

Aus der Klinik für Nuklearmedizin

der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf

Direktor: Univ.-Prof. Dr. med. BA (open) H.-W. Müller

Untersuchung wortverarbeitender Hirnareale während eines Lese- und Hörparadigmas
mittels funktioneller Bildgebung unter Berücksichtigung der Konnektivitäts- und
Frequenzanalyse

Dissertation

zur Erlangung des Grades eines Doktors der Medizin

der Medizinischen Fakultät der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf

vorgelegt von

Vivienne Isabelle Ruhm

2017

Als Inauguraldissertation gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf

gez.:

Dekan: Univ.-Prof. Dr. med. Nikolaj Klöcker

Erstgutachter: Univ.-Prof. Dr. med. BA (open) H.-W. Müller

Zweitgutachter: Prof. Dr. rer. nat. Hans-Jörg Wittsack

Zusammenfassung

Fragestellung und Ziele:

Diese Dissertation hat zwei methodisch getrennte Ziele. Zum einen beschäftigt sie sich mit der Analyse von Frequenzen in wortverarbeitenden Gehirnarealen, die während akustischer und visueller Stimulation in einer funktionellen Magnetresonanztomografie (fMRT)-Untersuchung auftreten. Anhand der funktionellen Konnektivität wird untersucht, ob diese Areale während des Versuches in Netzwerken innerhalb der bekannten Sprachverarbeitungszentren (Price- Regionen) oder in bisher nicht sprachbezogenen Regionen integriert sind. Zum anderen wird das Auftreten von Frequenzen jenseits der Stimulationsfrequenz in diesen Gehirnarealen untersucht.

Methodik:

Eine fMRT- Studie mit 8 Probanden wird in Form eines Blockdesigns mit Darbietung von visuellen und akustischen Wörtern durchgeführt. Die Erfassung der neuronalen Aktivität geschieht durch Messung des *Blood oxygen level dependent* (BOLD)- Signales. Mit der Methode *Neural Traffic* werden individuelle Aktivitätszentren (*Traffic Maxima*) in den bisher bekannten Sprachregionen definiert und von diesen ausgehend die funktionelle Konnektivität zu anderen Gehirnarealen bestimmt. Die Frequenzanalyse basiert auf der Fourier Analyse.

Ergebnisse und Diskussion:

Regionen, die zum bestehenden Wortverarbeitungsnetzwerk gehören (Price- Regionen), weisen signifikant höhere Mittelwerte der funktionellen Konnektivität auf ($P = 0,0426$) als solche, die nicht dazu gehören. Unter auditiver Bedingung beträgt der Mittelwert der funktionellen Konnektivität der wortverarbeitenden Price- Regionen 0,64, derjenige der Nicht- Price- Regionen 0,54. Unter visueller Bedingung beträgt der Mittelwert der funktionellen Konnektivität der wortverarbeitenden Price- Regionen 0,47, derjenige der Nicht- Price- Regionen 0,40. In der Auswertung der Frequenzanalyse wird festgestellt, dass es abgesehen von der *Block Design Frequency* (BDF) keine weiteren Frequenzanteile gibt, die in diesem Experiment mit der Wortverarbeitung des auditorischen oder visuellen Materials in Verbindung gebracht werden können.

Schlussfolgerung:

Es kann gezeigt werden, dass die als wortverarbeitend geltenden Regionen tatsächlich höhere funktionelle Konnektivität zueinander aufweisen, als zu Regionen, die nicht dem Sprachnetzwerk angehören sollen. Allerdings kann keine Lateralisation festgestellt werden. Diese Feststellung deckt sich nicht mit der bisherigen Vorstellung eines linkslateralisierten Netzwerkes für das Sprachverständnis. In der Analyse des Frequenzverhaltens werden abgesehen von der BDF keine Frequenzanteile nachgewiesen, die in direkten Zusammenhang mit der Sprachverarbeitung gebracht werden können. Es stellt sich schlussfolgernd die Frage, ob das Konzept der Frequenzanalyse durch sein Detailreichtum möglicherweise ungeeignet für die Untersuchung der Sprachverarbeitung ist.

Abkürzungsverzeichnis

AAL	Automated Anatomical Labeling
Abb.	Abbildung
BDF	Block Design Frequency (0,015 Hz)
DTI	Diffusion tensor- weighted imaging
EEG	Electroencephalography
fcMRI	Kombination aus Funktioneller Konnektivitätsanalyse und MRI
fMRI	Functional magnetic resonance imaging
LEF	Low frequency fluctuations
MEG	Magnetoencephalography
MNI	Montreal Neurological Institute
NT	Neural Traffic
PAC	Primary auditory cortex
PET	Positron emission tomography
SBM	Subtraction methodology
SPECT	Single- photon emission computed tomography

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Ziele der Arbeit	6
3	Material und Methoden	6
3.1	Ablaufplan	6
3.2	Experiment	7
3.2.1	Probanden	8
3.2.2	Experimenteller Aufbau und Ablauf	8
3.2.3	Auditives und visuelles Stimulusmaterial	9
3.2.4	Technische Daten	9
3.3	Neural Traffic (NT)	11
3.4	Definition der Ausgangsvoxel (Seedvoxel)	12
3.5	Funktionelle Konnektivität	15
3.5.1	Berechnung der funktionellen Konnektivität zu den Seedvoxeln	17
3.5.2	Identifikation der lokalen Maxima für jeden Seedvoxel	17
3.5.3	Grafische Darstellung	19
3.6	Frequenz- Analyse	26
3.6.1	Identifikation von individuellen stimullusspezifischen Frequenzkomponenten der neuronalen Aktivität durch Fourier-Analyse	26
3.6.2	Berechnung der <i>Power</i> - Spektren	27
3.6.3	Differenzierung zwischen Rauschen und reinem Signal	28
3.6.4	Vorgehensschritte in der Frequenzanalyse	29
4	Ergebnisse	31
4.1	Funktionelle Konnektivität	31

4.1.1	Darstellung von Aktivitätszentren anhand der funktionellen Konnektivität	31
4.1.2	Seitengetrennte Darstellung der Mittelwerte der funktionellen Konnektivität für den auditiven und visuellen Versuchsteil	32
4.1.3	Seitengetrennte Darstellung der prozentualen Beteiligung von Seedvoxeln mit einer funktionellen Konnektivität $> 0,65$ für den auditiven und visuellen Versuchsteil	34
4.1.4	Prozentualer Vergleich der Seedvoxel in wort- und nichtwortverarbeitenden Zielregionen	35
4.1.5	Seedvoxel und Autokorrelation zu korrespondierenden AAL Zielregionen	36
4.2	Frequenzanalyse	36
4.2.1	Untersuchung auf das Vorhandensein der BDF (Block Design Frequency)	36
4.2.2	Fehlen der BDF im auditiven Versuchsteil bei Schwellenwert $r = 0,65$	37
4.2.3	Fehlen der BDF im visuellen Versuchsteil bei Schwellenwert $r = 0,65$	39
4.2.4	Verhalten der Obertöne der BDF	39
4.3	Darstellung der Frequenzanteile in der Spektralanalyse	40
4.3.1	Darstellung der Frequenzanteile in der Spektralanalyse im auditiven Versuchsteil, oberes Prozentdrittel	41
4.3.2	Darstellung der Frequenzanteile in der Spektralanalyse im auditiven Versuchsteil, mittleres Prozentdrittel	41
4.3.3	Darstellung der Frequenzanteile in der Spektralanalyse im auditiven Versuchsteil, unteres Prozentdrittel	42
4.3.4	Darstellung der Frequenzanteile in der Spektralanalyse im visuellen Versuchsteil, oberes Prozentdrittel	42
4.3.5	Darstellung der Frequenzanteile in der Spektralanalyse im visuellen Versuchsteil, mittleres Prozentdrittel	42
4.3.6	Darstellung der Frequenzanteile in der Spektralanalyse im visuellen Versuchsteil, unteres Prozentdrittel	43
4.3.7	Übereinstimmungen von Frequenzen in der Spektralanalyse im visuellen und auditiven Versuchsteil	43
5	Diskussion	45

5.1	Diskussion der Ergebnisse der funktionellen Konnektivitätsanalyse unter dem Aspekt wortverarbeitender Netzwerke	45
5.2	Nicht- Price- Regionen und der aktuelle Kenntnisstand bezüglich der Funktion	46
5.2.1	Frontale Regionen	46
5.2.2	Limbisches System	48
5.2.3	Subkortikale Kerne	49
5.2.4	Parietale Regionen	50
5.2.5	Occipitale Regionen	51
5.3	Aktueller Kenntnisstand zur Lateralisation der Sprachverarbeitung	52
5.4	Diskussion der Ergebnisse der Frequenzanalyse	52
5.5	Methodische Aspekte	54
6	Fazit	55
7	Literatur- und Quellenverzeichnis	56
8	Anhang	61
8.1	Definition der Ausgangsvoxel	61
8.2	Grafische Darstellung mit Hilfe des Seedvoxel Visualisierungsprogrammes	62
8.3	Detaillierte Darstellung von Aktivitätszentren anhand der funktionellen Konnektivität im auditiven Versuchsteil, Schwellenwert 0,65	64
8.4	Detaillierte Darstellung von Aktivitätszentren anhand der funktionellen Konnektivität im visuellen Versuchsteil, Schwellenwert 0,65	78
8.5	Darstellung der Frequenzanteile in der Spektralanalyse im auditiven Versuchsteil	94
8.5.1	Oberes Prozentdrittel	94
8.5.2	Mittleres Prozentdrittel	95
8.5.3	Unteres Prozentdrittel	97

8.6	Darstellung der Frequenzanteile in der Spektralanalyse im visuellen Versuchsteil	103
8.6.1	Oberes Prozentdrittel	103
8.6.2	Mittleres Prozentdrittel	104
8.6.3	Unteres Prozentdrittel	106
8.7	Übereinstimmungen von Frequenzen in der Spektralanalyse im visuellen und auditiven Versuchsteil	111

1 Einleitung

Im Folgenden wird ein Überblick über die Erkenntnisse der letzten zwei Jahrzehnte bezüglich funktioneller Bildgebung, Hirn- und Sprachforschung gegeben und dann die Zielsetzung der Arbeit erläutert.

Die Erforschung wortverarbeitender Hirnstrukturen erfährt in den letzten Jahren durch den Einsatz funktioneller Bildgebung rasante Fortschritte. Man kann zwei unterschiedliche Untersuchungsmodalitäten bezüglich funktioneller Bildgebung unterscheiden: die hämodynamisch- metabolische Betrachtungsweise, zu der PET, SPECT und fMRI gehören, sowie die elektrisch- magnetische Betrachtungsweise, durch EEG und MEG vertreten (Horwitz, Friston, & Taylor, 2000). Mittels fMRI kann desoxygeniertes Hämoglobin bzw. das *Blood oxygenation level dependent* (BOLD)- Signal als endogener und sensibler Marker der neuronalen Aktivität herangezogen werden (Ogawa & Lee, 1990). Dies hat dazu beigetragen, dass sich das fMRI unter den aufgezählten Bildgebungsverfahren besonders durchgesetzt hat. Anhand von fMRI kann nichtinvasiv das gesamte Gehirn nahezu gleichzeitig betrachtet werden (Horwitz et al., 2000), (Sun, Miller, & D'Esposito, 2004).

Berechnet man den Pearson'schen Korrelationskoeffizienten von Zeitreihen der BOLD-Signale zweier Gehirnregionen, so kann man die funktionelle Konnektivität bestimmen. (Carter, Shulman, & Corbetta, 2012). Funktionelle Konnektivität kann als Maß herangezogen werden, das Aktivitätsmuster von räumlich voneinander entfernten neuronalen Strukturen in ihrer Ähnlichkeit zu beschreiben (Murphy et al., 1993), (van den Heuvel & Hulshoff Pol, 2010) und stellt daher eine Methode dar, Organisationsprozesse u.a. während der Wortverarbeitung zu untersuchen. Funktionelle Konnektivität gibt allerdings keine Auskunft über anatomische Verbindungen. Es ist der Begriff der

effektiven Konnektivität abzugrenzen, der in seiner Definition diese anatomische Verbindung enthält (Horwitz et al., 2000). In den letzten Jahren hat sich das DTI (*Diffusion tensor-weighted imaging*) als Methode zur strukturellen Konnektivitätsanalyse etabliert. Das Prinzip basiert auf der Diffusion vornehmlich von Wassermolekülen entlang prädefinierter Nervenbahnen. Hirnregionen mit organisierten Strukturen und Membranen weisen dementsprechend eine höhere anisotropische (richtungsabhängige) Diffusion auf als andere Hirnregionen. (Beer, Plank, & Greenlee, 2011).

Die Idee, jeder einzelnen Hirnregion eine bestimmte Funktion zuzuordnen (Posner, Petersen, Fox, & Raichle, 1988), konnte nicht verwirklicht werden (P. T. Fox & Friston, 2012). Die Tendenz ist eher dahingehend, das alte modulare Konzept der Sprachverarbeitung, in dem einzelne Gehirnareale unabhängig voneinander arbeiten, zu verlassen zu Gunsten eines Sprachnetzwerkmodells, in dem über das ganze Gehirn verteilte Gebiete durch komplexe Interaktionen am Sprachverarbeitungsprozess beteiligt sind (Bressler & Menon, 2010). Ein wichtiges Modell des Gehirnnetzwerks sieht Knoten (*nodes*) und Kanten (*edges*) vor, die in einem sogenannten „*small-world*“ Konzept interagieren. (Watts, Watts, Strogatz, & Strogatz, 1998). In diesem Gittermodell stellen die Knoten Entitäten dar, z.B. konkrete Hirnregionen, während Kanten funktionelle Assoziationen zwischen den Knoten darstellen. (Liang et al., 2012). Funktionelle Konnektivität als zeitserienabhängiges BOLD- Signal stellt eine Strategie dar, *nodes* und *edges* in diesem Modell zu identifizieren. Eine weitere Methode ist die frequenzbezogene Untersuchung der spektralen Kohärenz (Bressler & Menon, 2010). Dabei erfolgt die Zerlegung in die Frequenzkomponenten durch Fourier- Transformation. (Cordes et al., 2001). In den letzten Jahren hat es zahlreiche Studien zur funktionellen Konnektivität gegeben. Anfangs war das Augenmerk auf aufgabenbezogene Versuche (*task-evoked*) gerichtet (Friston, 1994),(McIntosh & Gonzalez-Lima, 1994). Seit einiger Zeit haben sich Versuche unter Ruhebedingungen (*resting state*) etabliert (Cordes et al., 2000), (Lowe,

Dzemidzic, Lurito, Mathews, & Phillips, 2000), (Xiong, Parsons, Gao, & Fox, 1999), insbesondere unter dem Aspekt der Analyse von niederfrequenten Fluktuationen. (Lohmann et al., 2010), (Biswal, Yetkin, Haughton, & Hyde, 1995), (M. D. Fox & Raichle, 2007). *Resting state* Untersuchungen stellen eine aussagekräftige Methode dar, spontane Hirnaktivität zu erforschen (Liang et al., 2012). Die Kombination aus funktioneller Konnektivitätsanalyse und MRI (fcMRI) erlaubt es, die Mechanismen der Neuroplastizität im Rahmen dieses Netzwerk besser zu verstehen, eben weil nicht nur direkte monosynaptische Verbindungen dargestellt werden, sondern über das ganze Gehirn verteilte funktionell zusammenhängende Systeme (Carter et al., 2012). FcMRI ermittelt Regionen, die synchrone Veränderungen des Blutflusses unter Ruhebedingung aufweisen, während konventionelles fMRI Signalintensitätsveränderungen detektiert, die infolge einer Aufgabe oder eines Stimulus durch Blutflusssteigerungen auftreten (Cordes et al., 2000). Schlussfolgernd lässt sich den *task- evoked* Studiendesigns die konventionelle fMRI-Technik zuordnen, während *resting- state* Designs eher auf fcMRI zurückgreifen.

