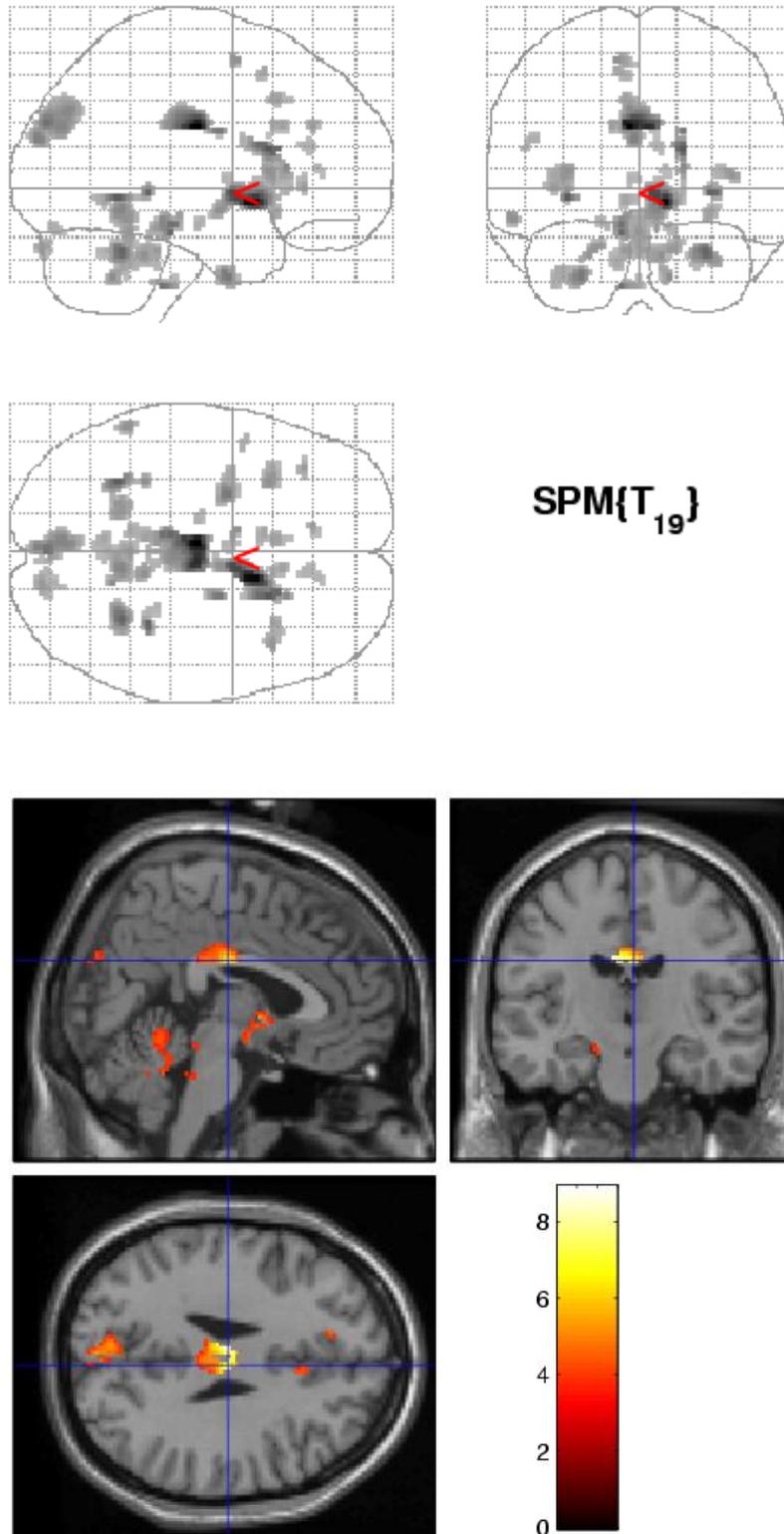


Abbildung 11: Mehraktivierte Regionen beim Sprechen in L2 gegenüber L1.

Tabelle 5: Mehraktivierungen beim Sprechen in L2 gegenüber L1. Signifikanzschwelle $p < 0,001$ (unkorrigiert), 5 Voxel extent threshold.

MNI x y z	Talairach (mm)	Z-Wert	Region	BA
Frontal				
-10 14 54	-9.9 16.0 48.9	3,48	Gyrus frontalis superior (GFs), links	8
-38 32 0	-37.6 31.0 -1.6	3,66	Gyrus frontalis inferior (GFi), links	47
32 18 -12	31.7 16.9 -10.9	3,55	GFi, rechts	47
-46 4 22	-45.5 4.9 20.0	3,37	GFi, links	6
-10 2 58	-9.9 4.6 53.2	3,79	Gyrus frontalis medialis (GFd), links	6
Temporal				
-34 0 -36	-33.7 -1.5 -30.2	3,44	Gyrus temporalis medius (GTm), links	21
-38 0 -44	-37.6 -1.8 -36.9	3,31	GTm, links	20
-56 -48 -14	-55.4 -47.1 -9.4	3,79	Gyrus temporalis inferior (GTi), links	37
Occipital				
0 -84 30	0.0 -80.0 31.6	4,28	Sulcus parieto-occipitalis (Spo)	19
-6 -76 28	-5.9 -72.3 29.4	3,99	Spo, links	18
-2 -88 22	-2.0 -84.2 24.5	4,05	Cuneus (Cu), links	18
Insulär				
20 16 18	31.5 15.3 0.0 (korr)	4,58	Insula (INS), rechts	47
20 -6 26	41.2 -4.0 14.6 (korr)	4,16	INS, rechts	4
-32 16 8	-31.7 15.9 6.6	3,78	INS, links	45
42 18 6	41.6 17.7 4.6	3,73	INS, rechts	45
Paramedian / Paracingulär				
-4 -16 28	-4.0 -14.2 26.5	5,52	Sulcus corporis callosi (Scc), links	23
12 10 -6	2.7 40.8 1.0 (korr)	5,39	Gyrus cinguli (GC), rechts	32
8 2 -4	2,3 12,3 -4,0 (korr)	4,77	GC, rechts	24
-6 20 40	-5.9 21.2 35.8	3,58	GC, links	32
8 22 28	7.9 22.6 24.7	3,56	GC, rechts	24
10 32 20	9.9 31.9 16.8	3,29	GC, rechts	32
-14 -16 -16	-18.6 -16.0 -13.4	3,32	Cingulum (Ci), links	34
12 38 10	11.9 37.3 7.3	3,27	Ci, rechts	24
-12 36 28	-11.9 36.2 24.0	3,61	Sulcus callosomarginalis (Scm), links	32
-4 -4 4	3.6 20.7 0.0 (korr)	3,24	Gyrus paraterminalis, links	25
Temporo-mesial				
-32 -52 -4	-31.7 -50.5 -0.8	4,52	Gyrus fusiformis (GF), links	19
30 -50 -28	29.7 -49.6 -21.1	4,44	GF, rechts	37
16 -86 -28	15.8 -84.5 -19.3	3,65	GF, rechts	18
28 -38 -34	27.7 -38.2 -26.7	3,25	GF, rechts	37
8 -50 -10	7.9 -48.9 -6.0	3,98	Gyrus lingualis (GL), rechts	19
-6 -58 -4	-5.9 -56.4 -0.5	3,47	GL, links	19
14 -80 -18	13.9 -78.3 -11.2	3,38	GL, rechts	19
-32 -40 -2	-16.7 -40.0 -6.4 (korr)	3,87	Gyrus parahippocampi (Gh), links	35
-4 -24 -12	-3.6 -39.6 0.0 (korr)	3,60	Gh, links	30
32 -38 -2	18.3 -35.0 2.8 (korr)	4,42	Hippocampus (Hi), rechts	30
-26 -2 -40	-25.7 -3.6 -33.5	4,16	Uncus (U), links	36

Fortsetzung Tabelle 5: Mehraktivierungen bei Sprechen in L2 gegenüber L1

Cerebellär				
-8 -28 -20	0.0 -38.7 -13.5 (korr)	4,36	Cerebellum, links	
-8 -32 -44	-7.9 -32.8 -35.4	4,26	Cerebellum, links	
14 -54 -40	13.9 -54.0 -30.9	3,87	Cerebellum, rechts	
10 -40 -30	9.9 -40.0 -23.2	3,79	Cerebellum, rechts	
-18 -50 -26	-17.8 -49.5 -19.4	3,74	Cerebellum, links	
2 -32 -14	1.8 -38.7 0.0 (korr)	3,51	Vermis	

IV.7 Vergleich vorher nachher

IV.7 a) Sprachkompetenztest

In folgender Tabelle sind die Ergebnisse des Sprachtests der Gruppe 1 aufgeführt. Die maximal zu erreichende Punktzahl belief sich jeweils auf 28. Der Anschaulichkeit halber wurde das jeweilige Datum der fMRI-Messung (entspricht ungefähr dem Zeitpunkt der Sprachtestung) hinzugefügt. Delta L2 bezeichnet die Differenz der erworbenen Punktzahl (B-Version – A-Version). Bei allen 6 Teilnehmern war die Kompetenz bei der zweiten Evaluation besser als bei der ersten. Delta L2 wurde als Kovariate benutzt um festzustellen, welche Areale in ihrem Aktivitätsniveau tatsächlich mit der Sprachkompetenz korrelieren. Es zeigt sich, dass die Studenten mit der ausgangs niedrigeren Sprachkompetenz die meisten Fortschritte machten.

Tabelle 6: Evolution der Sprachkompetenz der Gruppe 1

Initialen des Probanden (Gruppe 1)	L1 - L2	Zeitpunkt der ersten Messung (A-Version)	Zeitpunkt der zweiten Messung (B-Version)	Kompetenzniveau in L2		Delta L2
				Zu Beginn der Studie	Am Ende der Studie	
1. B.C.	F – D	06.11.2005	18.02.2006	14,5 / 28	16,5 / 28	2
2. D.E.	D – F	18.09.2005	26.02.2006	26,3 / 28	27,0 / 28	0,7
3. H.A.	D – F	18.09.2005	28.04.2006	22,3 / 28	23,7 / 28	1,4
4. L.S.	F – D	22.10.2005	25.03.2006	11,3 / 28	19,3 / 28	8
5. M.F.	F – D	06.11.2005	18.02.2006	13,7 / 28	15,3 / 28	1,6
6. W.J.	D – F	18.09.2005	25.04.2006	20,3 / 28	24,7 / 28	4,4

Für die Studenten der Gruppe 2 wurde Delta L2 auf 0 (Null) gesetzt, da bei ihnen keine Kompetenzzunahme zu erwarten war.

IV.7 b) fMRI: Lesen

Beim Lesen-Paradigma kam in Kombination mit der Kovariate (Differenz der Noten im Sprachkompetenzevaluationstest von A- und B-Version) ein interessantes Aktivierungsmuster heraus. Ein Areal im frontalen Cortex, das BA46 wurde signifikant mehraktiviert bei den Kandidaten, die am meisten an Sprachkompetenz zugelegt hatten. Dieses Areal wurde schon in einer Vorstudie in seiner Funktion beim Sprachwechsel („Code switching“) beschrieben und als wichtiges Sprachkompetenzzentrum erkannt.

Die stärkste Mehraktivierung war in einem rechtsseitigen frontalen Gebiet des Großhirncortex zu verzeichnen, welches zur Brodman Area 10 gerechnet wird. Genauer handelt es sich um den rostralen Bereich des Gyrus frontalis inferior und kann noch zum orbitofrontalen Cortex gezählt werden.

In der folgenden Tabelle sind die relevantesten mehraktivierten Areale fett gedruckt:

Tabelle 7: Mehraktivierung beim Lesen in L2 von Version B > Version A (nachher > vorher) in Korrelation mit der Sprachkompetenzsteigerung aus dem Sprachtest. N = 20

Z-Wert	MNI Koordinaten			BA	Region	Lokalisation
	x	y	z			
4,76	24	66	8	10	Gyrus frontalis inferior (GFi), re	Orbitofrontal
4,35	-42	42	18	46	Gyrus frontalis medius (GFm), li	Präfrontal
3,06	-38	38	-10	11	GFm, li	
3,14	-34	38	42	9	GFm, li	
3,51	18	50	46	8	Gyrus frontalis superior (GFs), re	Frontal
2,85	-52	20	14	45	GFi, li	
3,88	-2	44	-20	11	Gyrus frontalis medialis (GFd), li	
3,33	10	28	42	32	GFd, re	
3,27	46	-18	2	22	Gyrus temporalis superior (GTs),re	Temporal
2,84	38	14	-24	38	GTs, re	
3,16	46	-8	8	22	Sulcus lateralis cerebri (Sl), re	
3,12	10	42	-6	10	Gyrus cinguli (GC), re	Paramedian / Paracingulär
3,02	-6	-2	30	24	GC, li	
3,02	8	18	22	33	Cingulum (Ci), re	
3,26	4	-12	-2	25	Gyrus paraterminalis, re	
3,49	-20	-4	-14	28	Gyrus temporalis medialis (GTd), li	Temporo-mesial
3,07	-16	-12	-12	34	Uncus (U), li	
3,00	-20	-34	-14	35	Gyrus parahippocampi (Gh), li	
2,96	28	-22	-10	28	Hippocampus, re	

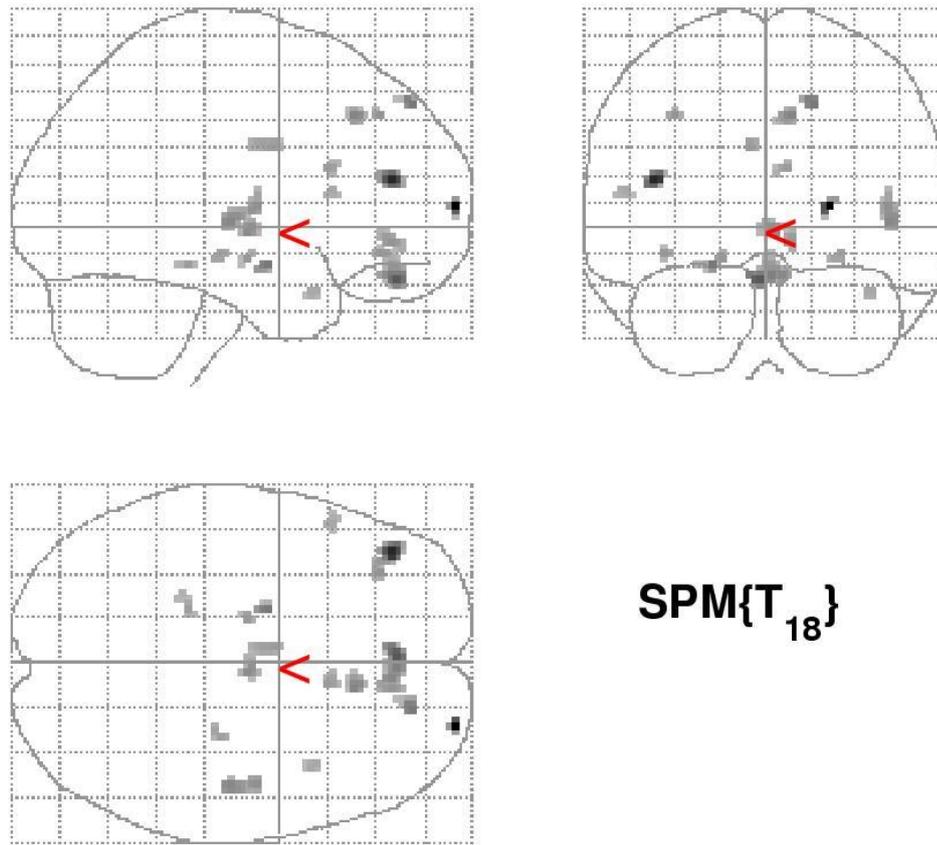


Abbildung 12: Lesen - Mehraktivität in L2 Version B > Version A in Korrelation zu Delta L2.
n=20

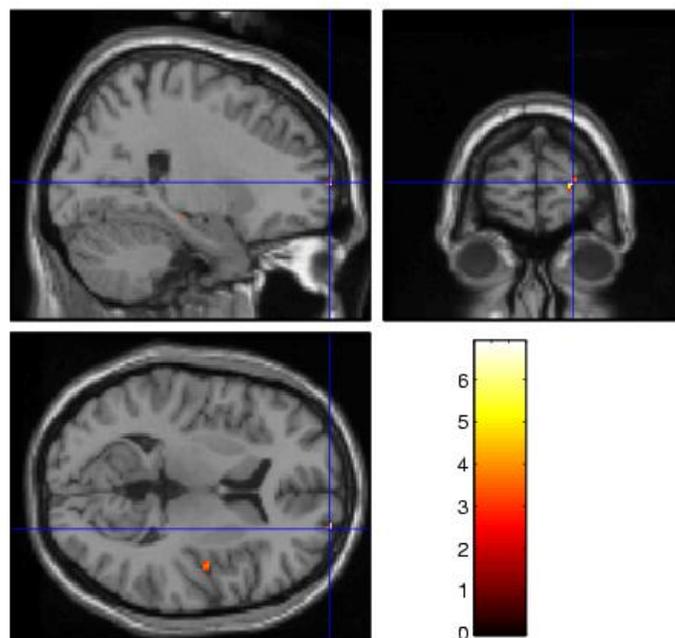


Abbildung 13: Orbitofrontalcortex, Selektion aus Abbildung 12.

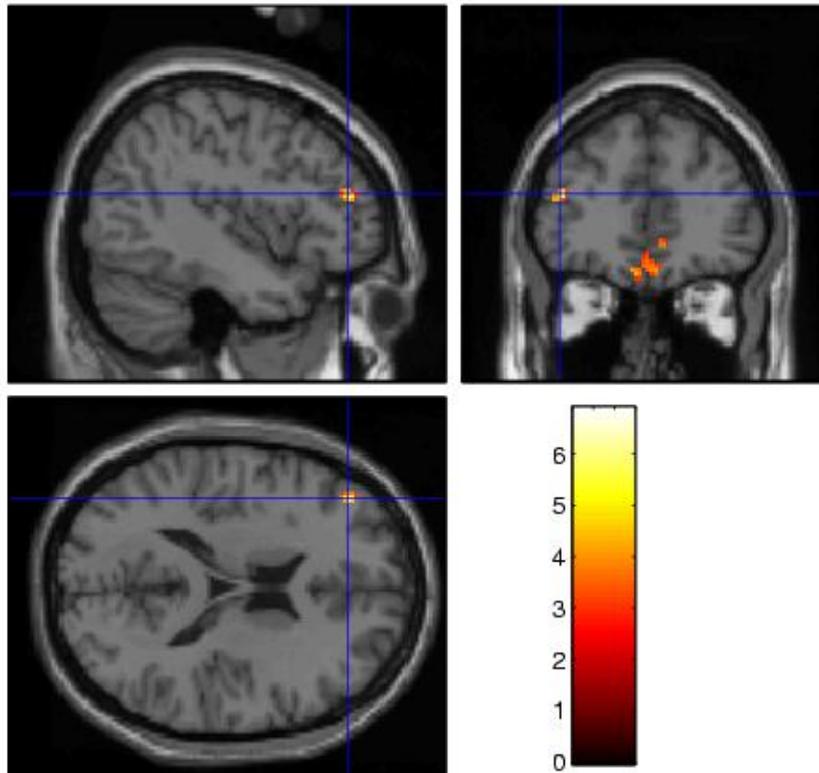


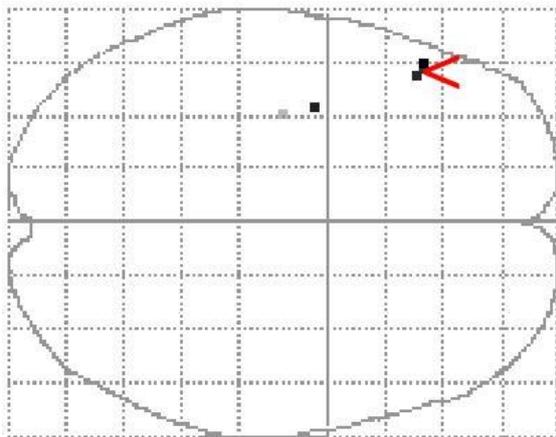
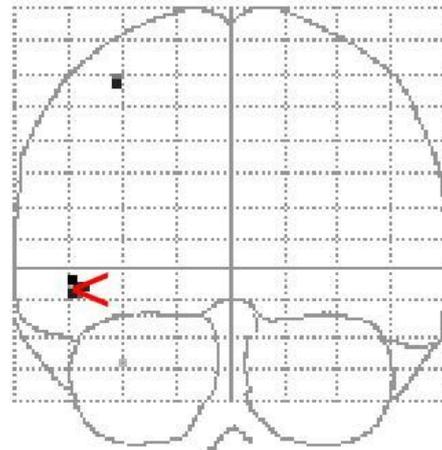
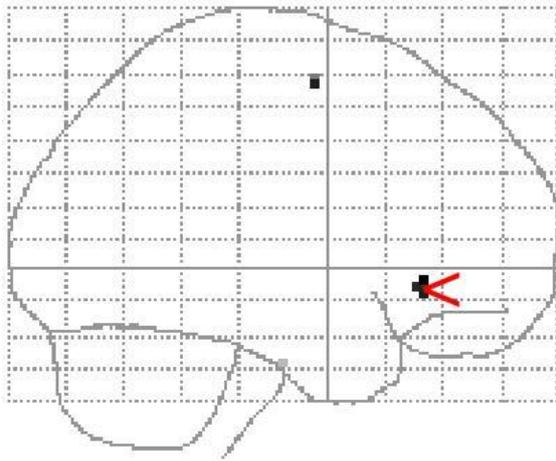
Abbildung 14: BA46, dorsolateraler präfrontaler Cortex, Selektion aus Abbildung 12.