Die kognitive Subtraktionsanalyse ist ein Verfahren der funktionellen Topographie. Es werden zwei Aktivitätszustände eines Hirnareals miteinander verglichen. Ein Ruhe (*baseline*) und ein Erregungszustand. Anhand der Blutoxygenierung (BOLD- Signal) lässt sich die Hirnaktivität durch funktionelle Bildgebung quantifizieren. Der Unterschied zwischen den beiden Bedingungen erlaubt es, eine Aussage über funktionell spezialisierte Regionen zu treffen.

Im 20. Jahrhundert etablierten sich neurokognitive Modelle wie das von Patterson & Shewell (1987), das mehr als nur eine Leitungsbahn für Lesen und Sprache vorschlägt. Das konnektionistische Model der Wortverarbeitung (Seidenberg & McClelland, 1989) beschränkt sich auf einige wenige interaktive Komponenten, die jedoch vielfältige Funktionen übernehmen. Diese jedoch nicht mit Neurophysiologie belegbaren Modelle

können durch die Technik der funktionellen Bildgebung mit PET (Blutflussmessung) und fMRT (BOLD- Signal) besser beurteilt werden.

Ein funktionell- anatomisches Modell der Sprachverarbeitung wurde von C.J. Price in der Arbeit „The anatomy of language: contributions from functional neuroimaging“ (C J Price, 2000) entwickelt. Diese Arbeit fasst die Erkenntnisse des 19. und 20. Jahrhunderts zur Sprachneuroanatomie bezüglich der visuellen und auditiven Wortverarbeitung zusammen. Diese sind mit der Subtraktionsanalyse gewonnen worden und beziehen sich auf die Verarbeitung einzelner Worte. Unter Zuhilfenahme von fMRT und PET wurden die Erkenntnisse zur Sprachneuroanatomie reevaluiert und das Modell in Abb. 1 entwickelt. Dargestellt wird in diesem Modell die Verarbeitung gehörter und gelesener Wörter im Gehirn. Die auditorische Verarbeitung gehörter Wörter führt zu einer Aktivierung der bilateralen superioren Temporalgyri. Der Zugriff auf die Bedeutung des Wortinhaltes führt zu einer Aktivierung temporoparietaler Areale. Price unterscheidet in ihrem Modell Areale, die in die semantische- bzw. nichtsemantische phonologische Sprachausgabe involviert sind. Der linke posteriore inferiore Temporalkortex nahe dem mittleren Gyrus fusiformis ist demnach durch lexikalische, semantische Sprachausgabe aktiviert, z.B. durch Aufgaben, die das Benennen von Bildern oder Zungenfertigkeit erfordern. Die posterioren superioren Temporalsulci hingegen zeigen verstärkte Aktivität durch Aufgaben wie das Wiederholen sublexikalischer Wörter oder Sprache, jedoch nicht bei dem Benennen von Bildern. Ausgehend von beiden zuletzt genannten Arealen kommt es im Rahmen der artikulatorischen Planung zu einer Aktivierung der anterioren Insula und des frontalen Operculums. Die sprachmotorische Ausgabe erzeugt Aktivität in den bilateralen sensomotorischen Kortexen. Die superioren Temporalgyri zeigen erhöhte Aktivität für das Hören einer gesprochenen Antwort. Zwischen der Verarbeitung gehörter und gelesener Wörter gibt es eine große Überschneidung der aktivierten Regionen; die posterioren

fusiformen Gyri und der Gyrus lingualis sind die einzigen Gebiete, die nur durch das Lesen geschriebener Wörter Aktivität aufzeigen.

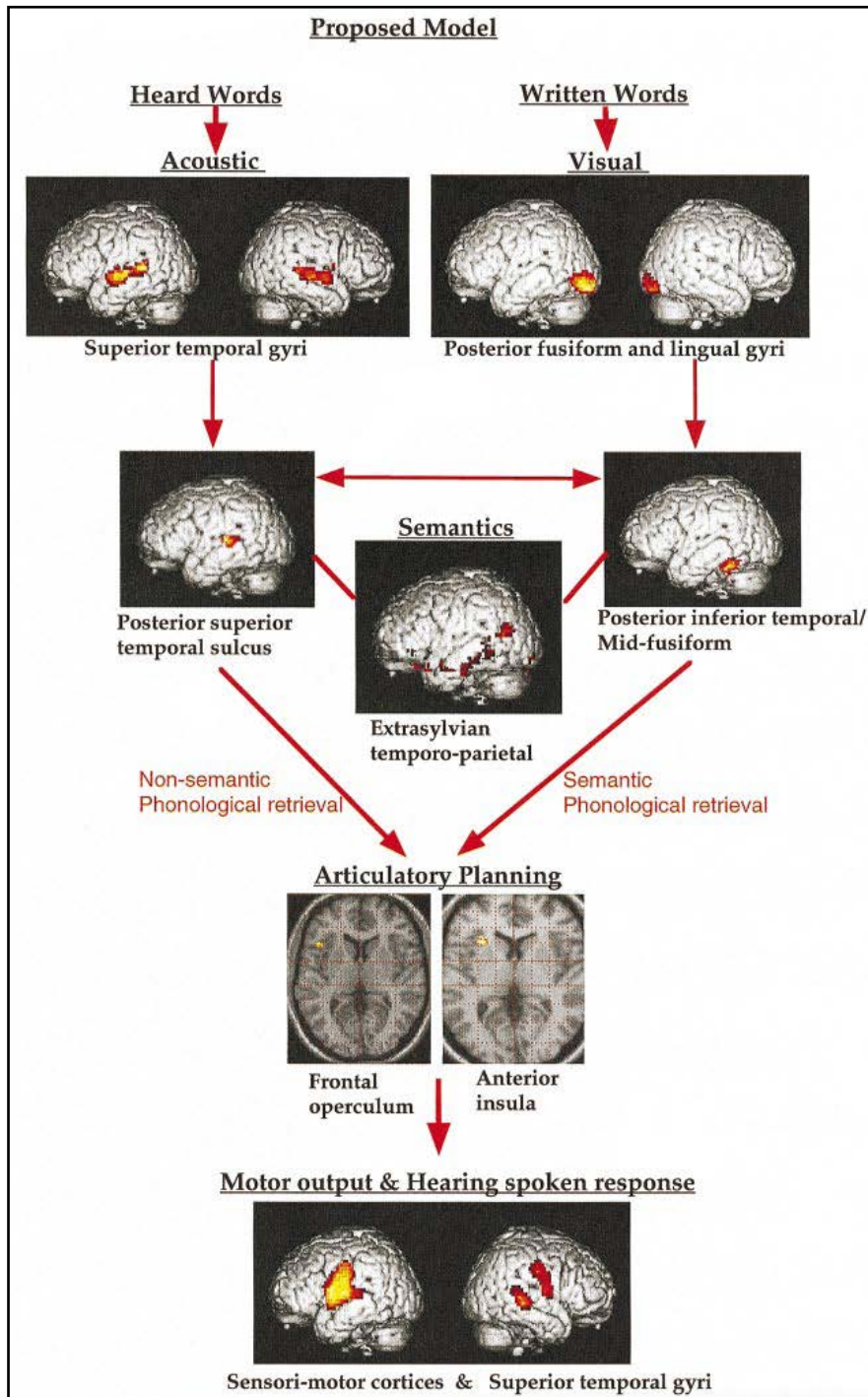


Abb. 1 | Das von Price entwickelte Modell zur Sprachverarbeitung mit ihren Erkenntnissen aus fMRI Studien (Aus Price, 2000). Erläuterung siehe Abschnitt oben.

Die von Frau Price vorgestellten Gehirnregionen stellen den Ausgangspunkt für diese Arbeit dar, da anhand dieser die Auswahl der Seedvoxel in den Probanden erfolgte.

2 Ziele der Arbeit

Diese Dissertation besitzt zwei inhaltliche und methodische Schwerpunkte. Zum einen beschäftigt sie sich mit der Untersuchung der funktionellen Konnektivität in einer fMRI-Untersuchung mit akustischer und visueller Darbietung von Worten in Form eines Blockdesigns. Durch die Methode „*Neural Traffic*“ werden individuelle Zentren in den bekannten wortverarbeitenden Regionen der Probanden identifiziert und deren funktionelle Signale untersucht. Es wird der Frage nachgegangen, ob die wortverarbeitenden Areale der Probanden während des Versuches in Netzwerken innerhalb der bekannten Sprachverarbeitungszentren oder in bisher nicht sprachbezogenen Regionen integriert sind; daraus erschließend wird diskutiert, ob es mehr an wortverarbeitenden Regionen gibt, als die, die man bisher kennt. Des Weiteren wird auf den Aspekt der Lateralisation der Sprachverarbeitung eingegangen werden. Zum anderen erfolgt eine Frequenzanalyse (Spektralanalyse) in denselben wortverarbeitenden Gehirnarealen. Hier stellt sich die Frage, ob es spezifische Frequenzen jenseits der Stimulationsfrequenz in wortverarbeitenden Gehirnregionen gibt.

3 Material und Methoden

3.1 Ablaufplan

Es handelt sich um einen fMRI Versuch mit 8 Probanden, die in einem Blockdesign zweisilbige Wörter lesen oder hören. Anhand des BOLD- Signales wird die neuronale Aktivität gemessen. Mit Hilfe der Methode *Neural Traffic* werden Aktivitätszentren der einzelnen Probanden in den von Price der Wortverarbeitung zugeschriebenen

Gehirnarealen aufgesucht und dort Voxel mit einer hohen funktionellen Konnektivität als Seedvoxel definiert. Dann identifiziert man von diesen Seedvoxeln ausgehend Verbindungen zu anderen kortikalen und subkortikalen Arealen mit überschwellig hoher funktioneller Konnektivität. Die Darstellung erfolgt als XY- Koordinatensystem und numerisch in Tabellen mit Gegenüberstellungen von Voxelkoordinaten und Korrelationskoeffizienten der funktionellen Konnektivität. In der funktionellen Konnektivitätsanalyse werden die kortikalen Areale unterteilt in die zum Price- Netzwerk gehörende und in nicht zugehörige Areale. Dann erfolgt eine Gegenüberstellung der Mittelwerte der funktionellen Konnektivität von Price und Nicht- Price- Gebieten sowie jeweils von linker und rechter Hemisphäre.

Die Frequenzanalyse baut auf der Fourier Analyse des Aktivitätsmusters der Seedvoxel während des Versuches auf. Aufgrund des Blockdesigns wird eine Fundamentalfrequenz von 0,015 Hz erzeugt (*Block Design Frequency*, BDF). In der Frequenzanalyse wird nach anderen gehäuft auftretenden Frequenzen der Seedvoxel gesucht und das Vorhandensein der Obertöne der BDF geprüft.

3.2 Experiment

Das im Folgenden geschilderte Experiment basiert auf der Promotionsarbeit „Eine graphentheoretische Untersuchung zur funktionellen Konnektivität cerebraler Netzwerke in der fMRT: „Neural Traffic“ von Simon Baudrexel aus dem Jahr 2009 mit der Veröffentlichung „*Neural traffic as voxel- based measure of cerebral functional connectivity in fMRI*“ (Beu, Baudrexel, Hautzel, Antke, & Mueller, 2009). Der das Experiment betreffende Material- und Methodenteil ist in dieser Arbeit detailliert nachzulesen.

3.2.1 Probanden

Die Studie wurde durch die Ethikkommission der Medizinischen Fakultät der Heinrich-Heine- Universität Düsseldorf am 29.06.2005 mit dem Titel „fMRT- Untersuchungen zur funktionellen Konnektivität des auditorischen Systems bei einem passiven Hörparadigma mittels *Neural Traffic* Analyse des BOLD- Signals“ genehmigt (Studennummer: 2623). 8 männliche, rechtshändige Probanden mit uneingeschränktem Hör- und Sehvermögen im Durchschnittsalter von 29 Jahren (*Range* 22- 38 Jahre) wurden geworben. Sie besitzen eine normwertige Sprachkompetenz für Deutsch als ihre Muttersprache. Alle Probanden sind weder internistisch, neurologisch noch psychiatrisch vorerkrankt und haben eine leere Drogenanamnese.

3.2.2 Experimenteller Aufbau und Ablauf

Es handelt sich um eine fMRI Studie mit zwei strikt voneinander getrennten Versuchsabschnitten, in denen akustisch bzw. visuell Substantive aus drei verschiedenen Kategorien präsentiert wurden. Die Probanden waren dazu angehalten, den Worten volle Aufmerksamkeit zu schenken. Das BOLD- Signal wurde während des Experimentes zur Messung der neuralen Aktivität gemessen. Das Experiment hat ein Blockdesign, d.h. es besteht aus „on“ (Stimulus) und „off“ (Ruhe) Phasen. Auditiver und visueller Versuchsteil wurden streng voneinander getrennt in pseudorandomisierter Reihenfolge durchgeführt. Ein Versuchsabschnitt gliedert sich in 18 Blöcke; jeweils 6 Blöcke enthalten Wörter der drei verschiedenen Kategorien. Ein Block besteht aus einer *on*- Phase mit 30 Substantiven, was im auditiven Teil 36 Sekunden und im visuellen Teil 30 Sekunden entspricht, gefolgt von einer *off*- Phase aus 30 Sekunden Pause. Die Koordination der Wortpräsentation wurde

mit der Stimulussoftware „Presentation“ durchgeführt. Elementar für die folgenden Abschnitte ist festzuhalten, dass aufgrund des Blockdesigns des Versuches eine Fundamentalfrequenz von $\sim 0,015$ Hz erzeugt wurde.

3.2.3 Auditives und visuelles Stimulusmaterial

Es handelt sich um zweisilbige, häufig vorkommende deutsche Substantive, die den Kategorien „Bildhaftigkeit“, „Abstraktheit“ oder „Nonsens Neologismen“ zugeordnet werden können. Die Auswahl aller Worte erfolgte pseudorandomisiert. Jedes Wort wurde höchstens ein Mal pro Versuchsteil dargeboten. Gesprochen wurden die Wörter von ausgebildeten, weiblichen und männlichen Sprechern und über spezielle MRI- taugliche Stereokopfhörer präsentiert. Die Probanden wurden aufgefordert, während dieses Versuchsteils die Augen geschlossen zu halten. Die Dauer der Worte beträgt < 1.0 s. Die auditive *on*- Phase beträgt ca. 36 s. Die Wörter des visuellen Stimulusmaterials wurden in Druckbuchstaben mit einem *Beamer* auf eine Leinwand projiziert. Die visuelle *on*- Phase beträgt ca. 30 Sekunden.

3.2.4 Technische Daten

Die Messungen erfolgten an einem 1,5 T MR- Tomographen (Typ: Sonata, Siemens, Erlangen) am Institut für Medizin im Forschungszentrum Jülich. Die funktionellen Daten wurden mit einer T2*- gewichteten Gradientenecho- (EPI-) Sequenz mit den folgenden Parametern erhoben: TR (*Repetition time*) = 3s, TE (*Echo time*) = 60 ms, *Flip angle* = 90° , *Field of View* (FOV) = 200 mm. Es erfolgte eine axiale Schnittführung entlang der

anterioren und posterioren Kommissur. Die Größe der (Schicht-) Matrix betrug 64×64 entsprechend einer räumlichen Auflösung von $3,12 \times 3,13 \text{ mm}^2$ in der (x-y-) Ebene. Die Anzahl der Schichten betrug 25, der Schichtabstand (in z- Richtung) 6 mm. Die Registrierung der Gehirnanatomie erfolgte mit einer hochauflösenden MP- RAGE- Sequenz mit folgenden Parametern: TR = 1,4 ms, TE = 4,4 ms, *Flip angle* 15° , FOV = 250 mm, sagittale Schnittführung, Matrixgröße 256×256 entsprechend einer räumlichen Auflösung von $0,98 \times 0,98 \text{ mm}^2$ in der (y- z-) Ebene, Anzahl der sagittalen Schichten: 128, Schichtdicke 1,25 mm. Die Vorverarbeitung des anatomischen MRT- Datensatzes erfolgte mit dem Softwarepaket SPM2 in MNI- *Templates*. Als Ergebnis der Vorverarbeitungsschritte ergeben sich für beide Untersuchungsbedingungen zwei 4- D Datensätze jeweils gespeichert in einer Matrix der Größe $79 \times 95 \times 69 \times 376$ (x*y*z- Koordinaten* Anzahl der Zeitpunkte). Alle Daten werden im MNI- *Space* berichtet. Es wurde auf ein *Global Scaling*, d.h. eine Normalisierung jedes Bildvolumens auf den entsprechenden Mittelwert, verzichtet. Es erfolgt im MNI- *Space* eine lineare und nicht lineare Transformation der Datensätze in das *Template* der SPM Software, durch die es möglich ist, eine voxelbasierte Untersuchung der funktionellen Konnektivität durchzuführen. Die Daten wurden mit einem 3- D Gaußfilter (FWHM = 6 mm) geglättet und räumlich auf das anatomische *Template* des Montreal Neurological Institutes (MNI) normalisiert. Die Daten wurden mit einer räumlichen Auflösung von $2 \times 2 \times 2 \text{ mm}^3$ gespeichert. Zur Korrektur niederfrequenter Artefakte wie *Scanner- Drift* und Kopfbewegung, sowie zur Korrektur hochfrequenter puls- und atemabhängiger Artefakte erfolgte eine zeitliche Bandpass- Filterung mit *cut- off*- Frequenzen von 0,01 Hz und 0,1 Hz durch Nullsetzung der entsprechenden Fourierkoeffizienten. Damit ist gewährleistet, dass die Information bzw. Amplitude der durch das Blockdesign experimentell fixierten Versuchs- oder Fundamental Frequenz von 0,015 Hz durch den Filterprozess nicht

beeinflusst wird. Da Daten des ersten Versuchsblocks verworfen wurden, um Sättigungseffekte zu vermeiden, reduziert sich die Zeitreihe von 400 auf 376 Messpunkte.

3.3 *Neural Traffic* (NT)

NT ist ein Algorithmus, der das Verkehrsaufkommen zwischen Gehirnvoxeln beschreibt. NT ist ein Summenkonnektivitätsmaß, angegeben als Zahlenwert ohne Einheit. Überschreitet der Pearson'sche Korrelationswert der funktionellen Konnektivität einen festgelegten, frei wählbaren Schwellenwert r , so nimmt man an, dass diese Voxel funktionell in Beziehung zueinander stehen. NT wird errechnet, indem für jeden einzelnen Voxel die Anzahl der relevanten funktionellen Konnektivitätsverbindungen gezählt werden (siehe Beispiel in Abb. 2). Die Berechnung von NT- Parameterbildern erfolgt jeweils für die Schwellenwerte $r = 0,35$ und $r = 0,65$ für ein passives Hör- und Lese-Paradigma. Der Schwellenwert $r = 0,65$ stellt stärkere Korrelationen zwischen den Voxeln dar und erbringt somit vergleichsweise weniger Daten als $r = 0,35$.

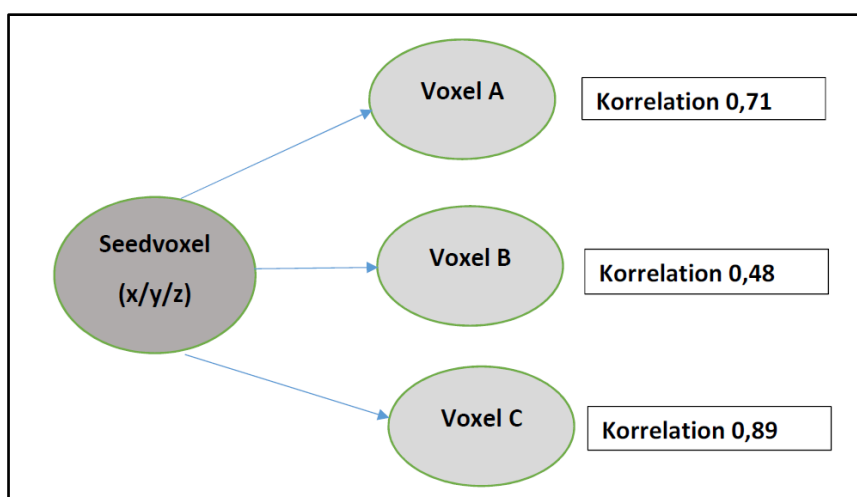


Abb. 2 | Schematische Darstellung des *Neural Traffic*. In diesem Beispiel würde bei einem Schwellenwert $r = 0,65$ die Korrelation des Seedvoxels zu Voxel A und C r überschreiten. Die Anzahl relevanter Verbindungen betrüge 2.

In dieser Arbeit wird NT zur Identifikation von individuellen stimuluspezifischen funktionellen Konnektivitätszentren benutzt. Dies geschieht, indem man *Traffic* Maxima betrachtet. *Traffic* Maxima sind diejenigen Voxel, die die größte Anzahl funktioneller Konnektivität oberhalb des definierten Schwellenwertes zu anderen Gehirnvoxeln besitzen.

3.4 Definition der Ausgangsvoxel (Seedvoxel)

Der gedankliche Ansatz dieser Arbeit besteht darin, das *Paper* „The anatomy of language: contributions from functional neuroimaging“ (C J Price, 2000) heranzuziehen und wortverarbeitende Regionen mit ihren Funktionen zu extrahieren. Die wortverarbeitenden Gehirnareale nach Price wurden mit zwei verschiedenen anatomischen Nomenklaturen abgeglichen, präzise bezeichnet und in den Daten der 8 Probanden aufgesucht. Es handelt sich um die Nomenklaturen der *Software* MARINA (Masks for Region of Interests Analysis) sowie um den in der *Software* MRIcro als *Template* integrierten AAL– Atlas. Ausgangsvoxel sind definiert als *Traffic*- Maxima jedes einzelnen der 8 Probanden in dem wortverarbeitenden Netzwerk nach Price.

Im 19. Jahrhundert wurde das Broca- Areal als Sprachmotorikgebiet, das Wernicke- Areal (der linke posteriore superiore Temporalkortex) als sprachsensorisches Gebiet durch postmortem Läsionsstudien identifiziert. Das Wiederholen gehörter Worte involviert demnach das primäre Hörzentrum, Wernicke- Areal sowie den ventralen Motorkortex. Lautes Lesen aktiviere neben der Sehrinde, das Wernicke- Areal, das primäre Hörzentrum, den ventralen Motorkortex und den linken Gyrus angularis als Ort des Gedächtnisses für visuelle Wortformen. Prices durch funktionelle Bildgebung- Studien gewonnenen Ergebnisse ergänzen das Modell des 19 Jahrhunderts bezüglich der Gehirnareale für auditive und visuelle Wortwiederholung. Das Broca Areal zeige während Lesen und

Wiederholen von gehörten Wörtern Aktivität beschränkt auf die Pars opercularis. Außerdem wird das links lateralisierte Sprachmodell in Frage gestellt und stattdessen eine bilaterale Ausprägung des Sprachsystems beschrieben. Es werden die anatomischen Komponenten (1) der Wiederholung gehörter Wörter, (2) des leisen und lauten Lesens, (3) des semantischen Systems beschrieben. Zu (1) Es werden verschiedene Modalitäten dargestellt: Für Sprachinput zeigen die bilateralen anterioren, posterioren superioren und mittleren Temporallappen besonders viel Aktivität. Für Sprachoutput der linke posteriore superiore Sulcus temporalis, die posterioren, superioren Temporalkortices beidseits, die linke anteriore Insula, die bilateralen Sylvischen sensomotrischen Kortices mit Ausdehnung in den anterioren superioren Temporallappen und das linksfrontale Operculum (Pars opercularis). Der linke posteriore inferiore Temporallappen zeigt Aktivität für die Aufgaben Wortwiederholung, Lesen, Sprachfluss und Benennung von Bildern. Zu (2). Für die Aufgabe „leises Lesen“ zeigen der linke posteriore inferiore Temporalkortex im Gyrus fusiformis, der linke posteriore superiore Temporalkortex (Wernicke), das Kleinhirn und möglicherweise der Gyrus angularis Aktivität. Die Beteiligung des Gyrus angularis ist umstritten und scheint eher an semantischen Prozessen beteiligt zu sein. Für die Aufgabe „lautes Lesen“: zeigt sich das gleiche Aktivitätsmuster wie für „Sprachoutput“ bei der Wiederholung gehörter Wörter. Aktivität für phonologische Wiedergabe, deren Gehirnareale Price dadurch definiert, indem das laute Vorlesen von Wörtern verglichen wird mit dem Aussprechen des Wortes „okay“ auf den gleichen Wort-Stimulus, findet sich im Gyrus lingualis, dem medialen Cerebellum und dem linken präzentralen Gyrus. Das Abrufen von Wörtern lässt sich im linken posterioren inferioren Temporalkortex, der linken anterioren Insula und dem frontalen Operculum lokalisieren. Price vermutet, dass der linke posteriore inferiore Temporalkortex aufgrund seiner doppelten Blutversorgung aus posteriorer und medialer Arteria cerebri nicht durch die postmortalen Läsionsstudien des 19. Jahrhunderts in seiner Bedeutung entdeckt worden ist.

Durch Vergleich mit Läsionsstudien unterscheidet Price eine semantische und eine nichtsemantische Leseroute, zu erster zählt der linke posteriore inferiore Temporalkortex, zu zweiter der linke posteriore superiore Temporalkortex (Wernicke). Zu (3). Zu dem semantischen System mit sprachspezifischen Arealen werden die bilateralen posterioren temporoparietalen Regionen inklusive des linken Gyrus angularis, der linke anteriore inferiore Temporallobus, der inferiore und mittlere Frontalkortex mit dem anterioren Teil des Broca Areals gezählt.

Alle im Folgenden genannten Voxelkoordinaten sind MNI Koordinaten. Beispielsweise sind in Abb. 3 in der auditorischen Bedingung Seedvoxel für die Price- Region „Broca Area“ der Probanden 1 und 2 aufgeführt. Deutlich in diesem Beispiel werden die individuell unterschiedlichen Koordinaten der Voxel für jeden Probanden.

Aud 0.35						
1	2.519	38	MNI:	52	16	32
	2.362	41	MNI:	-50	48	2
	2.162	31	MNI:	46	32	4
	2.051	16	MNI:	-60	20	10
	2.098	35	MNI:	-46	24	18
	1.530	343	MNI:	-32	20	20
	1.915	28	MNI:	-54	30	22
	2.513	41	MNI:	-54	16	32
2	4.339	31	MNI:	-62	8	8
	3.843	14	MNI:	60	14	18
	4.386	25	MNI:	50	16	38
	4.448	343	MNI:	-62	18	10
	3.798	17	MNI:	-52	36	18
	3.477	16	MNI:	-46	26	20
	5.015	32	MNI:	-56	22	24
	3.254	17	MNI:	-44	24	16

Abb. 3 | Beispielhafte Auflistung von Voxeln mit hohem NT. Dargestellt für die auditorische Bedingung für Probanden 1 und 2 (Region „Broca Area“). Angabe in MNI Koordinaten.

3.5 Funktionelle Konnektivität

Funktionelle Konnektivität ist ein Maß, das die funktionelle Ähnlichkeit zwischen einem Ausgangsvoxel und einem zweiten Voxel beschreibt. Ein Ausgangsvoxel muss also im Gegensatz zu NT a priori definiert sein. Abbildungen 4 bis 7 zeigen schematisch das Aktivitätsmuster eines Ausgangsvoxels (Abb.4), hohe Korrelation zum Ausgangsvoxel (Abb.5), geringe Korrelation zum Ausgangsvoxel (Abb.6) sowie negative Korrelation zum Ausgangsvoxel (Abb.7).

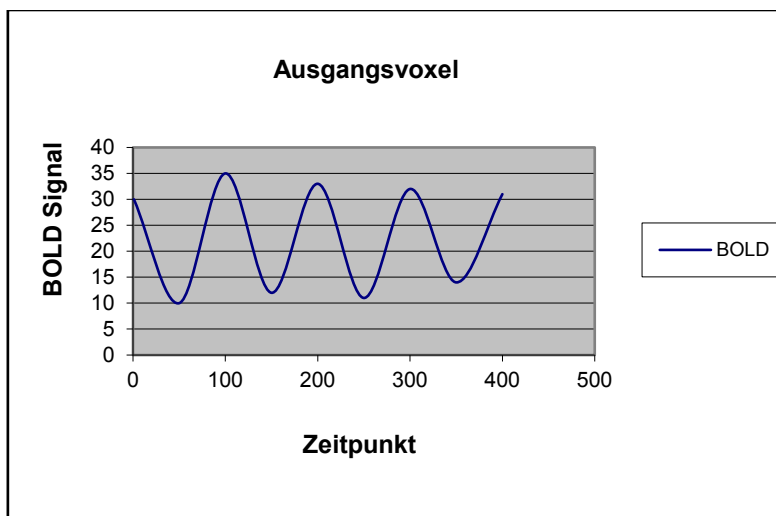


Abb. 4 | Beispielhaftes Aktivitätsmuster eines Ausgangsvoxels. Das BOLD- Signal aufgetragen über die Zeit charakterisiert den Voxel in seinem Aktivitätsmuster.

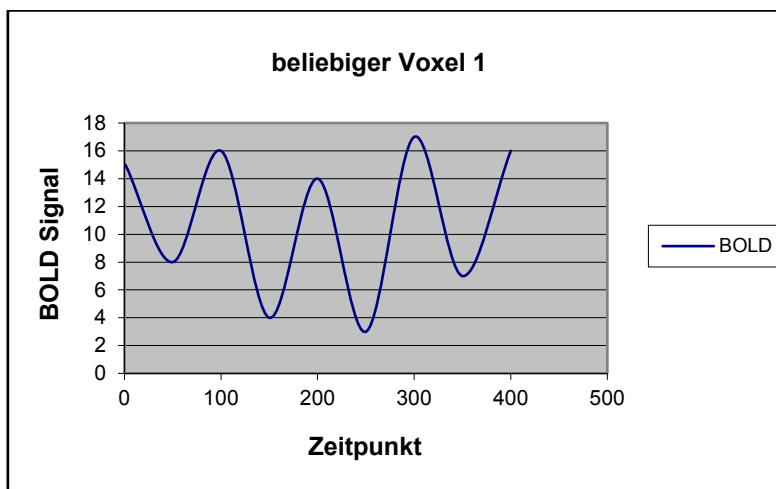


Abb. 5 | Hohe Korrelation. Ein beliebiger Voxel 1 weist ein ähnliches Aktivitätsmuster wie der Ausgangsvoxel auf. Es besteht daher eine hohe Korrelation zwischen dem Ausgangsvoxel und dem Voxel 1.

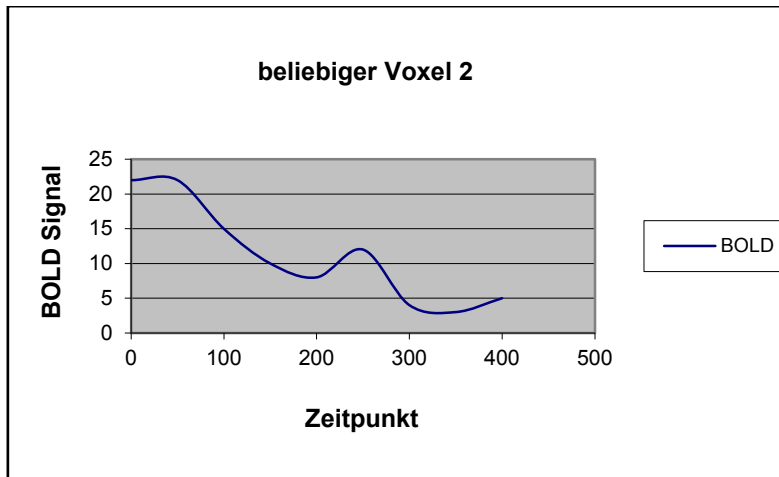


Abb. 6 | Geringe Korrelation. Ein beliebiger Voxel 2 weist kein ähnliches Aktivitätsmuster wie der Ausgangsvoxel auf. Es besteht daher eine geringe Korrelation zwischen dem Ausgangsvoxel und Voxel 2.