IV.7 c) fMRI: Sprechen

Der Vergleich von Version B > Version A während des Beschreibens der Bilder in L2 und in Korrelation mit Delta L2 ergab keinen Kontrast. Wurde die Gruppe 2 jedoch außer Acht gelassen und nur die Gruppe 1 (Auslandskandidaten) in Betracht gezogen, so stellte sich ein Kontrast in folgenden Regionen dar:

**Tabelle 8: Mehraktivierungen beim Sprechen nach dem Auslandsaufenthalt:
Version B > Version A (nachher > vorher) in Korrelation zur
Sprachkompetenzsteigerung. N=6**

Z-Wert	MNI Koordinaten			BA	Region
	x	y	z		
3,15	-50	30	-4	47	Gyrus frontalis inferior links
3,07	-36	-4	58	6	Gyrus frontalis medius / superior links
2,63	-34	-14	-30	20	Gyrus fusiformis links



SPM{T₄}

Abbildung 15: Kommentieren der Bilder – Mehraktivität in L2 Version B > Version A in Korrelation zu Delta L2. n=6 (nur Gruppe 1)

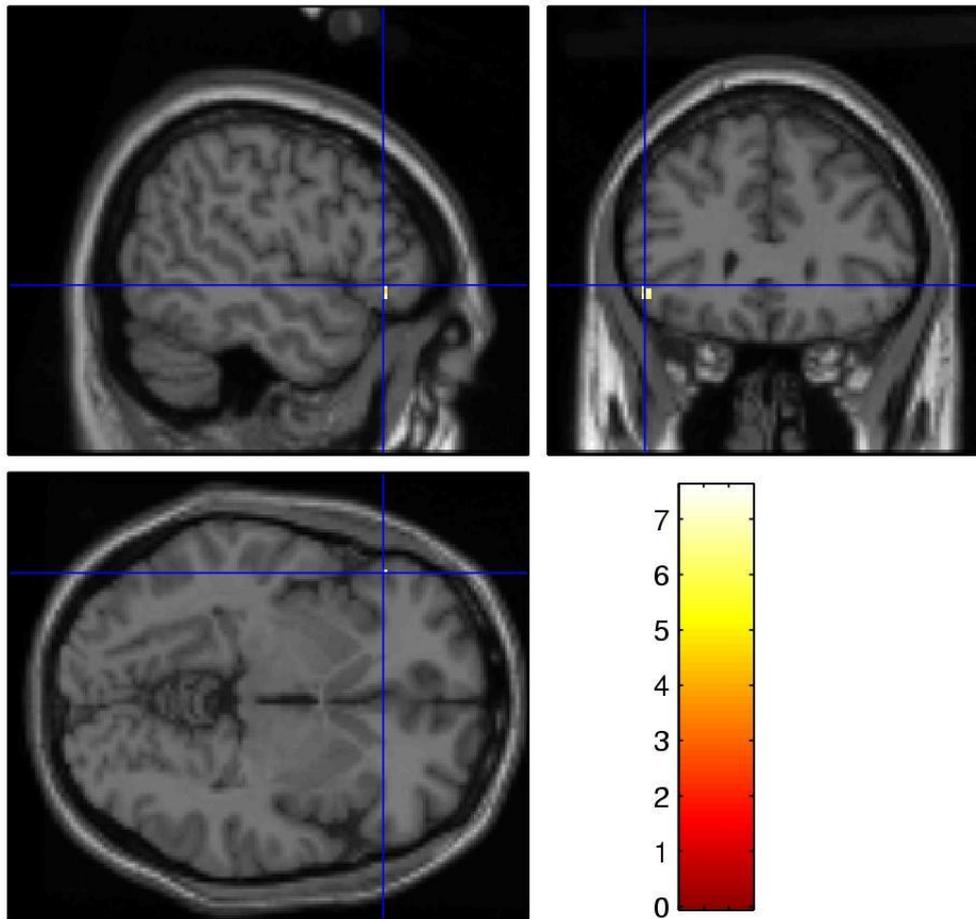


Abbildung 16: BA 47. (Mehraktiviert nach dem Auslandsaufenthalt, Gruppe 1, n=6)

Die stärkste Mehraktivierung war hier in der Brodman Area 47, also im unteren vorderen Broca-Zentrum zu verzeichnen.

IV.7 d) Anatomie

Die 6 Auslandsstudenten zeigten anatomische Variationen nach dem Auslandsaufenthalt. Folgende Graphik und die nachstehende Tabelle zeigen die Punkte vermehrter grauer Substanz bei $p < 0,001$.

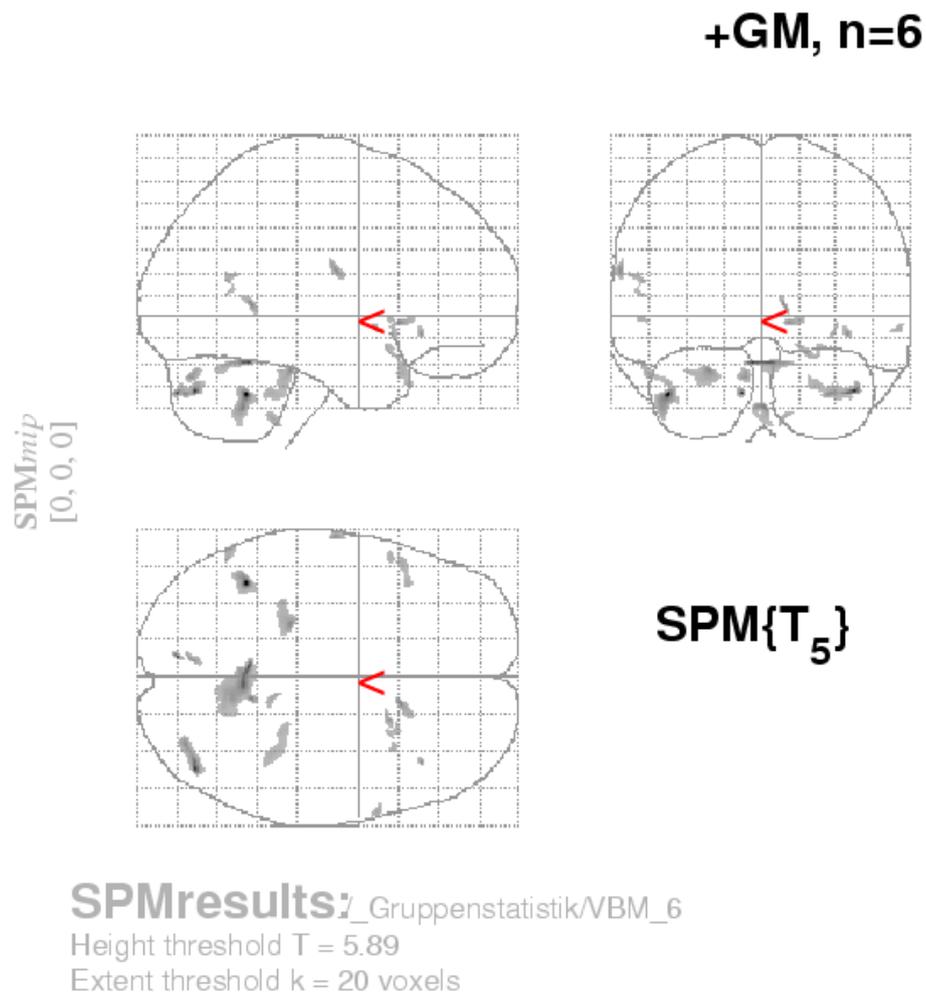


Abbildung 17: Anatomie – Regionen vermehrter grauer Substanz nach dem Auslandsaufenthalt (Version B) gegenüber Version A. n = 6. 20 voxels extent threshold, $p < 0,001$

Tabelle 9: Anatomie – Regionen mit vermehrter Dichte der grauen Substanz nach dem Auslandsaufenthalt der 6 Studenten mit Kompetenzzuwachs in der Fremdsprache L2.

MNI x y z	Talairach (mm)	Z-Wert	Region	BA
Frontal				
39 28 -8	38.6 26.8 -8.1	4,08	Gyrus frontalis inferior (GFi), rechts	47
20 14 -17	19.8 12.8 -14.9	3,91	GFi, rechts	47
33 15 -6	32.7 14.3 -5.8	3,53	GFi, rechts	47
-64 -11 21	-63.4 -9.7 19.8	4,05	Sulcus centralis cerebri (Sc), links	43
Temporal				
-53 -60 16	-52.5 -57.4 17.6	3,97	Gyrus temporalis superior (GTs), links	22
61 9 -6	60.4 8.5 -5.5	3,62	GTs, rechts	22
-42 22 -31	-41.6 20.0 -27.1	3,57	GTs, links	38
-52 20 -26	-51.5 18.3 -22.8	3,54	GTs, links	38
-55 15 -2	-54.5 14.4 -2.4	3,54	Sulcus lateralis cerebri (Sl), links	47
Paramedian / Paracingulär				
10 -48 5	9.9 -46.3 6.9	4,25	Gyrus cinguli (GC), rechts	30
Temporo-mesial				
-34 -35 -25	-33.7 -35.0 -19.3	3,64	Gyrus fusiformis (GF), links	36
-24 -31 -25	-23.8 -31.1 -19.5	4,18	Gyrus parahippocampi (Gh), links	36
Basalganglien				
12 18 -3	11.9 17.3 -3.4	4,21	Nucleus caudatus (NC) rechts	
Cerebellär				
-43 -51 -36	-42,6 -50,9 -27,7	5,15	Cerebellum links	
42 -74 -34	41,6 -73,1 -24,9	4,95	Cerebellum rechts	
31 -79 -35	30,7 -78,0 -25,5	4,14	Cerebellum rechts	
-9 -82 -35	-8,9 -80,9 -25,4	4,89	Cerebellum links	
-4 -50 -21	-4,0 -49,3 -15,2	4,79	Vermis	
4 -52 -21	4,0 -51,3 -15,1	4,61	Vermis	
8 -60 -22	7,9 -59,1 -15,5	3,77	Vermis	
2 -52 -42	2,0 -52,1 -32,7	4,26	Vermis	
5 -53 -50	4,9 -53,4 -39,4	3,15	Vermis	
-8 -76 -28	-7,9 -74,8 -19,8	3,99	Cerebellum links	
8 -37 -50	7,9 -37,9 -40,2	3,77	Cerebellum rechts	
36 -40 -35	35,6 -40,2 -27,4	3,49	Cerebellum rechts	
25 -34 -31	24,7 -34,2 -24,4	3,41	Cerebellum rechts	

V. DISKUSSION

Die hier dargestellten Ergebnisse verdeutlichen noch einmal die typischen sprachassoziierten Hirnregionen. Sie sollen im ersten Teil der Diskussion kurz besprochen werden. In den darauffolgenden Abschnitten befasse ich mich näher mit den funktionellen Änderungen – den mehraktivierten Gebieten – die mit der Sprachkompetenzzunahme einhergehen. Anschließend soll auf die anatomische Plastizität des zentralen Nervensystems und deren zugrundeliegende physiologische Vorgänge eingegangen werden. Zuletzt werde ich die Bedeutung der funktionell bildgebenden Untersuchungen in der Psychiatrie diskutieren.