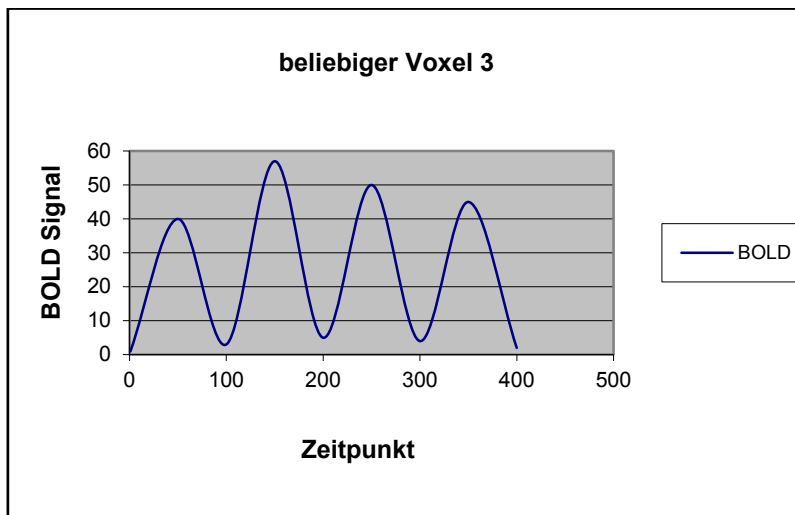


Abb. 7 | Negative Korrelation. Ein beliebiger Voxel 3 weist ein ähnliches Aktivitätsmuster auf, jedoch ist es periodisch verschoben. Es besteht eine negative Korrelation zwischen dem Ausgangsvoxel und Voxel 3.

Diese funktionelle Ähnlichkeit wird anhand der Korrelation ausgedrückt. Das BOLD-Signal wird zur Korrelationserhebung benutzt. Der absolute Wert des BOLD-Signals ist demnach irrelevant. Eine niedrige funktionelle Konnektivität beruht auf einem geringen Korrelationskoeffizienten. Es liegt dann kein ähnliches Aktivierungsmuster von Ausgangs- und Vergleichsvoxel vor. Eine hohe funktionelle Konnektivität hingegen ist der Ausdruck eines ähnlichen Aktivierungsmusters.

3.5.1 Berechnung der funktionellen Konnektivität zu den Seedvoxeln

Als *Compiler* der Programmroutine dient die frei erhältliche *Software* Devil- C++. Mithilfe eines in C++ geschriebenen Algorithmus (FuKon) wird die funktionelle Konnektivität folgendermaßen berechnet: Man berechnet die Korrelationen der BOLD- Werte der Seedvoxel zu den BOLD- Werten aller anderen Voxel des jeweiligen Probanden. Diese Korrelationen werden in Bilddateien ausgegeben: eine Header (.hdr) und eine Image- Datei (.img), lesbar für MRICro, sowie zwei Textdateien. In dieser Bilddatei besitzt der Seedvoxel sinngemäß den Korrelationswert 1, alle anderen Voxel des Probanden sind mit einer Zahl zwischen -1 und +1 versehen und dementsprechend farblich in MRICro kodiert.

3.5.2 Identifikation der lokalen Maxima für jeden Seedvoxel

Ein weiterer in C++ geschriebener Algorithmus, das Programm „neu_nachbar_max_aal_brod.exe“, ermittelt die lokalen Maxima der funktionellen Konnektivität für jeden Seedvoxel. Dazu prüft das Programm systematisch alle Korrelationsstärken der Seedvoxel zu allen anderen Voxeln des Probanden, deren BOLD- Signale während der fMRT- Untersuchung registriert wurden und sucht nach Maxima. So kann die Frage beantwortet werden, welche Gehirnvoxel eine besonders hohe Übereinstimmung mit dem Aktivitätsmuster der Seedvoxel besitzen. Diejenigen Voxel, die so einem Maximum entsprechen, werden vom Programm wie in Abb.8 in einer Textdatei mit der Dateiendung .img.out.txt ausgegeben. Durch die Angabe, wie viele andere konnektivitätsstarke Voxel um den Seedvoxel herumliegen, wird die Größe des Konnektivitätsareals dokumentiert.

109.A1.dat_10_-88_-10_Lingual_R_p_1.img.out - Editor													
Datei	Bearbeiten			Format			Ansicht			?			
Image 109 : A1.dat10_-88_-10_Lingual_R_p_1.img													
517845 Voxel aus A1.dat10_-88_-10_Lingual_R_p_1.img eingelesen, davon 264740 <= 0													
Mean 0.304893, Maximum 0.990104, Minimum -0.710122													
Image-Schwelle 0.095877 Clusterschwelle 10													
0.486	49	MNI:	-4	-64	-42	Tal:	-4	-64	-32	BA:	0	AAL:	Cerebelum_8_L
0.267	343	MNI:	42	-26	-42	Tal:	42	-27	-34	BA:	0	AAL:	NO DATA
0.302	343	MNI:	-30	-20	-42	Tal:	-30	-21	-34	BA:	0	AAL:	NO DATA
0.462	343	MNI:	-38	-12	-42	Tal:	-38	-13	-35	BA:	0	AAL:	Temporal_Inf_L
0.384	30	MNI:	54	6	-42	Tal:	53	4	-36	BA:	20	AAL:	Temporal_Inf_R
0.401	343	MNI:	-30	26	-42	Tal:	-30	23	-36	BA:	0	AAL:	NO DATA
0.238	38	MNI:	-36	-76	-40	Tal:	-36	-75	-30	BA:	0	AAL:	Cerebelum_Crus2_L
0.254	46	MNI:	-34	-60	-40	Tal:	-34	-60	-31	BA:	0	AAL:	Cerebelum_Crus2_L
0.280	343	MNI:	56	-36	-40	Tal:	55	-37	-32	BA:	0	AAL:	Cerebelum_Crus2_R

Abb. 8 | Beispielhafte Ausgabedatei der Programmroutine „neu_nachbar_max_aal_brod.exe“. Von links nach rechts: Absoluter Korrelationswert, aktive Voxel um den Voxel mit dem Maximum herum, MNI-Koordinaten, Talairach- Koordinaten, Brodmann *Area* und AAL Label. Kann die Voxelkoordinate keiner Brodmann *Area* zugeordnet werden, erscheint „BA: 0“. Kann kein AAL Areal zugeordnet werden, so wird dies mit „AAL: No Data“ angegeben.

Das lokale Maximum der funktionellen Konnektivität wurde willkürlich definiert als derjenige Voxel, der einen Korrelationswert $> 0,3$ besitzt sowie im dreidimensionalen Raum mindestens von 10 weiteren Voxeln umgeben ist, die auch einen größeren Korrelationswert als 0,3, jedoch einen kleineren Wert als das lokale Maximum selbst besitzen. Um das lokale Maximum nicht nur mit Koordinaten, sondern auch anatomisch bezeichnen zu können, erfolgte die Zuordnung zu einer AAL oder Brodmann- Region im Programm „neu_nachbar_max_aal_brod.exe“. Die Zuordnung der Voxelkoordinaten geschieht mit einer Toleranz von 3 Voxeln, was 6 mm entspricht.

3.5.3 Grafische Darstellung

Das Seedvoxel- Visualisierungsprogramm (Project1) erstellt ein xy- Koordinatensystem. Die x- Koordinate enthält die Seedvoxel jedes Probanden. Diese sind sortiert nach Gehirnhälften und innerhalb dieser von links nach rechts. Auf der y- Achse sind kortikale Areale in derselben Reihenfolge wie in der nachfolgenden Aufzählung abgebildet. Diese Reihenfolge verläuft in etwa anatomisch von frontal nach occipital. Zuletzt sind mit Nr. 41 und 42 die Basalganglienbestandteile aufgeführt. Subkortikale und cerebelläre Areale werden auf der y- Achse außer Acht gelassen. Es besteht eine Darstellung für den auditiven und eine für den visuellen Versuchsteil.

1. Olfactory	Olfaktorischer Kortex
2. Frontal_Sup	Gyrus frontalis superior
3. Frontal_Sup_Orb	Medial Gyrus frontalis superior, Pars media
4. Frontal_Sup_Orb	Gyrus frontalis superior, Pars orbitalis
5. Frontal_Mid	Gyrus frontalis medius
6. Frontal_Mid_Orb	Gyrus frontalis medius, Pars orbitalis
7. Frontal_Inf_Orb	Gyrus frontalis inferior, Pars orbitalis
8. Frontal_Inf_Tri	Gyrus frontalis inferior, Pars triangularis
9. Frontal_Inf_Oper	Gyrus frontalis inferior, Pars opercularis
10. Rolandic_Oper	Rolandisches Operculum
11. Rectus	Gyrus rectus
12. Supp_Motor_Area	supplementärmotorisches Areal
13. Precentral	Gyrus precentralis
14. Postcentral	Gyrus postcentralis
15. Parietal_Sup	Gyrus parietalis superior
16. Parietal_Inf	Gyrus parietalis inferior
17. SupraMarginal	Gyrus supramarginalis
18. Angular	Gyrus angularis
19. Paracentral_Lobule	Lobulus paracentralis
20. Precuneus	Precuneus
21. Insula	Insula
22. Heschl	Heschlregion
23. Temporal_Sup	Gyrus temporalis superior
24. Temporal_Pole_Sup	Gyrus temporalis superior, Polus temporalis
25. Temporal_Mid	Gyrus temporalis medius
26. Temporal_Pole_Mid	Gyrus temporalis medius, Polus temporalis
27. Temporal_Inf	Gyrus temporalis inferior

28. Occipital_Sup	Gyrus occipitalis superior
29. Occipital_Mid	Gyrus occipitalis medius
30. Occipital_Inf	Gyrus occipitalis inferior
31. Cuneus	Cuneus
32. Calcarine	Calcarinische Region
33. Lingual	Gyrus lingualis
34. Fusiform	Gyrus fusiformis
35. Cingulum_Ant	Gyrus cinguli, Pars anterior
36. Cingulum_Mid	Gyrus cinguli, Pars media
37. Cingulum_Post	Gyrus cinguli, Pars posterior
38. ParaHippocampal	Gyrus parahippocampalis
39. Hippocampus	Hippocampus
40. Caudate	Lobus caudatus
41. Amygdala	Amygdala
42. Putamen	Putamen

Die im vorherigen Kapitel erwähnten lokalen Maxima der funktionellen Konnektivität sind in den aufgelisteten 42 Regionen auf der y- Achse jeweils der entsprechenden Region zugeordnet. Man kann durch diese Darstellung spaltenweise ablesen, zu welchen kortikalen Arealen die Seedvoxel besonders hohe Korrelationskoeffizienten besitzen. Die Korrelationswerte sind stufenweise farblich kodiert. Die Farbe zur jeweiligen Korrelation ist willkürlich gewählt, aber in allen Probanden gleich. Die unterschiedlichen Farbtöne stehen jeweils für eine andere Korrelationsstärke. Wie in Abb. 9 dargestellt, besitzen geringe Korrelationsstärken zwischen 0,3 und 0,5 blaue Farbtöne, 0,6 und 0,7 grüne Farbtöne, 0,8 ist gelb dargestellt und die Korrelationsstärken 0,9 und 1,0 sind mit roten Farbtönen belegt. Für weitere Informationen bezüglich der Bearbeitung der Daten mit Hilfe des Seedvoxel- Visualisierungsprogrammes siehe Anhang.

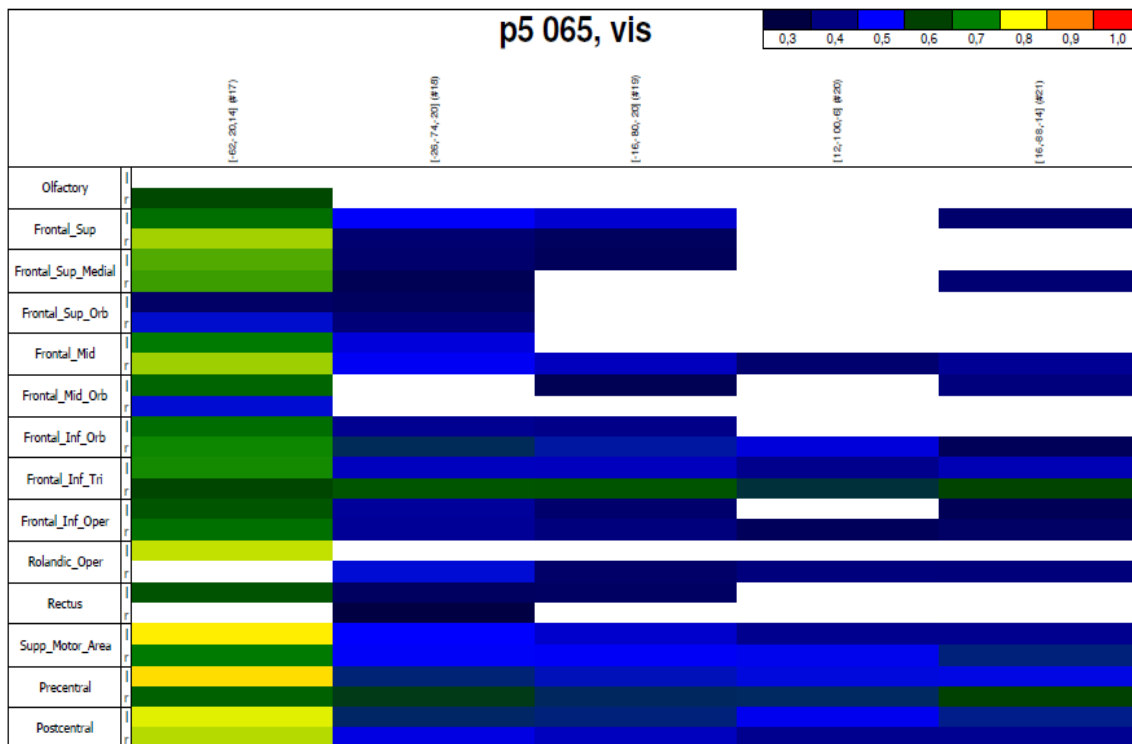


Abb. 9 | Visualisierung der Korrelationen der Seedvoxel mit den kortikalen Zielregionen. Hier exemplarisch für Proband Nr. 5 bei einem Schwellenwert $r = 0,65$ unter Lesebedingung. Auf der oberhalb verlaufenden x- Achse sind die Seedvoxel des Probanden Nr. 5 aufgetragen. Die y- Achse ist hier nur teilweise dargestellt und zeigt die kortikalen Regionen „Olfactory“ bis „Postcentral“, jeweils für linke (oberhalb) und rechte Hirnseite (unterhalb).

Die farblich kodierte Zuordnung der Seedvoxel jedes Probanden zu den kortikalen Arealen wird ergänzt durch eine Excel- Tabelle, in der statt einer Farbkodierung die zugehörigen Zahlenwerte vermerkt sind. Beispielfhaft ist ein Auszug aus so einer Tabelle in Abb. 10 dargestellt.

	A	B	C	D
1			[-68,-20,12] (	[-62,-16,8] (#
2	Frontal_Mid	r	0,75999999	0,75999999
3	Frontal_Mid	l	0,745	0,72899997
4	Frontal_Mid_Orb	r	0,68199998	0,67000002
5	Frontal_Mid_Orb	l	0,65399998	0,71200001
6	Frontal_Inf_Orb	r	0,70200002	0,69
7	Frontal_Inf_Orb	l	0,76700002	0,70499998
8	Frontal_Inf_Tri	r	0,68699998	0,68000001
9	Frontal_Inf_Tri	l	0,77100003	0,611
10	Frontal_Inf_Oper	r	0,61000001	0,65399998
11	Frontal_Inf_Oper	l	0	0,55000001
12	Rolandic_Oper	r	0,745	0,75300002
13	Rolandic_Oper	l	0,63499999	0,85100001
14	Supp_Motor_Area	r	0,815	0,83600003
15	Supp_Motor_Area	l	0,84899998	0,86199999
16	Precentral	r	0,852	0,84899998
17	Precentral	l	0,86199999	0,82200003
18	Postcentral	r	0,838	0,84100002
19	Postcentral	l	0,81599998	0,83099997

Abb. 10 | Beispielhafte Ausgabedatei des Programmes "Project 1". Für Proband Nr 1, auditiv, $r = 0,65$. In Spalte A sind die kortikalen Zielregionen aufgelistet. Spalte B bezeichnet rechte („r“) oder linke („l“) Hirnhälfte der Zielregion aus Spalte A. Spalten C, D, E, etc. führen in Zeile 1 die Seedvoxel auf, darunter entsprechend der Zielregion den Korrelationswert des Seedvoxels mit der Zielregion.

Bei den Zielregionen, zu denen die Seedvoxel eine hohe funktionelle Konnektivität besitzen, wird unterschieden zwischen Regionen, die zum bestehenden Wortverarbeitungsnetzwerk gehören (Price- Regionen) und Regionen, die nicht in diesem Modell erwähnt wurden (Nicht- Price- Regionen). Eine weitere Differenzierung erfolgt hemisphärengetrennt nach der Zugehörigkeit zu den Gehirnlappen und den Strukturen „Limbisches System“ und „Subkortikale Kerne“. Es werden für die einzelnen Seedvoxel seitengetreunt für die Gehirnlappen sowie für die subkortikalen Strukturen und Kerne Mittelwerte der Korrelationskoeffizienten gebildet. Einmal der Mittelwert zu allen Price- Regionen und das andere Mal zu den Nicht- Price- Regionen. Der prozentuale Anteil von Seedvoxeln mit einem Mittelwert der Korrelationskoeffizienten oberhalb von 0,65 wird auch berechnet. Tabelle 1 zeigt die anatomische Zuordnung zu den Hirnlappen und der

Zuordnung „Price“ bzw. „Nicht- Price“- Region. Die Tabelle entspricht dem Ordnungsschema, das auf die Probandendaten angewandt wurde.

Price- Regionen	Nicht- Price- Regionen
FRONTAL	FRONTAL
Frontal_Mid	Frontal_Sup
Frontal_Mid_Orb	Frontal_Sup_Medial
Frontal_Inf_Orb	Frontal_Sup_Orb
Frontal_Inf_Tri	Paracentral_Lobule
Frontal_Inf_Oper	Rectus
Supp_Motor_Area	Olfactory
CENTRAL	Limbisches System
Rolandic_Oper	ParaHippocampal
Precentral	Hippocampus
Postcentral	
PARIETAL	PARIETAL
Parietal_Sup	Precuneus
Parietal_Inf	

SupraMarginal	
Angular	
Insula	
TEMPORAL	Subcortical Grey Nuclei
Heschl	Amygdala
Temporal_Sup	Caudate
Temporal_Pole_Sup	Putamen
Temporal_Mid	
Temporal_Pole_Mid	
Temporal_Inf	
OCCIPITAL	OCCIPITAL
Calcarine	
Lingual	Occipital_Sup
Fusiform	Occipital_Mid
Cingulum_Ant	Occipital_Inf
Cingulum_Mid	Cuneus
Cingulum_Post	

Tabelle 1 | Darstellung von „Price“ und „Nicht- Price“- Regionen sowie Zuordnung der Zielregionen zu Hirnlappen und Kerngebieten.

Als Grenzwert hoher funktioneller Konnektivität wird dabei 0,65 gewählt. Abb. 11 zeigt exemplarisch die Darstellung funktioneller Konnektivität: In Zeile 2 sind die Koordinaten der Seedvoxel vorangestellt, die Werte der funktionellen Konnektivität zu in den Zeilen beschrifteten Zielregionen findet man, in der entsprechenden Spalte.

	A	B	C
1	rote Markierung bedeutet größer 0,65		
2			[-68,-20,12] (
3			
4	FRONTAL		
5	Frontal_Mid		0,745
6	Frontal_Mid_Orb		0,65399998
7	Frontal_Inf_Orb		0,76700002
8	Frontal_Inf_Tri		0,77100003
9	Frontal_Inf_Oper		0
10	Supp_Motor_Area		0,84899998
11	MITTELWERT		0,631
12			

Abb. 11 | Zuordnung der Korrelationskoeffizienten der Seedvoxel mit den anatomisch geordneten Zielregionen. Spalte A gibt die Zielregionen geordnet nach Hirnlappen an (in diesem Beispiel handelt es sich um „Price- Regionen“). Spalte B gibt hier mit „|“ die linke Hirnseite der Zielregionen an. Spalten C, D, etc. führen die Seedvoxel in (x/y/z) Koordinaten auf. In der Zeile „MITTELWERT“ ist der Mittelwert der Korrelationskoeffizienten innerhalb der Hirnregion angegeben (Hier z.B. „Frontal“) und zwar für den jeweiligen Seedvoxel (Hier für (-68,-20,12) in Spalte C). Überschreitet dieser Mittelwert 0,65 (willkürlich festgelegter Grenzwert hoher Konnektivität), wird er rot markiert und der zugehörige Seedvoxel fließt in die prozentuale Angabe mit ein.

Man erhält durch das oben beschriebene Vorgehen also zwei Zahlenwerte für einen Gehirnlappen: Einen Mittelwert, der selbst ein Mittelwert aller Korrelationskoeffizienten jedes einzelnen Seedvoxels ist, sowie eine Prozentzahl, die angibt, wie viele Seedvoxel einen Mittelwert hoher Konnektivität aufweisen. Die Frage nach dem Seitenvergleich einzelner Gehirnlappen und Strukturen hinsichtlich der mittleren Verbindungsstärke und prozentualen Beteiligung wurde mit einem gepaarten t- Test untersucht. Die Unterschiede

zwischen den verschiedenen Zielgebieten, insbesondere zwischen Price- und Nicht- Price-Regionen wurden mit einem (ungepaarten) t- Test ermittelt. Die Testung wird mit der Software „Sigma Stat“ durchgeführt. Dabei wird innerhalb des Statistikprogrammes auf Vorliegen einer Normalverteilung geprüft; falls diese nicht vorliegt, werden die entsprechenden Tests für nicht normalverteilte Daten herangezogen. Die Irrtumswahrscheinlichkeit für signifikante Unterschiede wurde auf $p < 0,05$ gesetzt.

3.6 Frequenz-Analyse

3.6.1 Identifikation von individuellen stimuluspezifischen Frequenzkomponenten der neuronalen Aktivität durch Fourier- Analyse

Mittels Fourier- Analyse kann man die an 376 verschiedenen Zeitpunkten ermittelten BOLD- Signale der Seedvoxel, welche die im vorangegangenen Teil beschriebenen lokalen Maxima des *Neural Traffic* sind, in eine Frequenzdarstellung überführen.

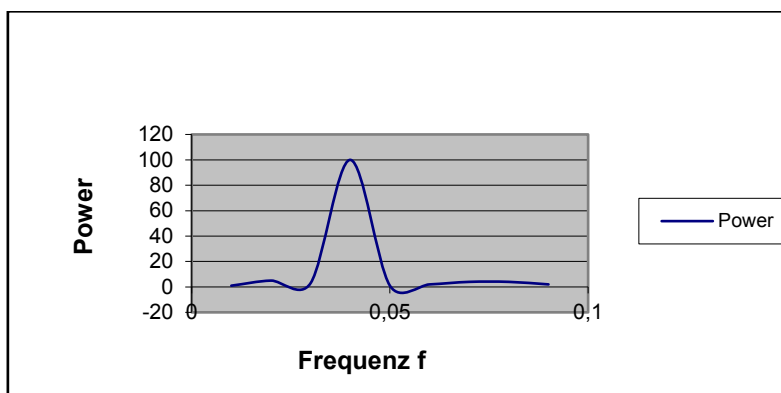


Abb. 12 | Darstellung nach Fourier Analyse. Die *Power* entspricht der Amplitude des BOLD- Signals zum Quadrat. Die Frequenz entspricht der Anzahl der Schwingungen pro Zeit.

Man erhält die Amplituden der jeweiligen Frequenzanteile $A(f)$ als Funktion der Frequenz f und hier - im Falle zeitlich veränderlicher Amplitudenverteilungen- eine Verteilung $A(f,t)$ als Funktion der Frequenz f und der Zeit t .

3.6.2 Berechnung der *Power*- Spektren

Das Fourier Theorem besagt, dass jedes periodische Signal in verschiedene Sinussignale zerlegbar ist, nämlich in eine Grundschiwingung und ganzzahlige Frequenzvielfache. Mittels eines geschriebenen Algorithmus' können aus den Ergebnissen der Fourier-Analyse die *Power*- Spektren berechnet werden. Der relevante Frequenzbereich wird folgendermaßen ermittelt: Die im Probandenversuch angewandte TR (*repetition time*) beträgt 3 Sekunden. Somit ergäbe sich eine zeitliche Auflösung von $1/3 \text{ sec} = 0,3333 \text{ Hz}$. Das Nyquist- Shannonsche Abtasttheorem besagt jedoch, dass ein Signal mit einer Minimalfrequenz von 0 Hz und einer Maximalfrequenz f_{max} , mit einer Frequenz größer als $2 f_{\text{max}}$ abgetastet werden muss, damit man aus dem so erhaltenen Signal das Ursprungssignal ohne Informationsverlust ermitteln kann. Somit ergäbe sich eine Maximalfrequenz von $1/6 \text{ sec} = 0,1666 \text{ Hz}$. Damit niederfrequente MRT- Artefakte wie *Scanner- Drift* und Kopfbewegungen sowie hochfrequente puls- und atemabhängige Artefakte korrigiert werden, wird die untere Abtastzeit auf 10 Sekunden, die obere Abtastzeit auf 100 Sekunden festgelegt. Somit ergibt sich ein Frequenzband zwischen 0,01 und 0,1 Hz. Aufgrund der Länge eines Versuchsblocks von ca. 20 Minuten mit 376 Messpunkten und einer *repetition time* von 3 Sekunden ergibt sich der Zusammenhang: $1/(3 \times 376) = 1/1128 \text{ (sec.)} = 0,000887 \text{ Hz}$. Somit werden 101 verschiedene Frequenzen zwischen 0,01 und 0,1 Hz betrachtet.

3.6.3 Differenzierung zwischen Rauschen und reinem Signal

Das BOLD- Signal aufgetragen über die Zeit ergibt eine periodische Funktion. Die *Power* der BDF besteht sowohl aus Rauschen (*Noise*) als auch reinem Signal. In der Spektralanalyse stellt sich die Aufgabe, zwischen Signal und *Noise* zu unterscheiden. Es wird postuliert, dass Frequenzen, die kleiner oder größer als die BDF sind, nur aus *Noise* bestehen. Dieses Postulat ist sicherlich eine Überschätzung des *Noise*- Anteils und ist somit konservativ.

	A	B	C	D
1	Frequenz(Hz)	noise Mean V1	noise std V1	m V1 + std V1
2	0,010638	40707,2172	38550,2574	79257,4746
3	0,011525	38240,33114	36275,9933	74516,32448
4	0,012411	36128,24122	34328,8219	70457,06309
5	0,013298	34295,68668	32639,3588	66935,04549
6	0,014184	32694,00923	31162,7452	63856,75446
7	0,015071	31279,16307	29858,3746	61137,53767
8	0,015957	30022,93991	28700,2412	58723,18108
9	0,016844	28897,67822	27662,8434	56560,52158
10	0,01773	27886,08445	26730,2379	54616,32238
11	0,018617	26969,79734	25885,4973	52855,29466
12	0,019504	26136,85177	25117,5907	51254,44246
13	0,02039	25377,19187	24417,2474	49794,43924
14	0,021277	24680,04803	23774,5387	48454,58669
15	0,022163	24039,39753	23183,9121	47223,30963
16	0,02305	23447,35823	22638,101	46085,45927
17	0,023938	22899,7000	22100,0000	45000,0000

Abb. 13 | Schwellenwerte zur Differenzierung zwischen *Noise* und Signal. Spalte A enthält 101 Frequenzkanäle in aufsteigender Reihenfolge (Zeile 7 ist fett, da BDF) Spalte B *Noise* Mittelwert Proband 1, Spalte C *Noise* Standardabweichung Proband 1, Spalte D *Noise* Mittelwert+ *Noise* Standardabweichung Proband 1.

Der Schwellenwert, der zwischen *Noise* und Signal unterscheidet, ist sehr hoch angesetzt. Um dies zu erreichen, addiert man im 3D- Raum die *Power* aller Voxel, nicht nur der Seedvoxel, für jede einzelne Frequenz. Dann bildet man Mittelwert und

Standardabweichung. Man definiert nun für jede Frequenz einen *Power*- Wert, nämlich die Summe aus Mittelwert und dreifacher Standardabweichung. Dieser Wert muss überschritten werden, damit die *Power* eines Voxels zu einer gewissen Frequenz nicht als *Noise* bewertet wird. Diese *Noise*/Signal- Schwellenwerte aller 100 verschiedenen Frequenzen extrapoliert man für die Ausgangsfrequenz 0,015 Hz. So kann man in der *Power* der Anregungsfrequenz den *Noise*- Anteil ermitteln. Die Frequenzen, die nach dieser *Noise*- Filterung übrig bleiben, stellen also eher einer Unterschätzung dar. Durch diese sicherlich konservative Herangehensweise vermeidet man Verwechslungen von tatsächlichen Frequenzen und Rauschen. Andererseits könnten nur schwach ausgeprägte Frequenzen durch diese konservative Vorverarbeitung erst gar nicht registriert werden.

3.6.4 Vorgehensschritte in der Frequenzanalyse

Aufgrund des Blockdesigns des Versuches (mit *on*- und *off*- Phasen) wurde eine Fundamentalfrequenz von $\sim 0,015$ Hz erzeugt. Es wird geprüft, ob diese Fundamentalfrequenz in allen Ausgangsvoxeln der Probanden wiederauffindbar ist. Das Zustandekommen von Obertönen ist durch die abrupten Übergänge von Aktivierung zu Ruhe im Blockdesign zu erklären. Obertöne sind hier ganzzahlige Vielfache der Anregungsfrequenz 0,015 Hz, also $n \cdot 0,015$ Hz. Bei einer Maximalfrequenz von 0,1 Hz betrachtet man $n=2$ (0,03 Hz), $n=3$ (0,045 Hz), $n=4$ (0,06 Hz), $n=5$ (0,075 Hz), $n=6$ (0,09 Hz). Frequenzen, die also 0,015 Hz betragen oder ein ganzzahliges Vielfaches davon darstellen, sind in der Frequenzanalyse als Anregungsfrequenz zu werten. Um Verwechslungen mit Obertönen oder Anregungsfrequenz zu vermeiden, werden um die Frequenzen 0,015 Hz, 0,03 Hz, 0,045 Hz, 0,06 Hz, 0,075 Hz und 0,09 Hz jeweils zwei Frequenzkanäle Abstand eingehalten, $2 \times 0,00083$ Hz. Diese vier Frequenzen fließen nicht

in die Frequenzanalyse ein. In Abb. 14 ist das Vorgehen bei der Identifikation zusätzlicher Frequenzkomponenten exemplarisch dargestellt. In Spalte A sind alle Seedvoxel des Probanden aufgelistet, farblich markiert nach Voxeln der linken und rechten Hirnhemisphäre (bzw. median). Die verschiedenen Frequenzen sind in Zeile 1 fortlaufend in aufsteigender Reihenfolge von links nach rechts aufgeführt. Ist eine Frequenzkomponente im Aktivitätsmuster des Voxels vorhanden, so erscheint sie in dessen Zeile. Die Häufigkeit des Vorkommens der Frequenzkomponenten wird prozentual in Bezug auf die Anzahl der Seedvoxel dokumentiert.