Vorweg sei noch eine kurze Bemerkung zur Mehraktivierung des Nervengewebes angebracht: Nach einer mittel- bis langfristigen Trainingsphase wie der hier durchgemachten könnte man erwarten, dass während der linguistischen Aufgaben, welche von den Probanden durchgeführt werden, die gleichen Regionen in geringerem Maße aktiviert werden, als vor dem Training. Man ist dazu geneigt, anzunehmen, dass wegen des Trainings nunmehr weniger Ressourcen aufgebracht werden müssen, um den gleichen Prozess zu vollziehen. Das Gehirn hat günstigere Mechanismen gefunden um die Aufgaben zu bewältigen. Es müssen weniger Neuronen rekrutiert werden, um das gleiche, bzw. ein besseres Ergebnis zu erzielen. Demnach würde es sich so verhalten, wie eben auf der praktisch-funktionellen Ebene: Je mehr die Leute an der Sprache arbeiten und trainieren, desto weniger aufwändig wird es nachher für sie sein, die Sprache fließend anzuwenden. Es ist vergleichbar mit einer Art Automatisierungsprozess. Nun ist es aber so, dass bestimmte Regionen, hier speziell der DLPF Cortex nicht weniger, sondern im Gegenteil sogar vermehrt aktiviert werden. Geht man von dem im vorigen Gesagten aus, so muss man schlussfolgern, dass die Trainingsphase nicht zu einer Entlastung, also nicht zu einer erleichterten Tätigkeit, sondern zu einer Mehrbelastung der beanspruchten neuronalen Struktur geführt hat. Man kann das Ergebnis aber auch so interpretieren, dass sich durch das Training, wie bei einem Muskel, die Fähigkeit zur Aktivität in dieser Region verbessert hat; es hat sich eine verbesserte Durchblutungsinfrastruktur und -dynamik in der Region etabliert. Das vermehrt

beanspruchte Gewebe stellt mehr Arbeitskraft zur Verfügung. Dies führt uns zu der schon in der Einleitung erwähnten „Trainierbarkeit“ des Nervengewebes, im weitesten Sinne vergleichbar mit dem Trainingseffekt des Gewichthebens auf die quergestreifte Muskulatur.

V.1 Die Sprachverarbeitungsprozesse

Beim Lesen eines Textes werden im Vergleich zum Ruhezustand (nichts tun) die schon in der Einleitung beschriebenen Regionen aktiviert (visueller Kortex, obere Temporalregion, Broca-Region) (Price et al., 1996). In meiner Studie habe ich das Lesen von sinnvollen Sätzen mit dem Lesen von sinnfreien Wörtern, bestehend aus unterschiedlichen Anzahlen von A's, verglichen. Dabei zeigten sich beim Lesen der Muttersprache einzelne vermehrte Aktivierungen vor allem im links-temporalen Bereich, frontal (Gyrus präcentralis), sowie hippocampal (Lesen: L1 > Aa, Abbildung 6, Tabelle 2). Die Ergebnisse schneiden sich teilweise mit denen von Brunswick, welcher noch vermehrte frontale Aktivierungen beim Vergleich von Wörtern zu Pseudowörtern verzeichnete (Brunswick et al., 1999). Die Ergebnisse zeigen diejenigen Regionen, die speziell bei der Verarbeitung der semantischen Eigenschaften von Wörtern impliziert sind, die bei Pseudowörtern wegfallen.

Bei der Sprachproduktion erhielt ich ganz ähnliche Aktivierungsmuster im Vergleich L1 > Bla und L2 > Bla (siehe Abbildungen 7 und 8 im Ergebnisteil). Diese mehraktivierten Zonen repräsentieren die spezifischen Sprachproduktionsgebiete, also diejenigen Areale, die bei der Sinnsprache und nicht bei sinnlosen Lauten (Bla) gebraucht werden. Es sind dies überwiegend linkshemisphärische motorische und prämotorische Regionen die auch das Broca Zentrum einschließen, sowie zerebelläre Regionen. Diese Gebiete sind als feinmotorische Steuerungszentren des Sprachapparates zu deuten, die bei der (auch gedanklichen) Bildung von differenzierten Wörtern und zusammenhängenden Sätzen zum Einsatz kommen, und bei der Bildung grober, sinnfreier Silben keine Aktion zeigen. Die hierzu passenden Graphiken im Ergebnisteil (Abbildungen 7 bis 9) weisen große Übereinstimmungen mit Abbildung 3 aus der Einleitung auf. Sie zeigen deutlich die typischen Sprachaktivierungsmuster mit Beteiligung der Occipitalregion (Aktivierung der

Sehrinde beim Anschauen der Bilder), des Wernicke-Zentrums, des Broca-Zentrums und des primär motorischen Cortex.

V.2 Muttersprache versus Fremdsprache

Die Ergebnisse aus den Abschnitten IV.5 und IV.6 verdeutlichen die funktionell-neuronalen Unterschiede beim Sprachgebrauch von Mutter- und Fremdsprache. Beim Sprechen in L1 aktivierten sich vermehrt bilateral temporo-occipitale und frontale Regionen (Siehe Abbildung 10 und Tabelle 4). Beim Sprechen in L2 hingegen prädominierten paramediane, insbesondere pericallöse und limbische Strukturen (Siehe Abbildung 11 und Tabelle 5). Diese differenten regionalen Betonungen bei der Aktivierung suggerieren einen mehr emotional verflochtenen Sprachproduktionsmechanismus beim Gebrauch von L2 (limbisches System). Hier sei auch an die vermehrte emotionale Beteiligung bei Forderung von Fremdsprachengebrauch beim Individuum und der damit einhergehenden Aufregung gedacht.

Die Mehraktivierungen bei der Sprachproduktion in L1, vorwiegend in den dorsalen Temporalregionen beidseits, korrelieren zum Teil mit den von Price in einem aktuellen Review zusammengefassten Regionen, die insbesondere bei der semantischen Erkennung von Wörtern eine Rolle spielen, und somit bei dem größeren Wortschatz und der erweiterten lexikalischen Breite in der Muttersprache im Vergleich zur Fremdsprache vermehrt zum Einsatz kommen (Price, 2010).

V.3 Vergleich vorher – nachher

Die hier erhaltenen Ergebnisse decken die dem Spracherwerb zugrundeliegenden neurophysiologischen Vorgänge weiter auf. Sie zeigen uns, was parallel zur Sprachkompetenzsteigerung im Gehirn passiert. Die linguistisch gemessenen Verbesserungen werden durch die physiologischen Befunde bestätigt und untermauert.

Schaut man sich die Ergebnisse des vorher-nachher Vergleichs auf den Gehirnmodellen an (Abbildungen 12, 13 und 14 für das Lesen und Abbildungen 15, 16 für die Sprachproduktion), so sieht man, dass einige kortikale Regionen stark mit der Kompetenzzunahme (Delta L2) korrelieren. Diese longitudinal angelegte fMRI Studie zeigt also, dass es verschiedene Zentren oder Schaltkreise gibt, welche in ihrer Aktivierung parallel mit der Sprachbeherrschung ansteigen. Grob gesehen, kann man dieses gesamte Muster an dargestellten Aktivierungen als „Sprachkompetenznetzwerk“ ansehen. Innerhalb dieses Netzwerkes gibt es nun Locations die mehr oder weniger stark aktiviert wurden. In den nachfolgenden zwei Abschnitten werde ich die am stärksten mehraktivierten Areale genauer analysieren.

V.3 a) Lesen B > A (alle) korrel. DeltaL2

Orbitofrontaler Cortex und emotionale Belohnung

Die stärkste Mehraktivierung beim Lesen ($Z=4,76$) war im rechten orbitofrontalen Cortex zu verzeichnen. Diese Region spielt eine Rolle bei der positiven emotionalen Bewertung und Verstärkung während eines Erfolgserlebnisses. Wegen dieser emotionalen Komponente wird das Gebiet von manchen Autoren auch zum limbischen System gerechnet. Es registriert die eigene Leistung und belohnt den Kandidaten mit dem Gefühl der Zufriedenheit und Selbstschätzung (Kringelbach, 2005).

Im Rahmen unserer Untersuchung kann dieses Ergebnis dahingehend interpretiert werden, dass die Kandidaten mit stärkerer Kompetenzzunahme (größeres Delta L2) auch ein stärkeres Gefühl der Befriedigung und Selbstbelohnung während der Erledigung der Aufgaben entwickeln. Dazu könnte man sich einen Regelmechanismus mit positivem Feedback vorstellen:

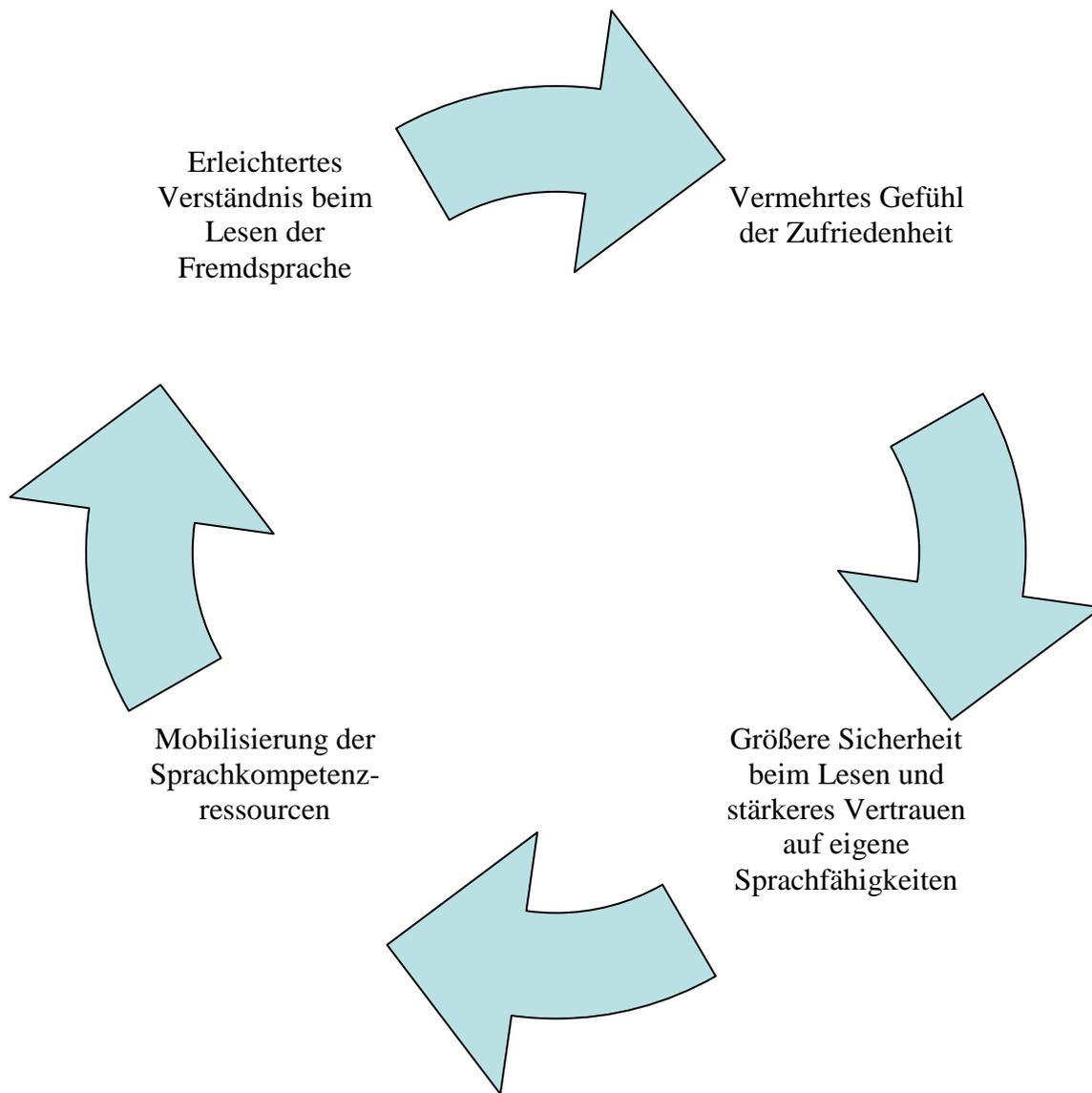


Abbildung 18: Schematisierung des positiven Feedbacks bei Selbstbelohnung

Der Dorsolaterale Präfrontale Cortex – Vom Arbeitsgedächtnis zum Sprachkompetenzareal

Wir haben gesehen, dass unter anderem auch der linkshemisphärische DLPFC stark vermehrt aktiviert wird. Diesem Gebiet wurde eine Bedeutung beigemessen für das Langzeitgedächtnis (long term memory, LTM) und das Arbeitsgedächtnis (Working memory, WM) (Blumenfeld et al., 2006; Marklund et al., 2007; Murray et al., 2007). Man kann sich vorstellen, dass sich das Langzeitgedächtnis während des Auslandsaufenthaltes weiter ausgebildet hat, dass sich mehr und mehr Wörter, Ausdrucksformen, Wendungen, Formulierungen in das

Gedächtnis festgesetzt haben, welches nun während der zweiten Lesesitzung vermehrt beansprucht wird. Durch die ständige Exposition an die Zweitsprache prägen sich neue Vokabeln immer fester ein. Nach und nach werden sie zu Bestandteilen des dauerhaft Gespeicherten. Die neuronalen Netzwerke des Gedächtnisses werden konsolidiert und erweitert; neue Verknüpfungen werden hergestellt, die Zugriffsmöglichkeiten und –Geschwindigkeiten auf die verschiedenen Sprachelemente werden ausgebaut beziehungsweise erhöht. Blumenfeld zeigte, dass die Tätigkeit der semantischen Verknüpfung von Wörtern einer Fremdsprache mithilfe der working Memory auch das Langzeitgedächtnis positiv beeinflusst. Das Arbeitsgedächtnis kann mit dem Arbeitsspeicher eines Computers verglichen werden (RAM = random access memory): Es ermöglicht uns, Wörter, Zahlen oder sonstige sensorische Inputs über kurze Dauer zu behalten, um damit „arbeiten“ zu können. Z.B. das Nachsprechen einer Telefonnummer oder die Erinnerung an den Anfang eines Satzes, wenn man beim Lesen an dessen Ende angekommen ist. Wie beim Computer ist der Arbeitsspeicher in seiner Kapazität begrenzt, besitzt aber eine relativ schnelle Zugriffszeit. Die Daten darin werden auch nicht dauerhaft gespeichert sondern nur für den aktuellen Gebrauch bereitgestellt. Wird das Arbeitsgedächtnis häufiger beansprucht, werden semantische Verbindungen hergestellt, dann gehen die Elemente langsam in das Langzeitgedächtnis über. Der DLPFC scheint eine Rolle bei der Vermittlung zwischen diesen beiden Instanzen zu spielen.

In einer fMRI-Vorstudie von Franceschini und Krick (Franceschini et al., 2004) mit ganz ähnlichem Paradigma wie es auch in der vorliegenden Studie benutzt wurde, wurde dieses kortikale Gebiet schon als eine Art Sprachkompetenz-Zentrum identifiziert. Dabei zeigten sich im DLPFC, besonders in der Brodmann Area 46, vermehrte Aktivierungen bei Menschen mit erhöhter Sprachkompetenz (Dolmetschern, Sprachstudenten). Die Aktivierung war am stärksten zu dem Zeitpunkt des Sprachwechsels im Paradigma (code-switching). Diese Ergebnisse korrelieren ganz gut mit denen der vorliegenden Arbeit. Unsere Studie ergänzt die zuvor gewonnenen Erkenntnisse aber um den Faktor der Zeit: Man sieht, dass die Aktivierungen nicht fixiert sind, also kein fixes, charakteristisches Muster eines Individuums darstellen, sondern mit der Zeit auch intraindividuell variieren können. Dabei hängt die Ausprägung dieser Variierung von der äußeren Beeinflussung ab (in unserem Fall, die Forderung nach besserer Sprachbeherrschung, die Förderung der

Sprachkompetenz). Die vermehrte Aktivierung des DLPFC ist also nicht unbedingt ein angeborenes Charakteristikum, sondern durchaus formbar; sie kann sozusagen antrainiert werden. Dies führt dahin zu sagen, dass Talente nicht notwendigerweise kongenital sind, sondern *potentiell* jeder zu einem Talent ausgebildet werden könnte. Der Dolmetscher entsteht nicht aufgrund einer schon vorhandenen Begabung, sondern er bringt die Begabung selbst hervor. Die gemessene vermehrte Aktivierung, welche mit besserer Sprachkompetenz einhergeht, hat sich über einen gewissen zeitlichen Raum entwickelt. Diese Studie zeigt, dass die Aktivierung bei einem Individuum bei entsprechendem Training tatsächlich parallel mit der Sprachkompetenz ansteigt.

Die bereits in der Einleitung angeführte fMRI Studie von Saur stützt diese These noch weiter: Er verzeichnete Aktivierungen dieses Rindengebietes bei L2-Späterlernern (AOA = 10 a.) während des Hörens eines Textes in L2, wobei diese Aktivierung bei L2-Früherlernern (AOA < 3 a.) ausblieb. Dies deutet darauf hin, dass ein späteres Erlernen, oder Verbessern einer Fremdsprache einen Einfluss auf den DLPFC haben kann und unterstreicht dessen Rolle und Bedeutung als Sprachausbau- und Formationszentrum beim Adulten. Außerdem untermauert diese Studie die in der Einleitung dargestellte Hypothese der unterschiedlichen Sprachakquisitionsmechanismen in Abhängigkeit vom Akquisitionsalter (Saur et al., 2009).

V.3 b) Sprechen B > A (n=6) korrel. DeltaL2

Broca Zentrum

Gab es bei den Auslandskandidaten eine Verbesserung im Sprachtest, so kam es auch zu einer Mehraktivierung im Broca-Zentrum (linksseitiger Gyrus frontalis inferior, BA 47). Je größer die Delta L2 war, desto ausgeprägter war auch die Mehraktivierung (positive Korrelation). Das Broca Zentrum wird allgemein als das motorische Sprachzentrum angesehen. Paul Broca hatte festgestellt, dass Läsionen im Bereich des linksseitigen inferioren Frontalcortex (unmittelbar ventral des Gyrus praecentralis und oberhalb der sylvischen Fissur - Sulcus lateralis) regelmäßig zu einer Aphasie führen, dies ist die Unfähigkeit sich der Sprache zu bedienen (Broca,

1863). Carl Wernicke differenzierte dann noch eine sensorische und eine motorische Aphasie. Bei der sensorischen Aphasie ist vor allem das Sprachverständnis gestört. Bei der motorischen Aphasie (Broca-Aphasie) wird die Sprachproduktion unmöglich, das Sprachverständnis bleibt aber erhalten; das Formulieren von Sätzen, das korrekte Anwenden von Syntax und Grammatik gelingt nicht mehr. Die Broca Aphasie ist charakterisiert durch das Unvermögen, die muskulären Sprechwerkzeuge so fein zu koordinieren, dass es zur schnellen Produktion von korrekten Silben, Wörtern, Phrasen und Sätzen kommen kann. Das bedeutet allerdings nicht, dass die beteiligten neuromuskulären Effektoren geschädigt sind; letztere sind weiterhin einsatzbereit, können allerdings zentral nicht mehr ausreichend kontrolliert und koordiniert werden. Diese Feinarbeit der Wörter- und Satzgebung wird also dem Broca-Zentrum zugeschrieben. In diesem Areal haben wir nun unsere Mehraktivierung verzeichnet. Ich interpretiere diesen Umstand so, dass sich die sprachmotorischen Vorgänge während des Auslandsaufenthaltes weiter ausgebaut und verfeinert haben. Dies passiert am wahrscheinlichsten über unbewusste Imitationsvorgänge. Es ist anzunehmen, dass durch den ständigen intensiven Kontakt zur Fremdsprache permanente, größtenteils bewusstseinsunterschwellige Ausbesserungs- und Anpassungsanstrengungen gemacht werden. Wegen der eingeschränkten oder fehlenden Experimentierfreiheit beim Erwachsenen vollzieht sich dieser Prozess aber weitaus langsamer als beim Kleinkind. Deshalb wird der erwachsene Spracherlerner nur in sehr seltenen Fällen die perfekte Aussprache in der Fremdsprache erreichen; er kann sich der natürlichen Aussprache des Muttersprachlers oftmals nur asymptotisch annähern, sodass für den Muttersprachler in den allermeisten Fällen immer noch ein leichter „Akzent“ herauszuhören ist.

V.4 Anatomische Plastizität

Die Ergebnisse der VBM-Analyse (voxel-based morphometry) zeigt bei den 6 Auslandsstudenten nach 6 Monaten strukturelle Variationen an verschiedenen Stellen der grauen Substanz. Diese Änderungen betreffen vor allem Kleinhirnstrukturen, den Nucleus caudatus und mesio-temporale sowie temporale Regionen, wie die Graphik N° 17 und Tabelle N° 9 es illustrieren. Sie weisen einen Anstieg der Dichte der grauen Substanz auf. Obwohl man bei dieser kleinen Anzahl

an Probanden mit der Interpretation der Ergebnisse eher zurückhaltend sein sollte, kann man doch auf ihren richtungsweisenden Charakter hindeuten: Ein Zuwachs an grauer Substanz mit Betonung in der Kleinhirngegend könnte das morphologische Korrelat der Verbesserung der sprachlichen Feinmotorik während des Auslandsaufenthaltes sein. Die Zunahme um die Hippocampus-assoziierten medialen temporalen Regionen könnte auf die vermehrte Beanspruchung von Strukturen zurück zu führen sein, welche in der Anwendung und Verarbeitung grammatikalischer Prozesse implementiert sind. Dolan konnte zeigen, dass diese Regionen bei der Kodierung und dem Wiederfinden von Wörtern eine Rolle spielen. Hierzu entwarf er ein artifizielles grammatisches Regelsystem, das den Probanden vorgeführt wurde. Während der Erlernungsphase, dem Erkennen und der Reaktion auf neuartige Reize wurden vor allem anteriore MTL (medial temporal lobe) Strukturen aktiviert. Bei späterer Anwendung, also während der „Wiedererkennungsphase“, nachdem sich die Probanden die Regeln und Muster angeeignet hatten, prädominierten posteriore MTL (Dolan et al., 1999; Strange et al., 1999).