	A	B	C	D	E	F	G
1	Voxel/Frequenz_Hz	0.010638	0.011525	0.012411	0.013298	0.014184	0.015071
2	-46_-60_-24		0.011525		0.013298	0.014184	0.015071
3	-32_-66_-20		0.011525		0.013298	0.014184	0.015071
4	-26_-24_74				0.013298		0.015071
5	-26_-68_-18		0.011525		0.013298	0.014184	0.015071
6	-16_-80_-18		0.011525		0.013298	0.014184	0.015071
7	-12_-82_50						0.015071
8	-12_-88_-16		0.011525		0.013298	0.014184	0.015071
9	-8_-56_4				0.013298	0.014184	0.015071
10	-4_-74_-8				0.013298	0.014184	0.015071
11	-2_0_72				0.013298	0.014184	0.015071
12	-2_-82_16					0.014184	
13	-2_-94_12				0.013298	0.014184	
14	0_4_74				0.013298	0.014184	0.015071
15	0_-60_8				0.013298	0.014184	0.015071
16	16_-18_76				0.013298		0.015071
17	24_-80_-24		0.011525		0.013298	0.014184	0.015071
18	32_-44_68				0.013298		0.015071
19	36_-60_-22		0.011525		0.013298	0.014184	0.015071
20	38_-54_-22		0.011525		0.013298	0.014184	0.015071
21							
22	Leerzellen	19	11	19	2	4	2
23	Häufigkeit der Frequenz	0	8	0	17	15	17
24	Prozent an allen Voxeln	0	42,1053	0	89,4737	78,9474	89,4737

Abb. 14 | Exemplarischer Auszug aus der Frequenzanalyse. In Spalte A sind die Seedvoxel, lila steht für die linke Hemisphäre, rot für die rechte, schwarz für mediane Voxel. In Zeile 23 ist die absolute Häufigkeit der Frequenz abgebildet, in Zeile 24 die prozentuale Häufigkeit. Die Spalten B, C, D, etc. sind in Zeile 1 fortlaufend mit den 101 Frequenzkanälen markiert. Erscheint die Frequenz in der entsprechenden Zeile, in der der Seedvoxel steht, so ist diese Frequenz im Aktivitätsmuster des Seedvoxels vorhanden. In Spalte G ist die Anregungsfrequenz fett markiert.

Aufgrund der konservativen Abschätzung der *Noise*-Komponenten sind alle ermittelten Frequenzkomponenten spezifisch für die einzelnen Probanden. Die Verteilung ist jedoch sehr heterogen, sodass eine gedrittelte Einteilung der Frequenzkomponenten als Beschreibungsskala sinnvoll erscheint. Dabei wird die prozentuale Häufigkeit, mit der die Frequenzkomponenten in der Ausgangsvoxel-Aktivität vorkommen, beschrieben. Im unteren Drittel sind Frequenzkomponenten, die nur im Aktivitätsverhalten einiger weniger Ausgangsvoxel vorhanden sind. Im oberen Drittel sind diejenigen Komponenten, die im Aktivitätsmuster vieler Ausgangsvoxel vorhanden sind.

4 Ergebnisse

4.1 Funktionelle Konnektivität

4.1.1 Darstellung von Aktivitätszentren anhand der funktionellen Konnektivität

Die individuellen wortverarbeitenden Gehirnvoxel der Probanden sind innerhalb der von Price genannten Regionen lokalisierte Voxel mit einem von ihrer Umgebung abweichend hohen Wert von *Neural Traffic* (*Traffic Maxima*). Wenn diese *Traffic Maxima* (Seedvoxel) in ihrem Aktivitätsmuster Ähnlichkeit zu anderen Regionen im Gehirn besitzen, drückt sich dies in einer hohen funktionellen Konnektivität aus. Diese Regionen im Gehirn mit einer hohen funktionellen Konnektivität mit den Seedvoxeln sind ermittelt worden und in den Zielregionen „Price“ sowie „Nicht- Price“ enthalten. Ein Aspekt, dem im Folgenden nachgegangen wird, ist die Frage, ob es eine Seitendifferenz zwischen den Aktivitätsmustern der Zielregionen gibt. Des Weiteren ist es von Interesse, ob die Seedvoxel auch mit außerhalb der bisher von Price beschriebenen Sprachverarbeitungsnetzwerke liegenden Regionen hohe funktionelle Konnektivität

aufweisen. Falls dies so ist, gäbe diese Arbeit Hinweise darauf, die bisher bekannten Sprachverarbeitungsnetzwerke zu überdenken bzw. zu erweitern. Für die detaillierte Auflistung der Ergebnisse siehe Anhang.

4.1.2 Seitengetrennte Darstellung der Mittelwerte der funktionellen Konnektivität für den auditiven und visuellen Versuchsteil

Dargestellt in Tabelle 2 sind die Mittelwerte der funktionellen Konnektivität für den auditiven Versuchsteil der Probanden 1 bis 8, getrennt nach linker und rechter Hirnseite. Der „Group“- Wert ist wiederum ein Mittelwert der einzelnen Probandenmittelwerte. In der linken Tabellenhälfte sind Price- Regionen, in der rechten Hälfte sind Nicht- Price- Regionen aufgelistet.

Price	Links	Rechts	Nicht- Price	Links	Rechts
Frontal	0,60	0,62	Frontal	0,53	0,50
Central	0,74	0,74	Limb.System	0,45	0,50
Parietal	0,59	0,59	Subc.GreyNuclei	0,37	0,39
Temporal	0,67	0,68	Parietal	0,73	0,74
Occipital	0,60	0,52	Occipital	0,62	0,60
Mittelwert	0,64		Mittelwert	0,54	

Tabelle 2 | Mittelwerte der funktionellen Konnektivität, auditiver Versuchsabschnitt. Links seitengetreunte *Group*- Mittelwerte der funktionellen Konnektivität für „Price- Regionen“. Rechts seitengetreunte *Group*- Mittelwerte für „Nicht- Price“- Regionen.

Durch Anwendung des gepaarten t- Testes stellt man fest, dass der gemessene Unterschied zwischen den Mittelwerten von linker und rechter Hemisphäre in 9 von 10 Regionen nicht groß genug ist, um die Möglichkeit auszuschließen, dass Werte von rechter und linker Seite gleich groß sind. Der gepaarte t- Test zeigt in der Price „Occipital“ Region einen

signifikanten Unterschied zwischen linker und rechter Hemisphäre an ($P = 0,0387$), bei einem linksseitig höheren Mittelwert von 0,60 gegenüber 0,52 rechts. Testet man alle Price- Regionen (links und rechts) gegen Nicht- Price- Regionen (links und rechts), so zeigt sich hier ein signifikanter Unterschied ($P = 0,00295$). Der Mittelwert der wortverarbeitenden Price- Regionen beträgt 0,64, derjenige der Nicht- Price- Regionen 0,54. Somit ist die funktionelle Konnektivität der auditiven Seedvoxel signifikant höher zu wortverarbeitenden Regionen als zu Nicht- Price- Regionen. Tabelle 3 stellt die Mittelwerte der funktionellen Konnektivität für den visuellen Versuchsteil dar:

Price	Links	Rechts	Nicht- Price	Links	Rechts
Frontal	0,41	0,49	Frontal	0,31	0,30
Central	0,49	0,51	Limb.System	0,39	0,37
Parietal	0,43	0,45	Subc.GreyNuclei	0,24	0,25
Temporal	0,39	0,50	Parietal	0,39	0,48
Occipital	0,53	0,49	Occipital	0,64	0,67
Mittelwert	0,47		Mittelwert	0,40	

Tabelle 3 | Mittelwerte der funktionellen Konnektivität, visueller Versuchsabschnitt. Siehe Tabelle 2.

Im visuellen Versuchsabschnitt zeigt der gepaarte t- Test keinen signifikanten Seitenunterschied an, außer in der Region „Price Temporal“ ($P = 0,0018$), mit einem rechtsseitig höheren Mittelwert von 0,50 gegenüber 0,39 linksseitig. Testet man Price gegen Nicht- Price- Regionen mit dem normalen t- Test, so erhält man auch hier einen signifikanten Unterschied ($P = 0,0426$) bei einem Mittelwert der Price- Regionen von 0,47 und 0,40 der Nicht- Price- Regionen. Unter auditiver Bedingung ist eine occipitale linksseitige Region, unter visuellen Bedingungen eine temporale rechtsseitige Hirnregion signifikant in ihrer funktionellen Konnektivität von der Gegenseite zu unterscheiden. Es zeigt sich im auditiven wie auch im visuellen Versuchsabschnitt, dass Regionen, die zum

bestehenden Wortverarbeitungsnetzwerk gehören (Price- Regionen) signifikant höhere Mittelwerte der funktionellen Konnektivität aufweisen ($P = 0,0426$).

4.1.3 Seitengetrennte Darstellung der prozentualen Beteiligung von Seedvoxeln mit einer funktionellen Konnektivität $> 0,65$ für den auditiven und visuellen Versuchsteil

In Tabelle 4 sind die prozentualen Beteiligungen der Seedvoxel mit einem Mittelwert $> 0,65$ an der Gesamtzahl der Seedvoxel, zusammengefasst in *Group*- Werten, für den auditiven Versuchsabschnitt dargestellt.

Price	Links	Rechts	Nicht- Price	Links	Rechts
Frontal	50,85	64,97	Frontal	24,49	15,64
Central	74,07	81,68	Limb.System	16,51	25,00
Parietal	53,06	58,30	Subc.GreyNuclei	9,29	14,48
Temporal	57,86	60,23	Parietal	84,38	75,91
Occipital	57,75	29,41	Occipital	62,23	53,50
Mittelwert	58,82		Mittelwert	38,14	

Tabelle 4 | Prozentuale Beteiligungen der Seedvoxel mit einem Mittelwert $> 0,65$ an der Gesamtzahl der Seedvoxel. Auditiver Versuchsabschnitt.

Wie im Vergleich der Mittelwerte zwischen linker und rechter Hirnseite ist auch ein signifikanter Unterschied im gepaarten t- Test für die Region „Price Occipital“ feststellbar ($P=0,0432$). In den anderen 9 Regionen ist im Seitenvergleich kein signifikanter Unterschied im gepaarten t- Test nachweisbar. Vergleicht man Price- Regionen mit Nicht- Price- Regionen im normalen t- Test, so ist ein statistisch signifikanter Unterschied feststellbar ($P=0,00276$). Der Anteil von Seedvoxeln mit einer funktionellen Konnektivität $> 0,65$ mit Zielregionen im Price- Netzwerk beträgt 58,82%, der mit Zielregionen

außerhalb des Price- Netzwerkes 38,14%. In Tabelle 5 sind die prozentualen Beteiligungen der überschwelligen Voxel ($> 0,65$) an der Anzahl der Seedvoxel, zusammengefasst in *Group*- Werten, für den visuellen Versuchsteil dargestellt. Testet man die einzelnen Regionen mittels des gepaarten t- Testes (bzw. u.a. Wilcoxon Signed Rank Test und Mann-Whitney Rank Sum Test bei fehlender Normalverteilung im t- Test) im Seitenvergleich, so lässt sich kein signifikanter Unterschied feststellen.

Price	Links	Rechts	Nicht- Price	Links	Rechts
Frontal	19,50	18,09	Frontal	2,21	1,47
Central	26,29	21,41	Limb.System	8,09	2,21
Parietal	20,47	25,03	Subc.GreyNuclei	2,86	3,24
Temporal	11,37	21,55	Parietal	32,83	32,83
Occipital	33,00	8,56	Occipital	44,17	64,81
Mittelwert	20,53		Mittelwert	19,47	

Tabelle 5 | Prozentuale Beteiligungen der Seedvoxel mit einem Mittelwert $> 0,65$ an der Gesamtzahl der Seedvoxel. Visueller Versuchsabschnitt.

Unter auditiver Bedingung ist in der occipitalen Price- Region ein Seitenunterschied festzustellen, mit höherem Wert in der rechten Hemisphäre. Unter visueller Bedingung ist weder eine Seitendifferenz der einzelnen Regionen, noch ein Unterschied zwischen Price- und Nicht- Price- Regionen erkennbar.

4.1.4 Prozentualer Vergleich der Seedvoxel in wort- und nichtwortverarbeitenden Zielregionen

Testet man Price- Regionen gegen Nicht- Price- Regionen mit dem Mann- Whitney Rank Sum Test (bei fehlender Normalverteilung im t- Test), so ist auch hier kein signifikanter Unterschied ermittelbar.

4.1.5 Seedvoxel und Autokorrelation zu korrespondierenden AAL Zielregionen

Wie erwartet, lassen sich bei allen kortikalen Seedvoxeln der Probanden (x- Achse der Visualisierung) eine Autokorrelation zu der entsprechenden AAL Zielregion (y- Achse der Visualisierung) mit dem Korrelationsfaktor 1,0 feststellen. Diese Autokorrelationsprüfung dient genau genommen nur der Prüfung der methodischen Kohärenz und liefert keine weiteren Erkenntnisse.

4.2 Frequenzanalyse

4.2.1 Untersuchung auf das Vorhandensein der BDF (Block Design Frequency)

Neuronale Hirnstrukturen weisen in ihrem Aktivitätsmuster Frequenzen auf. Es wird postuliert, dass die durch das Blockdesign des Experimentes erzeugte BDF (0,015 Hz) den visuellen und auditiven Input während des Versuches repräsentiert. Auch das Vorhandensein von Obertönen der BDF wird zu diesem Input gezählt. Das Aktivitätsmuster der Seedvoxel wird analysiert und da angenommen wird, dass diese an wortverarbeitenden Netzwerken beteiligt sind, ist zu erwarten, dass sich die BDF in ihrem Aktivitätsmuster wiederfinden lässt. In den folgenden Tabellen werden für jeden Probanden seitengetrennt Voxel aufgeführt, die in ihrem Aktivitätsmuster keine BDF aufweisen. Die Motivation dieser Fragestellung ist es zum einen, die als wortverarbeitend geltenden Voxel darauf zu prüfen, ob sie tatsächlich in dem Experiment die BDF aufweisen und somit an der Wortverarbeitung beteiligt sind. Zum anderen sucht man Gehirnareale, von denen nach aktuellem Wissensstand angenommen wird, dass sie an wortverarbeitenden Netzwerken beteiligt sind, jedoch in diesem Experiment nicht an der

Wortverarbeitung beteiligt zu sein scheinen und damit möglicherweise eine Beteiligung an solchen Netzwerken widerlegen.

4.2.2 Fehlen der BDF im auditiven Versuchsteil bei Schwellenwert $r=0,65$

Aufgeführt sind in Tabelle 6 Seedvoxel, welche keine BDF aufweisen. Sie sind in der Tabelle nach links- oder rechtshemisphärischer Lage getrennt. Erscheint in der Zeile des Probanden kein Seedvoxel, so weisen alle Seedvoxel die BDF auf.

	Linke Hemisphäre	Rechte Hemisphäre
Proband 1		64_-58_-2 (Temporal_Inf_R)
Proband 2	-2_-82_16 (Calcarine_L) -2_-94_12 (Calcarine_L)	
Proband 3		
Proband 4		
Proband 5	-46_-38_56 (Parietal_Inf_L)	
Proband 6		
Proband 7	-64_-18_16 (Postcentral_L), -2_-26_46 (Cingulum_Mid_L) 2_-12_74 (Supp_Motor_Area),	6_-56_4 (Lingual_R)
Proband 8	-56_-68_-2 (Temporal_Mid_L) -46_-38_56 (Parietal_Inf_L) -42_-72_-18 (Cerebellum_Crus1) -36_-42_62 (Postcentral_L) -36_-60_56 (Parietal_Inf_L) -32_0_64 (Precentral_L) -32_-56_-18 (Fusiform_L) -26_-78_50 (Parietal_Sup_L) -22_-68_60	0_2_68 (Supp_Motor_Area) 0_2_68 (Supp_Motor_Area) 2_-22_46 (Cingulum_Mid_R) 6_-82_-14 (Cerebellum_6_R) 10_-44_-2 (Cerebellum_4_5_R) 10_-60_6 (Lingual_R) 16_-30_74 (Precentral_R) 28_-24_70 (Precentral_R) 52_-64_2

	(Parietal_Sup_L) -22_-72_-14 (Fusiform_L) -18_-42_72 (Postcentral_L) -18_-66_16 (Calcarine_L), -12_-90_-20 (Cerebellum_Crus1) -10_-62_8 (Calcarine_L) -8_10_66 (Supp_Motor_Area) -6_-66_12 (Calcarine_L) -6_-68_16 (Calcarine_L) -6_-98_-10 (Calcarine_L) -4_-74_-4 (Lingual_L) -4_-102_-4 (Calcarine_L) 0_4_42 (Cingulum_Mid_L)	(Temporal_Mid_R)
--	--	------------------

Tabelle 6 | Auflistung von Seedvoxeln ohne BDF im Aktivitätsmuster im auditiven Versuchsteil.