Einige Forschungsergebnisse zeigen, dass das Volumen an vorhandener grauer Substanz beim erwachsenen Menschen mit bestimmten Fähigkeiten korreliert. So konnte Sluming et al. zeigen, dass das Broca Zentrum (linker Gyrus frontalis inferior) von professionellen Musikern vermehrt graue Substanz besitzt im Vergleich zu gematchten Nicht-Musikern (Sluming et al., 2002). Eine andere Studie von Maguire et al. analysiert das Hippocampus-Volumen von erfahrenen Londoner Taxi-Fahrern und zeigt, dass diese vergrößerte Hippocampi im Vergleich zu einer Kontrollgruppe haben (Maguire et al., 2000). Auch die bereits erwähnte Querschnittsstudie von Franceschini et al. zeigt eine positive Korrelation von grauer Substanz im DLPFC zur Sprachkompetenz unterschiedlicher Populationen (Medizinstudenten, Sprachstudenten, Dolmetscher). Die VBM-Analyse ergab für den Kontrast „Sprachstudenten > Medizinstudenten“ in der grauen Substanz folgendes Bild:

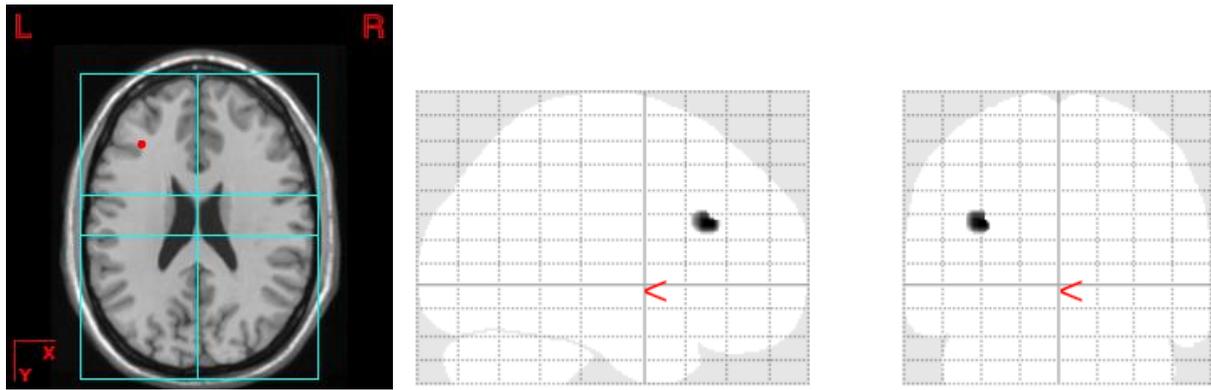


Abbildung 19 : VBM-Analyse von 22 Sprachstudenten versus 19 Medizinstudenten. Der Kontrast ergab mehr graue Substanz in BA46 (Talairach-Koordinaten: -31.7 29.3 22.5) in den Gehirnen der Sprachstudenten. Daten aus der Studie von Franceschini et al. (2004).

Tatsächlich stehen heute Daten zur Verfügung welche uns zeigen, dass das Erlernen und Trainieren eines koordinierten Bewegungsablaufes (in diesem Fall Jonglieren) beim Menschen einen Zuwachs an grauer Substanz im Cortex verursachen können (Draganski et al., 2004). Im Spezielleren handelte es sich hier um links- und rechtsseitige mittel-temporale Areale (hMT/V5) die bei der visuellen Perzeption von Bewegungen eine zentrale Rolle spielen. Diese Beobachtungen zeigen, dass eine mentale Tätigkeit – der Wille, die Motivation, das Konzentrieren, welche die Bewegungsabläufe überhaupt verursachen – der Ausgangspunkt für eine messbare anatomische Variation im Cortex ist. Interessanterweise ließ sich auch nachweisen, dass das vermehrte Volumen an grauer Substanz nach Sistieren des Trainings wieder rückläufig war. In seinem Artikel schreibt Draganski, dass diese Entdeckung der Stimulus-abhängigen Alteration in der makroskopischen Struktur des Gehirns der traditionellen Sicht, wonach kortikale Plastizität eher auf funktionellen denn auf anatomischen Änderungen beruht, widerspricht. Eine nachfolgende Untersuchung ließ annehmen, dass die strukturellen Veränderungen im Gehirn eher durch qualitative Änderungen – also dem Erlernen einer neuen Aufgabe – denn durch kontinuierliches Trainieren einer bereits bekannten Aufgabe verursacht wird (Driemeyer et al., 2008). Die beiden letztgenannten Studien wurden an jungen 20-jährigen Probanden durchgeführt. Um zu zeigen, dass es sich dabei nicht um einen Effekt auf junge, sich noch in Entwicklung befindenden Gehirnen handelt, wurde eine zusätzliche Studie mit der gleichen Aufgabe (Erlernen des Jonglierens mit 3 Bällen) mit älteren Probanden durchgeführt. Diese wiesen ebenfalls bei entsprechendem Training eine erhöhte Dichte an grauer Substanz an der gleichen Stelle auf. Dieser

Tatumstand zeigt, dass nicht nur jugendliche, ohnehin noch plastische Gehirne, sondern auch reifere, definitiv ausgewachsene noch über strukturelle Plastizität verfügen. Die älteren Probanden erreichten allerdings nicht die gleiche Performance beim Jonglieren wie die jungen.

Wie schnell signifikante anatomisch-neuroplastische Phänomene im Gehirn provozierbar sind konnte Teutsch in einer VBM-basierten Studie zeigen: Er untersuchte 14 gesunde Probanden, die täglich über 8 Tage mit Schmerz-Stimuli „behandelt“ wurden. Schon nach einer Zeitspanne von nur 8 Tagen konnten bedeutsame Volumenzunahmen an grauer Substanz in schmerzverarbeitenden Regionen, unter anderem im Cingulum und im somatosensorischen Cortex, nachgewiesen werden (Teutsch et al., 2008). Auch hier waren die Veränderungen nach Sistieren des Stimulus wieder rückläufig, wie ein letzter Scan ein Jahr nach dem Experiment zeigte. Dieses Phänomen verdeutlicht die Reversibilität solcher neuronaler Umbauprozesse.

Wie in der Einleitung bereits angedeutet wurde, ist das mikroskopische Korrelat der makroskopischen, bildgeberisch dargestellten Veränderungen zunächst nicht genau definierbar. Es lassen sich aber einige Hypothesen eingrenzen. Erstens könnte es sich bei der vermehrten Gewebemasse um neuronales Stützgewebe handeln, also um proliferierte Gliazellen. Zweitens könnten sich vermehrt Dendriten, also Zellfortsätze von Neuronen oder neue Synapsen gebildet haben. Drittens könnten sich die Neuronen selbst in ihrer Zahl vermehrt haben. Die erste Hypothese lässt sich einfach nachvollziehen indem man postuliert, dass vermehrt beanspruchte Neuronen einen höheren Energiebedarf haben, und sich zur besseren Substratversorgung und Funktionsunterstützung die umgebende Neuroglia expandiert. Die zweite Hypothese wird unter anderem gestützt von Trachtenberg und Holtmaat. Beide untersuchten mit einer speziellen invasiven Technik in vivo bei Mäusen die Variation der mikroskopischen neuronalen Architektur als Folge neuer sensorischer Erfahrungen. Hierzu wurde den Mäusen eine bestimmte Anzahl an Barthaaren entfernt. Es stellte sich heraus, dass diese Triggerung tatsächlich einen Einfluss auf die Synapsenbildung hatte. Auf den Stimulus hin bildeten sich nämlich vermehrt zelluläre Aussprosse, Dendriten, und stabilere Synapsen. Im Normalzustand zeigen die Neuronen ein ständiges Auftauchen und Verschwinden von kleinen dendritenartigen Auswüchsen, nach dem Abtrennen der Barthaare

allerdings ist das Turn-over deutlich erhöht und die Ausbildung bestehender Synapsen verstärkt (Trachtenberg et al., 2002; Holtmaat et al., 2008). Die dritte Hypothese wird unter anderem vertreten von Shors und Gould. Sie konnten nachweisen, dass sich als Reaktion auf einen Lern- / Training-Stimulus bei Mäusen vermehrt Neuronen aus Stammzellen bilden; diese neuen Neuronen finden sich hier im Hippocampus (Gould et al., 1999; Shors, 2008). Die Differenzierung solcher sich im Hippocampus befindender Stammzellen in neue Neuronen wurde schon 1993 von Cameron am Rattenhirn beschrieben (Cameron et al., 1993).

V.5 Fazit

Die beschriebenen Veränderungen sprechen für eine auch im Erwachsenenalter wohl vorhandene Stimulus-abhängige Plastizität des Gehirns.

Zudem ist die Richtung des plastischen Vorgangs bahnbar. Ein längerer studentischer Auslandsaufenthalt – wie in diesem Falle – führt nicht nur zur nachweisbaren Verbesserung der Fremdsprachenkenntnis (wie unser Sprachtest gezeigt hat), sondern auch zu messbaren Aktivierungsveränderungen im Gehirn. Extrapoliert man diese Erfahrung auf die Anwendung der Psychotherapie bei psychischen Erkrankungen, so ergeben sich neue, positive Perspektiven was die Veränderbarkeit und Umkehrbarkeit festgefahrener krankmachender intrapsychischer Vorgänge betrifft. Diesbezüglich könnten weiterführende longitudinale fMRI Studien mit psychotherapeutisch behandelten Patienten zu Bestätigungen und weiterer Fundierung dieser These führen. In der Fachliteratur gibt es bereits mehrere Arbeiten die sich mit der funktionell-bildgeberischen Darstellung der den psychotherapeutischen Behandlungen zugrunde liegenden neurobiologischen Prozesse beschäftigen. So hat z.B. Paquette in einer fMRI Studie die Effekte der kognitiven Verhaltenstherapie auf die Spinnenphobie untersucht, indem Patienten vor und nach der Behandlung einer funktionellen Kernspin-Scan Session unterzogen wurden, wobei die Probanden dem phobischen Stimulus ausgesetzt wurden. Heraus kam eine deutliche Aktivierungsminderung der Regionen, die speziell bei Phobikern vor der Therapie sensibler auf die phobogenen Reize reagierten, in diesem Fall der