Im auditiven Versuchsteil besitzen Probanden Nr. 3, 4 und 6 nur Seedvoxel, die in ihrem Frequenzmuster die BDF aufweisen. 5 von 8 Probanden weisen teilweise keine BDF in den Seedvoxeln auf. Seedvoxel aus der Region Calcarine_L weisen bei Proband Nr. 2 (2 Voxel) sowie Proband Nr. 8 (6 Voxel) keine BDF auf. Eine weitere Übereinstimmung lässt sich für die Region Parietal_Inf_L finden, bei Proband Nr. 5 (1 Voxel) und Proband Nr. 8 (2 Voxel). Rechtshemisphärisch weist die Region Lingual_R bei Proband 7 (1 Voxel) und Proband 8 (1 Voxel) keine BDF auf.

4.2.3 Fehlen der BDF im visuellen Versuchsteil bei Schwellenwert $r = 0,65$

	Linke Hemisphäre	Rechte Hemisphäre
Proband 1		
Proband 2		
Proband 3		
Proband 4		
Proband 5		
Proband 6	-54_-24_54 (Postcentral_L) -50_-30_58 (Postcentral_L) -44_-34_60 (Postcentral_L) 26_-68_56 (Parietal_Sup_L)	
Proband 7		
Proband 8	-44_-40_60 (Postcentral_L) -36_2_62 (Precentral_L) -34_-42_64 (Postcentral_L) -12_-70_-10 (Cerebelum_6_L) -2_2_66 (Supp_Motor_Area),	10_-60_4 (Lingual_R) 64_-2_-4 (Temporal_Sup_R)

Tabelle 7 | Auflistung von Seedvoxeln ohne BDF im Aktivitätsmuster im visuellen Versuchsteil

Die Probanden Nr. 1, 2, 3, 4, 5 und 7 besitzen nur Seedvoxel, die die BDF aufweisen. Die Region Postcentral_L weist bei Proband Nr. 6 (3 Voxel) und Proband Nr. 8 (1 Voxel) keine BDF auf.

4.2.4 Verhalten der Obertöne der BDF

Das Verhalten der Obertöne der BDF ist für auditiven und visuellen Versuchsteil ähnlich. Je größer die Vielfache der BDF sind, desto seltener ist die Häufigkeit des Auftretens im Aktivitätsmuster der Seedvoxel. Die Obertöne 0,075 und 0,09 sind nahezu nicht vorhanden. Besonders stark fällt die Häufigkeit des Auftretens zwischen 0,03 und 0,045 Hz ab.

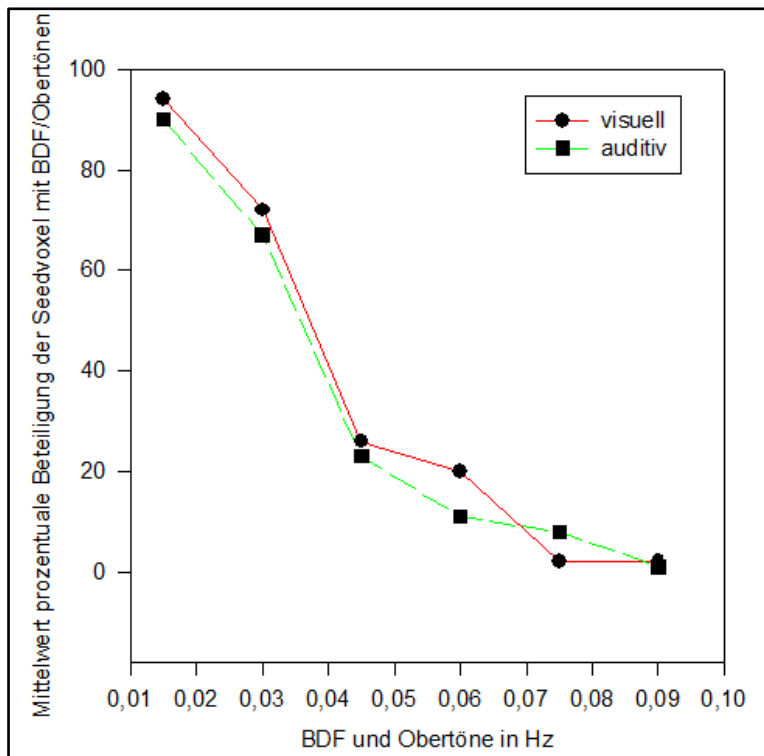


Abb. 15 | Häufigkeit der Obertöne. Die x-Achse gibt Frequenzen zwischen 0,01 und 0,10 Hz wieder. Die eingezeichneten Werte sind bei der Frequenz 0,015 Hz (BDF) sowie den Obertönen 0,03 Hz, 0,045 Hz, 0,06 Hz, 0,075 Hz und 0,09 Hz vorzufinden. Die y- Achse gibt Prozentwerte zwischen 0 und 100 % wieder. Für die Probanden 1 bis 8 wurde dafür ein Mittelwert der prozentualen Häufigkeit der Seedvoxel mit BDF oder Obertönen gebildet.

4.3 Darstellung der Frequenzanteile in der Spektralanalyse

Die Betrachtungsweise des *Noise*- Anteils der Spektralanalyse ist sehr konservativ. Damit ist gemeint, dass der angesetzte *Power*- Schwellenwert besonders hoch ist. So werden nach der *Noise*- Korrektur nur tatsächlich vorliegende Frequenzen in der Spektralanalyse angezeigt. Man kann dadurch eindeutig sagen, dass diese Frequenzen während des Versuches in der betrachteten Voxelaktivität vorhanden waren. Es gilt also Frequenzen zu suchen, die sich von der BDF oder ihren Obertönen unterscheiden. Für jeden Probanden

werden diese Frequenzen erfasst und hinsichtlich der prozentualen Häufigkeit in Dritteln zusammengefasst. Dies soll der verständlicheren Darstellung dienen.

4.3.1 Darstellung der Frequenzanteile in der Spektralanalyse im auditiven Versuchsteil, oberes Prozentdrittel

Die detaillierten Tabellen für alle Prozentdrittel sind dem Anhang zu entnehmen. Eine dreimalige Übereinstimmung findet sich für die Frequenz 0,018617 Hz (Probanden 2, 5, 7) sowie für 0,023939 Hz (Probanden 1, 6, 8). Eine Übereinstimmung in 2 Frequenzen findet sich bei 0,021277 Hz (Probanden 5,6) sowie für 0,036348 Hz (Probanden 5, 6) und für 0,039007 Hz (Probanden 1, 7). Es ist also ein enger Frequenzbereich zwischen 0,018617 Hz und 0,047872 Hz repräsentiert. Die Probanden 3 und 4 weisen keine Frequenzanteile auf, die in 67- 100% der Seedvoxel vorhanden sind.

4.3.2 Darstellung der Frequenzanteile in der Spektralanalyse im auditiven Versuchsteil, mittleres Prozentdrittel

Im mittleren Prozentdrittel kommt die Frequenz 0,035461 Hz drei Mal vor (Probanden 1, 7, 8). Die Frequenz 0,019504 Hz (Probanden 6, 7) kommt zwei Mal vor. 0,036348 Hz (Probanden 4, 7) kommt, genau wie im oberen Drittel, zwei Mal vor. Die Frequenz 0,035461 Hz, welche am häufigsten im mittleren Prozentdrittel vertreten ist, ist in der Spektralanalyse direkt an Frequenz 0,036348 Hz angrenzend, die zwei Mal im oberen Prozentdrittel vorkommt. Auch die Frequenz 0,019504 Hz grenzt als Frequenzkanal direkt an 0,018617 Hz, welche auch drei Mal im oberen Drittel vorkommt. Die dominanten

Frequenzen im mittleren Prozentdrittel grenzen also direkt an die dominanten Frequenzen im oberen Drittel. (Dominant im Sinne von „in mehreren Probanden vertreten“). Es fällt auf, dass im Vergleich zum oberen Prozentdrittel zum einen kleinere (0,011525 Hz), zum anderen größere Frequenzen (0,049645 Hz -0,067376 Hz) auftauchen. Die Probanden 3 und 5 weisen keine Frequenzen auf, die in 34- 66% der Seedvoxel vorkommen.

4.3.3 Darstellung der Frequenzanteile in der Spektralanalyse im auditiven Versuchsteil, unteres Prozentdrittel

Im unteren Prozentdrittel ist die ganze Breite von 0,01 bis 0,1 Hz abgebildet. Einzelne Frequenzen sind in bis zu vier Probanden vorkommend.

4.3.4 Darstellung der Frequenzanteile in der Spektralanalyse im visuellen Versuchsteil, oberes Prozentdrittel

Es sind nur Probanden 4 und 8 vertreten. (im auditiven Paradigma sind 6 von 8 Probanden repräsentiert). Das Frequenzspektrum liegt zwischen 0,024823 Hz- 0,055851 Hz. Es gibt keine Überschneidungen der Frequenzen von Proband 4 und 8.

4.3.5 Darstellung der Frequenzanteile in der Spektralanalyse im visuellen Versuchsteil, mittleres Prozentdrittel

Das Frequenzspektrum reicht von 0,012411 Hz bis 0,062943 Hz. Die Frequenz 0,021277 Hz erscheint zwei Mal (Proband 4, 8).

4.3.6 Darstellung der Frequenzanteile in der Spektralanalyse im visuellen Versuchsteil, unteres Prozentdrittel

Das Frequenzspektrum reicht von 0,010638 Hz bis 0,097518 Hz. Mehrfaches Vorkommen von derselben Frequenz, in bis zu drei Probanden: 0,035461 Hz (P1, 4, 6), 0,036348 Hz (Proband 5, 6, 7), 0,47872 Hz (P5 ,7 ,8), 0,051418 Hz (P1, 5, 8), 0,064716 Hz (P6, 7, 8,), 0,078014 Hz (P4, 6, 7).

4.3.7 Übereinstimmungen von Frequenzen in der Spektralanalyse im visuellen und auditiven Versuchsteil

Im oberen Prozentdrittel gibt es eine Frequenz, die sowohl unter auditiven wie auch visuellen Bedingungen vorkommt. Die Frequenz 0,033688 Hz ist bei 94,74% der Seedvoxel von Proband 4 (visuell) und bei 68,75% der Seedvoxel von Proband 5 (auditiv) vorzufinden.

Im mittleren Prozentdrittel gibt es eine Übereinstimmung visueller und auditiver Frequenzanteile bei: 0,020390 Hz (P6 vis (46,67%) /P8 aud (41,86%)), 0,021277 Hz (P4 vis (36,84%) , P8 vis (66,67%)/ P1 aud (55,81%)), 0,049645 Hz (P6 vis (40,00%) /P7 aud (48,15%).

Im unteren Drittel gibt es zahlreiche, vielfache Überschneidungen von Frequenzen im auditiven und visuellen Paradigma (0,010638 Hz- 0,078014 Hz).

Es gibt durchaus Seedvoxel, in deren Frequenzmuster die BDF nicht vorkommt. Diese befinden sich sowohl im auditiven als auch visuellen Versuchsteil überwiegend in der

linken Hirnhälfte. Es lassen sich konkret aber keine übereinstimmenden Regionen identifizieren, die signifikant in mehr als zwei Probanden keine BDF aufweisen. Im auditiven Versuchsteil ist die Anzahl der Seedvoxel, die in ihrem Aktivitätsmuster nicht die BDF aufweisen, höher als im visuellen Versuchsteil. In beiden Versuchsteilen weist besonders Proband 8 eine hohe Anzahl von Seedvoxeln ohne BDF auf, im auditiven Teil mehr als im visuellen Teil.

In der auditiven Frequenzanalyse derjenigen Seedvoxel mit einem prozentual häufigen Vorkommen des Frequenzanteils (zwischen 67 und 100% Vorkommen) gibt es zwei Frequenzen, die in drei verschiedenen Probanden auftreten: 0,018617 Hz und 0,023939 Hz. Die weiteren gefundenen Frequenzen treten nur bei zwei verschiedenen oder gar nur bei jeweils einem Probanden auf.

In der visuellen Frequenzanalyse gibt es keine Überschneidungen von Frequenzanteilen unter Seedvoxeln im oberen Prozentdrittel.

In der Untersuchung von Überschneidungen von Frequenzanteilen unter auditiver und visueller Stimulation findet sich im oberen Prozentdrittel die Frequenz 0,033688 Hz. Zusammenfassend ist bezüglich der Frequenzanalyse festzustellen, dass abgesehen von der BDF weder im visuellen noch im auditiven Versuchsteil in signifikantem Maße Frequenzanteile auszumachen sind, die mit der Wortverarbeitung in Zusammenhang gebracht werden können.

5 Diskussion

5.1 Diskussion der Ergebnisse der funktionellen Konnektivitätsanalyse unter dem Aspekt wortverarbeitender Netzwerke

In dieser Arbeit konnte gezeigt werden, dass Regionen, die zum bestehenden Wortverarbeitungsnetzwerk gehören (Price- Regionen), signifikant höhere Mittelwerte der funktionellen Konnektivität aufweisen ($P = 0,0426$). Damit ist gemeint, dass diese Regionen während des Versuches eine größere Ähnlichkeit zu dem Aktivitätsmuster in den wortverarbeitenden Regionen der Probanden zeigten.

Unter auditiver Bedingung beträgt der Mittelwert der funktionellen Konnektivität der wortverarbeitenden Price- Regionen 0,64, derjenige der Nicht- Price- Regionen 0,54.

Unter visueller Bedingung beträgt der Mittelwert der funktionellen Konnektivität der wortverarbeitenden Price- Regionen 0,47, derjenige der Nicht- Price- Regionen 0,40.

Damit konnte gezeigt werden, dass die als wortverarbeitend geltenden Regionen tatsächlich höhere funktionelle Konnektivität zueinander aufweisen, als zu Regionen, die nicht dem Sprachnetzwerk angehören sollen. Allerdings ist nicht zu bestreiten, dass auch zu Nicht- Price- Regionen eine, zwar schwächer ausgeprägte, dennoch vorhandene funktionelle Konnektivität vorliegt. Dies lässt vermuten, dass diese Regionen doch am Sprachnetzwerk beteiligt sein könnten.

Betrachtet wurden auch die prozentuale Beteiligungen der Seedvoxel mit einem Mittelwert $> 0,65$ (funktionelle Konnektivität) an der Gesamtzahl der Seedvoxel, um bei unterschiedlicher Anzahl von Seedvoxeln bei den Probanden eine bessere Vergleichbarkeit zu gewährleisten. Hier zeigte sich, dass unter auditiver Bedingung in der occipitalen Price-

Region ein Seitenunterschied festzustellen ist, mit höherem Wert in der rechten Hemisphäre. Unter visueller Bedingung ist weder eine Seitendifferenz der einzelnen Regionen, noch ein Unterschied zwischen Price- und Nicht- Price- Regionen erkennbar. Im Folgenden möchte ich den aktuellen Kenntnisstand bezüglich der Partizipation der Nicht- Price- Regionen am Wortverarbeitungsnetzwerk diskutieren.

5.2 Nicht- Price- Regionen und der aktuelle Kenntnisstand bezüglich der Funktion

5.2.1 Frontale Regionen

Gyrus (Kortex) frontalis superior (dorsolateralis, medialis, orbitalis)

Kouider et al. zeigten für den medialen superioren Frontalgyrus (sowie für das anteriore Cingulum und den Precuneus) mehr Aktivität für Wörter im Vergleich zu Pseudowörtern bei auditiver Darbietung (Kouider, de Gardelle, Dehaene, Dupoux, & Pallier, 2010). Auch mit semantischen Entscheidungen bezüglich gehörter Wörter (Binder, Desai, Graves, & Conant, 2009), Erzählungen (Whitney et al., 2009) und semantischer versus phonologischer Wortgenerierung (Birn et al., 2010) konnte Aktivität im superioren frontalen Gyrus (und Precuneus) in Zusammenhang gebracht werden. (Cathy J. Price, 2010). Dem medialen superioren Frontalkortex konnte durch die direkte Gegenüberstellung semantischer versus phonologischer Wortabfrage eine Beteiligung am Wortentwurfprozess der Sprachproduktion zugewiesen werden (Birn et al., 2010), (Cathy J. Price, 2010).