rechtsseitige dorsolaterale präfrontale Kortex und der Gyrus parahippocampalis (Paquette et al., 2003). Eine ähnliche Studie wurde von Straube durchgeführt: Hierbei wurden auch Patienten mit Arachnophobie mittels kognitiver Verhaltenstherapie behandelt und einmal vor sowie einmal nach der Therapie mittels fMRI untersucht. Zugleich wurde eine Kontrollgruppe von Patienten mit Spinnenphobie, welche keine Therapie bekam, ebenfalls untersucht. Die Ergebnisse zeigten auch hier einen deutlichen Rückgang der anfangs vorhandenen Mehraktivierung bestimmter Hirnregionen nach der CBT (cognitive behavioral therapy); bei den Kontrollpatienten blieb das pathologische Aktivierungsmuster weiterhin bestehen (Straube et al., 2006). In einem Review analysiert Roffmann 14 funktionell bildgeberische Studien, die sich zum Ziel gesetzt hatten, die neurobiologischen Effekte der Psychotherapie darzustellen; er kommt zu dem Schluss, dass die gemessenen Veränderungen nicht minder ausgeprägt sind als bei pharmakologischer Behandlung. Insgesamt konnte mehr oder weniger gleichermaßen eine Abnahme der pathologischen Überaktivierung angstassoziierter Areale mithilfe psychotherapeutischer Verfahren bei Angststörungen erzielt werden (Roffmann et al., 2005). Ein weiteres Review hierzu stammt von Linden: Er kommt zu ähnlichen Schlüssen und diskutiert die Zweckmäßigkeit einer Verlaufskontrolle mittels funktioneller Bildgebung bei Patienten in psychotherapeutischer Behandlung. Er unterstreicht die Ähnlichkeit der Aktivitätsveränderung mit der Behandlung mit Psychopharmaka (Linden, 2006). Auch Mitterschiffthaler hebt die Bedeutung der funktionellen Bildgebung in der Psychiatrie in einem Review hervor; sie resümiert die messbaren Veränderungen bei ADHS (Aufmerksamkeits-Defizit Hyperaktivitätssyndrom), Depression und Zwangsneurose (Mitterschiffthaler et al., 2006). Beutel berichtet über die nachweisbaren Effekte der Psychotherapie auf das Gehirn bei unterschiedlichen Erkrankungen (Zwangsstörungen, Depressionen, Phobien, Panik und Borderline-Persönlichkeitsstörungen) und schreibt dass „die traditionelle Trennung zwischen pharmakologischen Verfahren, die ‚auf das Gehirn wirken‘, und psychologischen Verfahren, die bewirken, dass sich ‚der Patient besser fühlt‘, obsolet sind“ (Beutel, 2006).

Psychomodulierende Verfahren können also definitiv die Funktionsweise des Gehirns beeinflussen und gezielt ändern. In einem Artikel widmet sich Beauregard diesem Thema und unterstreicht dabei auch die Bedeutung der Erwartungshaltung

und des Placeboeffektes auf die neurophysiologischen Vorgänge (Beauregard, 2009).

Eine VBM Studie von Lange aus dem Jahr 2008 mit 22 Patienten, die an einem chronic fatigue Syndrom litten, und 22 Kontrollprobanden weist eine signifikante Vermehrung der grauen Substanz in frontalen Regionen nach erfolgreicher kognitiver Verhaltenstherapie auf (Lange et al., 2008). Die Änderung des Volumens korrelierte mit Verbesserung der kognitiven Schnelligkeit der Patienten nach der Therapie. Diese Ergebnisse zeugen von dem großen Potential solcher therapeutischer Ansätze und belegen die schon in der Einleitung angeführten Einflussmöglichkeiten kognitiver Prozesse auf die Anatomie des Gehirns (*Psychosomatik*).

VI. LITERATURVERZEICHNIS

1. Barkataki I, Kumari V, Das M, Taylor P, Sharma T (2006) – Volumetric structural brain abnormalities in men with schizophrenia or antisocial personality disorder. Behavioural Brain Research 169:239-247

2. Beauregard M (2009) – Effect of mind on brain activity: evidence from neuroimaging studies of psychotherapy and placebo effect. Nord J Psychiatry 63:5-16

3. Beutel ME (2006) – Psychische Störungen und Psychotherapieeffekte in der funktionellen Bildgebung. Bundesgesundheitsbl - Gesundheitsforsch - Gesundheitsschutz 49:749–758

4. Bloch C, Kaiser A, Kuenzli E, Zappatore D, Haller S, Franceschini R, Luedi G, Radue EW, Nitsch C (2009) – The age of second language acquisition determines the variability in activation elicited by narration in three languages in Broca's and Wernicke's area. Neuropsychologia 47:625-633

5. Blumenfeld RS, Ranganath C (2006) – Dorsolateral prefrontal cortex promotes long-term memory formation through its role in working memory organization. J Neurosci. 26:916-25.

6. Broca P: Localisations des fonctions cérébrales. Siègè de la faculté du langage articulé. Bulletin de la Société d'Anthropologie, 1863, tome IV: 200-208.

7. Brunswick N, McCrory E, Price CJ, Frith CD, Frith U (1999) – Explicit and implicit processing of words and pseudowords by adult developmental dyslexics. *Brain* 122:1901-1917

8. Cameron HA, Woolley CS, McEwen BS, Gould E (1993) – Differentiation of newly born neurons and glia in the dentate gyrus of the adult rat. *Neuroscience* 56:337-344

9. De Lange FP, Koers A, Kalkman JS, Bleijenberg G, Hagoort P, van der Meer JW, Toni I (2008) – Increase in prefrontal cortical volume following cognitive behavioural therapy in patients with chronic fatigue syndrome. *Brain* 131:2172-2180

10. Dehaene S, Dupoux E, Mehler J, Cohen L, Paulesu E, Perani D, Moortele v d PF, Lehericy S, Le Bihan D (1997) – Anatomical variability in the cortical representation of first and second language. *NeuroReport* 8:3809-3815

11. Dolan RJ, Fletcher PF (1999) – Encoding and retrieval in human medial temporal lobes: an empirical investigation using functional magnetic resonance imaging (fMRI). *Hippocampus* 9:25-34

12. Draganski B, Bogdahn U, Busch V, Gaser C, May A, Schuierer G (2004) – Changes in grey matter induced by training: Newly honed juggling skills show up as a transient feature on a brain-imaging scan. (brief communication) *Nature* 427:311-312

13. Driemeyer J, Boyke J, Gaser C, Büchel C, May A (2008) – Changes in gray matter induced by learning – revisited. *PLoS ONE* 3:e2669

14. Erickson KI, Alvarado M, Bherer L, Colcombe SJ, Kim JS, Kramer AF, Peterson MS, Scalf PE, Wadhwa R (2007) – Training-Induced Functional Activation Changes in Dual-Task Processing: An fMRI Study. *Cerebral Cortex* 17:192-204

15. Franceschini R, Krick C, Behrent S, Reith W (2004) - The Neurobiology of code-switching: intersentential code-switching in an fMRI-study. In J. House and J. Rehbein, eds., *Multilingual communication (Hamburg Studies on Multilingualism 3)*, Amsterdam/Philadelphia (Benjamins), pp.179-193

16. Gordon N (2000) – The acquisition of a second language. *European Journal of Paediatric Neurology* 4:3-7

17. Gould E, Beylin A, Tanapat P, Reeves A, Shors TJ (1999) – Learning enhances adult neurogenesis in the hippocampal formation. *Nat Neurosci.* 2:203-205

18. Holtmaat A, De Paola V, Wilbrecht L, Knott GW (2008) – Imaging of experience-dependent structural plasticity in the mouse neocortex in vivo. *Behav Brain Res.* 192:20-25

19. Johansson BB, Grabowski M (1994) - Functional recovery after brain infarction: plasticity and neural transplantation. *Brain Pathol.* 4:85-95

20. Kennedy MR, Coelho C, Turkstra L, Ylvisaker M, Moore Sohlberg M, Yorkston K, Chiou HH, Kan PF (2008) – Intervention for executive functions after traumatic brain injury: a systematic review, meta-analysis and clinical recommendations. *Neuropsychol Rehabil.* 18:257-299

21. Kim KHS, Hirsch J, Kyoung-Min L, Norman RR (1997) – Distinct cortical areas associated with native and second languages. *Nature* 388:171-174

22. Kotchoubey B (2005) - Apallic syndrome is not apallic-is vegetative state vegetative? *Neuropsychol Rehabil.* 15:333-356

23. Kringelbach ML (2005) – The human orbitofrontal cortex: linking reward to hedonic experience. *Nat Rev Neurosci* 6(9):691-702

24. Laatsch L, Krisky C (2006) - Changes in fMRI activation following rehabilitation of reading and visual processing deficits in subjects with traumatic brain injury. *Brain Inj.* 20:1367-1375

25. Laureys S (2004) - Functional neuroimaging in the vegetative state. *Neurorehabilitation* 19:335-341

26. Laureys S (2005) - The neural correlate of (un)awareness: lessons from the vegetative state. *Trends in Cognitive Sciences* 9:556-559

27. Linden DE (2006) - How psychotherapy changes the brain--the contribution of functional neuroimaging. *Mol Psychiatry* 11:528-38

28. Maguire EA, Gadian DG, Johnsrude IS, Good CD, Ashburner J, Frackowiak RSJ, Frith CD (2000) - Navigation-related structural change in the hippocampi of taxi drivers. *Proc Natl Acad Sci USA* 97:4398-4403

29. Marklund P, Cabeza R, Fransson P, Ingvar M, Nyberg L, Petersson KM (2007) – Sustained and transient neural modulations in prefrontal cortex related to declarative long-term memory, working memory and attention. *Cortex* 43:22-37
30. Mitterschiffthaler MT, Ettinger U, Mehta MA, Mataix-Cols D, Williams SCR (2006) – Applications of Functional Magnetic Resonance Imaging in Psychiatry. *Journal of Magnetic resonance imaging* 23:851-861
31. Murray LJ, Ranganath (2007) - The dorsolateral prefrontal cortex contributes to successful relational memory encoding. *J Neurosci.* 27:5515-5522
32. Nelson MD, Saykin AJ, Flashman LA, Riordan HJ (1998) – Hippocampal Volume Reduction in Schizophrenia as Assessed by Magnetic Resonance Imaging. *Arch Gen Psychiatry* 55:433-440
33. Ogawa S, Lee TM, Kay AR, Tank DW (1990) – Brain magnetic resonance imaging with contrast dependent on blood oxygenation. *Proc Natl Acad Sci USA* 87:9868-9872
34. Ojima S, Nakata H, Kakigi R (2005) – An ERP study of second language learning after childhood: effects of proficiency. *J Cogn Neurosci* 17:1212-1228
35. Papaeliou C, Minadakis G, Cavouras D (2002) – Acoustic patterns of infant vocalizations expressing emotions and communicative functions. *J Speech Lang Hear Res* 45:311-317

36. Paquette V, Lévesque J, Mensour B, Leroux JM, Beaudoin G, Bourgouin P, Beaugarda M (2003) - "Change the mind and you change the brain": effects of cognitivebehavioral therapy on the neural correlates of spider phobia. *NeuroImage* 18:401-409
37. Pollard S, Conti L, Smith A (2006) - Exploitation of adherent neural stem cells in basic and applied neurobiology. *Regen Med.* 1:111-118
38. Price CJ, Wise RJS, Frackowiak RSJ (1996) – Demonstrating the implicit processing of visually presented words and pseudowords. *Cerebral Cortex* 6:62-70
39. Price CJ, Wise RJS, Warburton E, Moore CJ, Patterson K, Howard D et al. (1996) – Hearing and saying: the functional neuroanatomy of auditory word processing. *Brain* 119:919-931
40. Price CJ (2000) – The anatomy of language: contributions from functional neuroimaging. *J. Anat.* 197:335-359
41. Price CJ (2010) – The anatomy of language: a review of 100 fMRI studies published in 2009. *Ann N Y Acad Sci.* 1191:62-88
42. Revishchin AV, Korochkin LI, Okhotin VE, Pavlova GV (2008) – Neural stem cells in the mammalian brain. *Int Rev Cytol* 265:55-109
43. Roffman JL, Marci CD, Glick DM, Dougherty DD, Rauch SL (2005) - Neuroimaging and the functional neuroanatomy of psychotherapy. *Psychol Med.* 35(10):1385-98

44. Saur D, Baumgaertner A, Moehring A, Büchel C, Bonnesen M, Rose M, Musso M, Meisel JM (2009) – Word order processing in the bilingual brain.

Neuropsychologia 47:158-168

45. Schnell K, Herpertz SC (2007) – Effects of dialectic-behavioral-therapy on the neural correlates of affective hyperarousal in borderline personality disorder. J

Psychiatr Res 41:837-847

46. Shors TJ (2008) – From stem cells to grandmother cells: how neurogenesis relates to learning and memory. Cell Stem Cell 3:253-258

47. Sluming V, Barrick T, Howard M, Cezayirli E, Mayes A, Roberts N (2002) - Voxel based morphometry reveals increased gray matter density in Broca's area in male symphony orchestra musicians. NeuroImage 17:1613-1622

48. Sparks RL, Ganschow L, Artzer M, Siebenhar D, Plageman M (1997) – Language anxiety and proficiency in a foreign language. Percept Mot Skill 85:559-562

49. Stein M, Dierks T, Brandeis D, Wirth M, Strik W, Koenig T (2006) – Plasticity in the adult language system: a longitudinal electrophysiological study on second language learning. NeuroImage 33:774-783

50. Strange BA, Flechter PC, Henson RNA, Friston KJ, Dolan RJ (1999) – Segregating the functions of human hippocampus. Proc Natl Acad Sci USA 96:4034-4039

51. Straube T, Glauer M, Dilger S, Mentzel HJ, Miltner WHR (2006) - Effects of cognitive-behavioral therapy on brain activation in specific phobia. *NeuroImage* 29:125-135
52. Talairach J, Tournoux P – “Co-planar Stereotaxic Atlas of the Human Brain: 3-Dimensional Proportional System - an Approach to Cerebral Imaging”, Thieme Medical Publishers, New York, 1988
53. Teutsch S, Herken W, Bingel U, Schoell E, May A (2008) – Changes in brain gray matter due to repetitive painful stimulation. *Neuroimage* 42:845-849
54. Trachtenberg JT, Chen BE, Knott GW, Feng G, Sanes JR, Welker E, Svoboda K (2002) – Long-term in vivo imaging of experience-dependent synaptic plasticity in adult cortex. *Nature* 420:788-794
55. Vallat C, Azouvi P, Hardisson H, Meffert R, Tessier C, Pradat-Diehl P (2005) – Rehabilitation of verbal working memory after left hemisphere stroke. *Brain Inj.* 19:1157-1164
56. Velakoulis D, Wood SJ, Wong MTH, McGorry PD, Yung A, Philips L, Smith D, Brewer W, Proffitt T, Desmond P, Pantelis C (2006) – Hippocampal and Amygdala Volumes According to Psychosis Stage and Diagnosis. A Magnetic Resonance Imaging Study of Chronic Schizophrenia, First-Episode Psychosis and Ultra-High-Risk Individuals. *Arch Gen Psychiatry* 63:139-149
57. Ward NS (2004) - Functional reorganization of the cerebral motor system after Stroke. *Current Opinion in Neurology* 17:725-730

58. Wartenburger I, Heekeren HR, Abutalebi J, Cappa SF, Villringer A, Perani D (2003) – Early setting of grammatical processing in the bilingual brain. *Neuron* 37:159-170

59. Wernicke C (1874) – *Der aphasische Symptomenkomplex*. Breslau, Poland: Cohen and Weigert.

60. Wright IC, Rabe-Hesketh S, Woodruff PW, David AS, Murray RM, Bullmore ET (2000) – Meta-Analysis of regional brain volumes in schizophrenia. *Am J Psychiatry* 157:16-25

61. Zhao C, Deng W, Gage FH (2008) – Mechanisms and functional implications of adult neurogenesis. *Cell* 132:645-660

VII. ABKÜRZUNGEN

a. = annus, (-i) *lat.*: Jahr(e)

AOA = age of onset of acquisition

BA = Brodmann area

BOLD = Blood oxygenation level-dependency

d. = dies, (-ei) *lat.*: Tag(e)

CBT = cognitive behavioral therapy (kognitive Verhaltenstherapie)

Ci = Cingulum

D = Deutsch

DLPFC = dorsolateraler präfrontaler Cortex

F = Französisch

fMRI = functional magnetic resonance imaging

GC = Gyrus cinguli

GF = Gyrus fusiformis

GFi = Gyrus frontalis inferior

GFd = Gyrus frontalis medialis

GFm = Gyrus frontalis medius

GFs = Gyrus frontalis superior

Gh = Gyrus parahippocampi

GL = Gyrus lingualis

GOi = Gyrus occipitalis inferior

GOM = Gyrus occipitalis medius

GPrC = Gyrus praecentralis

GTs = Gyrus temporalis superior

GTm = Gyrus temporalis medius

GTi = Gyrus temporalis inferior

GTT = Gyri temporales transversi

Hi = Hippocampus

INS = Insula

L1 = Muttersprache

L2 = die hier untersuchte Fremdsprache

Lpc = Lobulus paracentralis

LPs = Lobulus parietalis superior
MLT = Medial temporal lobe
MNI = Montreal Neurological Institute
MR = Magnet Resonanz
MRT = Magnet Resonanz Tomographie
PCu = Praecuneus
PET = Positronenemissionstomographie
Scm = Sulcus callosomarginalis
SI = Sulcus lateralis cerebri
SPM = Statistical parametric mapping
Spo = Sulcus parieto-occipitalis
U = Uncus
VBM = Voxel based morphometry

VIII. DANK

Hiermit möchte ich mich ganz herzlich bei meinem Doktorvater Herrn Prof. Dr. med. W. Reith, Direktor der Klinik für Diagnostische und Interventionelle Neuroradiologie, bedanken, der mir das Forschungsthema zur Verfügung stellte und mir die Arbeit am Kernspingerät der neuroradiologischen Klinik ermöglichte.

Ein besonderer Dank geht an Herrn Dr. rer. med. Christoph Krick, den Betreuer meiner Promotionsarbeit. Ohne seine Hilfe beim Ausarbeiten des Paradigmas, sein ständiges Engagement, seinen unermüdlichen Optimismus und seine psychologische Motivation wäre das Zustandekommen dieser Arbeit nicht möglich gewesen. Seine Ratschläge und Verbesserungskritiken waren unverzichtbar bei der Umsetzung der vorliegenden Forschungsarbeit.

Desweiteren will ich mich bei meinem Mitdoktoranden, Herrn cand. med. Nicolas Awender für seine Ideen und Verbesserungsvorschläge, das Korrekturlesen und für den Informationsaustausch und die gute Zusammenarbeit in der Neuroradiologie bedanken.

Ein weiterer Dank gilt Frau Dr. phil. Sigrid Behrent und Frau Prof. Dr. R. Franceschini, damals vom Institut für Romanistik der Philosophischen Fakultät der Universität des Saarlandes, für die Zusammenarbeit auf dem Bereich der sprachlichen Auswertung und die Erstellung des Sprachtests zur Evaluation der Probanden.

Nicht zuletzt will ich mich bei meinen 20 Probanden bedanken, die sich freiwillig für diese Studie zur Verfügung gestellt haben, und die Strapazen der lang dauernden und aufwendigen Kernspinuntersuchung tapfer ertrugen. Ohne Euch wäre diese Doktorarbeit natürlich nicht möglich gewesen! Ebenso bedanke ich mich bei den MTRAs und Ärzten der Neuroradiologie, die mir bei der Einweisung in die Steuerung des Kernspintomographen behilflich waren, und mir auch manchmal bei technischen Problemen zur Seite standen.

IX. LEBENS LAUF

Persönliche Angaben

Name, Vorname : Pascucci, Claude

Geburtsdatum : 18. November 1980

Geburtsort : Luxemburg - Stadt (L)

Nationalität : Luxemburgisch

Anschrift: Steinstraße 7

D-59368 Werne

Schulische Laufbahn und Studium

1987 – 1993 : Grundschule Dellhéicht, Esch / Alzette (L)

1993 – 2000 : Gymnasium – Lycée Hubert Clément, Esch / Alzette (L)

Juni 2000 : Abitur (Schwerpunkt Naturwissenschaften)

September 2000 : Beginn des Medizinstudiums am ‚Centre universitaire de Luxembourg‘

Oktober 2002 : Immatrikulation an der Universität des Saarlandes und Fortführung des Human-Medizinstudiums in Homburg/Saar (D)

August 2003 : Abschluss der ärztlichen Vorprüfung

08/2007 – 07/2008: Praktisches Jahr im Klinikum Saarbrücken Winterberg mit Wahlfach Radiologie

Dezember 2008 : Abschluss der ärztlichen Prüfung und des Medizinstudiums

Praktika

- 08/2001 – 09/2001: Krankenpflegepraktikum im ‚Centre François Baclesse‘ (Radiotherapie) des städtischen Krankenhauses Esch / Alzette (L)
- Juli 2002 : Krankenpflegepraktikum auf der internistisch-onkologischen Station des städtischen Krankenhauses Esch / Alzette (L)
- März 2004 : Famulatur in einer allgemeinmedizinischen Praxis in Esch / Alzette (L)
- März 2005 : Famulatur auf einer internistisch – onkologischen Station der Klinik für Innere Medizin I der Universitätskliniken Homburg / Saar
- August 2005 : Famulatur in der Klinik für Psychiatrie und Psychotherapie der Universitätskliniken Homburg / Saar
- März 2006 : Famulatur in einer radiologischen Praxis in Saarbrücken
- März 2007 : Famulatur auf einer internistischen Station des Elisabeth Krankenhauses in Zweibrücken

Beruflicher Werdegang:

- 04/2009-06/2009: Assistenzarzt in der Inneren Medizin im St. Christophorus Krankenhaus Werne
- Seit Juli 2009: Assistenzarzt in der Radiologie und Neuroradiologie im St. Marien-Hospital Hamm