Lobus paracentralis

Der Lobus paracentralis befindet sich beidseits des Sulcus centralis auf der medialen Oberfläche. Tomasi & Volkow konnten anhand von knapp 1000 ausgewerteten MRI Studien unter Ruhe zeigen, dass unter anderem im Lobus paracentralis eine hohe Dichte an funktioneller Konnektivität vorliegt (Volkow, 2011). Eine sprachassoziierte Funktion konnte in der Literatur nicht gefunden werden.

Gyrus rectus

Der Gyrus rectus ist eine Großhirnwindung an der Oberfläche der Hirnbasis zwischen dem Sulcus olfaktorius und der Fissura longitudinalis cerebri. Zu den Funktionen des G. rectus wird vor allem die Kontrolle sozialer Konsequenzen von eigenen und beobachteten Verhaltensweisen gezählt (z.B. vermehrte Aktivierung beim Betrachten von Bildern mit Prügel Szenen oder Straßenkindern im Vergleich zu anderen unangenehmen Bildern wie Kot). Desweiteren wurde bei Depressionspatienten ein verringertes Volumen des G. rectus als hirnanatomisches Korrelat gefunden.

Olfaktorischer Kortex

Der olfaktorische Kortex ist Teil des Vorderhirns, der direkten Input vom Bulbus olfaktorius über den olfaktorischen Trakt erhält.

5.2.2 Limbisches System

Der Begriff lässt sich auf den von Broca 1878 eingeführten Begriff Lobus limbicus zurückführen. Anatomisch hinzugezählt werden G.cinguli, G. parahippocampalis, G. paraterminalis, Corpora mamillaria, Ncl. amygdalae, Septumkerne und der Hippokampus. Zu den bislang angenommen Funktionen gehören das Steuern emotionaler Verhaltensweisen, Orientierungs- und Aufmerksamkeitsreaktionen und Lernprozesse.

Gyrus parahippocampalis

Der Gyrus parahippocampalis ist wichtig in Bezug auf das Langzeitgedächtnis (Sweet et al., 2008). In schizophrenen Patienten konnte eine Volumenreduktion des G. parahippocampalis beschrieben werden (Boyer, Phillips, Rousseau, & Ilivitsky, 2007).

Hippocampus

Der Hippocampus liegt medial im Temporallappen und bildet im Boden des Seitenventrikels eine deutliche Vorwölbung. Der Hippocampus weist zahlreiche anatomische Verbindungen zu Hirnstrukturen auf, die in Wahrnehmungs-, Aufmerksamkeits- und Langzeitgedächtnisprozesse involviert sind (Baddeley, Allen, & Vargha-Khadem, 2010). Der Hippocampus, wie auch der G. parahippocampalis sind involviert in das deklarative Gedächtnis, worunter auch die assoziative Verbindung von Informationen zu verstehen ist.

5.2.3 Subkortikale Kerne

Amygdala

Der Mandelkern, Amygdala, ist eine bilaterale Kerngruppe im medialen Temporallappen, gehört aber funktionell zum limbischen System. Es konnte eine zentrale Bedeutung der Amygdala in der Verarbeitung emotionaler Stimuli visueller (z.B. die Bewertung von Gesichtsausdrücken) und olfaktorischer Art (Gottfried, O'Doherty, & Dolan, 2002) nachgewiesen werden. Es konnte auch gezeigt werden, dass die Amygdala in der emotionalen Wahrnehmung von Satzrhythmen (Prosodie) beteiligt ist (Wiethoff, Wildgruber, Grodd, & Ethofer, 2009).

Nucleus caudatus

Der Ncl. caudatus gehört zu den Basalganglien und ist dementsprechend in motorischen Funktionen involviert. Ncl. caudatus und Putamen werden gemeinsam als Corpus striatum bezeichnet. Es konnte in bilingualen (Deutsch- Englisch und Japanisch- Englisch) Personen gezeigt werden, dass der Ncl. caudatus eine entscheidende Rolle in der Wahl und Kontrolle der benutzten Sprache spielt. In fMRI Studien konnte auch gezeigt werden, dass der Ncl. caudatus an semantischen Entscheidungen beteiligt ist (Crinion et al., 2006). Der Kopf des linken Nucleus caudatus scheint in der Unterdrückung von Wörtern im Sinne des Sprachverständnisses beteiligt zu sein (Ali, Green, Kherif, Devlin, & Price, 2010).

Putamen

Das Putamen gehört zu den Basalganglien. Das linke Putamen ist in der Sprachartikulation, auch besonders beim lauten Lesen von Wörtern, im Sinne der Sprachproduktion beteiligt (Seghier & Price, 2010). Dies passt zu der Erkenntnis, dass das Putamen subkortikale Bahnen zu kortikalen Gebieten besitzt, die mit Mundmotorik und Sprachproduktion assoziiert sind (Henry, Berman, Nagarajan, Mukherjee, & Berger, 2004). Es konnte bei Probanden während der Verarbeitung phonologischer Informationen gezeigt werden, dass das Putamen direkte, unidirektionale Verbindungen zu dem linken inferioren Gyrus frontalis und dem linken lateralen Temporalkortex besitzt (Booth, Wood, Lu, Houk, & Bitan, 2007) und somit als Schnittstelle der Sprachkenntnisse agieren könnte (Preston et al., 2010).

5.2.4 Parietale Regionen

Precuneus

Der Precuneus befindet sich im posteriomedialen Parietallappen und damit relativ unzugänglich im Interhemisphärenspalt, umgeben von Sinus sagittalis und Brückenvenen. Aufgrund dieser versteckten anatomischen Lokalisation gehört der Precuneus zu den am wenigsten aufgeschlüsselten kortikalen Regionen. In fMRI Studien konnte gezeigt werden, dass der Precuneus funktionell beteiligt ist an visuell räumlicher Vorstellung, dem Abrufen des episodischen Gedächtnisses und an Ich- bezogenen Fähigkeiten wie das Einnehmen der Ich- Perspektive. Es konnten funktionelle Verbindungen des Precuneus zu kortikalen Regionen identifiziert werden, darunter auch der Frontalkortex sowie mediale und laterale Parietalregionen, die wiederum zu dem Wortverarbeitungsnetzwerk gehören (Cavanna & Trimble, 2006). Kouider et al. zeigten für den Precuneus (sowie für das anteriore Cingulum

und den medialen superioren Frontalgyrus) mehr Aktivität für Wörter im Vergleich zu Pseudowörtern (Kouider et al., 2010). Auch mit semantischen Entscheidungen bezüglich gehörter Wörter (Sharp, Turkheimer, Bose, Scott, & Wise, 2010), (Sharp et al., 2010), (Binder et al., 2009), Erzählungen (Whitney et al., 2009) und semantischer versus phonologischer Wortgenerierung (Birn et al., 2010) konnte Aktivität im Precuneus (und superioren frontalen Gyri) in Zusammenhang gebracht werden (Cathy J. Price, 2010).

5.2.5 Occipitale Regionen

Gyrus occipitalis superior, medialis, inferior; Cuneus

Im Lobus occipitalis befinden sich die Brodmann- Areale 17 (primäre Sehrinde, Area striata), 18 und 19 (sekundäre Sehrinde, Area parastriata). An der medialen Oberfläche des Lobus occipitalis befindet sich der Cuneus, ein keilförmiges Areal zwischen Sulcus calcarinus und Sulcus parietooccipitalis (Tohid, Faizan, & Faizan, 2015). Bei normal sehenden Menschen sind Cuneus und Gyrus occipitalis medialis an der Verarbeitung räumlich visueller Informationen und Bewegungsinformationen beteiligt. Anhand Studien mit blind geborenen Probanden konnte gezeigt werden, dass Cuneus sowie Gyrus occipitalis superior und medialis an der Verarbeitung räumlich auditiver Informationen beteiligt sind (Collignon et al., 2011), (Collignon, Lassonde, Lepore, Bastien, & Veraart, 2007). Der Gyrus occipitalis inferior ist entscheidend an Prozessen beteiligt, die zum Erkennen von Gesichtern führen (Sato et al., 2014).

5.3 Aktueller Kenntnisstand zur Lateralisation der Sprachverarbeitung

Bezüglich einer Seitenverteilung der Sprachverarbeitung konnte gezeigt werden, dass die funktionelle Konnektivität der Seedvoxel mit den Zielregionen bis auf zwei Ausnahmen keine rechtsseitige oder linksseitige Lateralisation aufweist. Diese Feststellung reiht sich damit nicht ein in die Erkenntnisse zum Sprachverständnis der letzten Jahre. Sowohl Läsionsstudien bei Aphasiepatienten als auch fMRI Studien in gesunden Gehirnen deuten hin auf ein linkslateralisiertes Netzwerk für das Sprachverständnis (Turken & Dronkers, 2011). Tomasi und Volkow berichten darüber, dass die rechte Hemisphäre an der Verarbeitung bildhafter Sprache eine entscheidende Beteiligung hat (Tomasi & Volkow, 2012). Abweichungen von einer linkseitigen Lateralisierung des Sprachverständnisses und der Sprachproduktion sind bei den Krankheitsbildern Dyslexie (Galaburda, LeMay, Kemper, & Geschwind, 2007), Schizophrenie (Narr et al., 2001) und Autismus (Herbert et al., 2005) gefunden worden.

5.4 Diskussion der Ergebnisse der Frequenzanalyse

Die von C. Price beschriebenen Gehirnareale sind mittels Subtraktionsanalyse gefunden worden. Dieses Verfahren erlaubt jedoch nur eine eingeschränkte Aussage über die Aktivität eines Voxels. Ein Voxel wird dann mittels *subtraction methodology* (SBM) registriert, wenn er einen signifikanten Aktivitätsunterschied unter Ruhe und Anregung zeigt. Somit ist also zu erwarten gewesen, dass die Price- Voxel die BDF des Experiments von 0,015 Hz im Aktivitätsmuster widerspiegeln. Interessant ist die Frage, ob es andere Frequenzen gibt, die nicht SBM relevant sind. Im Ergebnisteil konnte jedoch gezeigt werden, dass es abgesehen von der BDF keine weiteren Frequenzanteile gibt, die in diesem

Experiment mit der Wortverarbeitung des auditorischen oder visuellen Materials in Verbindung gebracht werden können. Es liegt nahe, an dieser Stelle die formale Korrektheit der Methode zu hinterfragen. Das nahezu vollständige Vorkommen der BDF sowie das Vorhandensein der Obertöne der BDF sprechen dafür, dass die Form des Inputs als Blockdesign zu Grunde liegt. In der Vorverarbeitung der Daten (siehe Methodenteil) erfolgte die Korrektur für hochfrequente puls- und atemabhängige Artefakte durch eine zeitliche Bandpass- Filterung mit *cut- off*- Frequenzen von 0,01 Hz und 0,1 Hz. Damit wäre also anzunehmen, dass sich die formale Darbietung der Wörter, sprich das Blockdesign, in der BDF widerspiegelt, darüber hinaus jedoch keine spezifischen Frequenzen der Wortverarbeitung mit dieser Methode zu registrieren sind, aber eben auch keine Störsignale durch die o.g. Artefakte, auf die im Weiteren noch eingegangen werden wird.

Lohmann et al. untersuchten sprachspezifische Netzwerke in *resting state* Versuchen anhand von niederfrequenten Fluktuationen (*low frequency fluctuations*, LEFs < 0,1 Hz) im fMRI Signal (Lohmann et al., 2010). Sie werteten 4 sprachbezogene und 2 nichtsprachbezogene fMRI Experimente mit einer *low- pass* Filterung und *cut- off* bei 0,1 Hz und bei 0,04 Hz dafür aus. Sie konnten zeigen, dass es korrelierende Hirnstrukturen nach *low- pass* Filterung gibt, die unabhängig von der Stimulusdarbietung sind, aber spezifisch für die Gesamtaufgabe des Experimentes. Es gibt eine Reihe von Erklärungsansätzen für die LEFs im Sinne eines Störsignals: Vasomotion und periphere Mikrozirkulation, die unabhängig von neuronaler Tätigkeit sind (Mayhew et al., 1996), atemabhängige Artefakte durch Brustbewegungen, die das Magnetfeld verändern sowie pulsschlagbedingte Artefakte (Birn, Diamond, Smith, & Bandettini, 2006), CO₂ Fluktuationen durch unterschiedliche Atemtiefe- und Frequenz während des fMRI *Scans* (Wise, Ide, Poulin, & Tracey, 2004). Cordes et al. konnten dahingegen zeigen, dass respiratorische Signale bei einer Frequenz von 0,25 und 0,5 Hz auftreten und der

Pulsschlag bei ungefähr 0,9 Hz, also in einem viel hochfrequenten Bereich als 0,1 Hz (Cordes et al., 2001). Die Literatur bezüglich der Erklärungsansätze der LEFs ist weit gestreut (Kiviniemi, Kantola, Jauhiainen, Hyvärinen, & Tervonen, 2003), (Fukunaga et al., 2008), (Honey et al., 2007), (Goerke, Möller, Norris, & Schwarzbauer, 2005), (Damoiseaux et al., 2006), (Greicius, Krasnow, Reiss, & Menon, 2003). Zum derzeitigen Wissensstand ist keine allgemein etablierte Erklärung vorhanden.

5.5 Methodische Aspekte

Die in von C. Price dargestellten Hirnregionen, die als Ausgangsregionen dieser Arbeit dienen, sind überwiegend durch ein Subtraktionsparadigma definiert worden. Dieses Paradigma vergleicht eine Hirnregion während Ruhe und kognitiver Aufgabenstellung bezüglich der hämodynamischen Aktivität. Kann man aber dadurch direkt auf die neurale Aktivität schließen? Zunächst sei auf die räumliche und zeitliche Einschränkung durch die zu Grunde liegende Technik des fMRI hingewiesen. Außerdem erweist es sich als problematisch, dass nicht zwischen exzitatorischer und inhibitorischer neuronaler Aktivität unterschieden werden kann (Horwitz et al., 2000). Auch ist es schwierig, zwei kognitive Aufgaben zu finden, die sich nur durch den zu untersuchenden Prozess unterscheiden sowie implizite Wortverarbeitung der Probanden zu verhindern (C J Price, 2000).

6 Fazit

Ziel dieser Arbeit war es, die funktionelle Konnektivität im Rahmen des bekannten sprachspezifischen Netzwerkes im Gehirn sowie das Frequenzverhalten von regional besonders aktiven Hirnvoxeln in diesen sprachspezifischen Hirnregionen zu untersuchen. Es wurden fMRI Datensätze von 8 Probanden verwendet, jeweils unter akustischem und visuellem Input in Form eines Blockdesigns. Im Rahmen der funktionellen Konnektivitätsanalyse bestätigte sich, dass die als bekannt geltenden sprachbezogenen Hirnareale einen höheren Korrelationskoeffizienten der funktionellen Konnektivität zu den probandenspezifischen, als sprachspezifisch angenommenen Seedvoxeln aufwiesen als zu anderen Hirnarealen, die nicht als sprachbezogen gelten. In der Analyse des Frequenzverhaltens konnten abgesehen von der BDF keine Frequenzanteile nachgewiesen werden, die in direkten Zusammenhang mit der Sprachverarbeitung gebracht werden können. Schlussfolgernd aus dieser Dissertation stellt sich die Frage, ob das Konzept der Frequenzanalyse durch sein Detailreichtum möglicherweise ungeeignet für die Untersuchung der Sprachverarbeitung ist.

7 Literatur- und Quellenverzeichnis

- Ali, N., Green, D. W., Kherif, F., Devlin, J. T., & Price, C. J. (2010). The role of the left head of caudate in suppressing irrelevant words. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 22(10), 2369–2386. <http://doi.org/10.1162/jocn.2009.21352>
- Baddeley, A., Allen, R., & Vargha-Khadem, F. (2010). Is the hippocampus necessary for visual and verbal binding in working memory? *Neuropsychologia*, 48(4), 1089–1095. <http://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2009.12.009>
- Beer, A. L., Plank, T., & Greenlee, M. W. (2011). Diffusion tensor imaging shows white matter tracts between human auditory and visual cortex. *Experimental Brain Research*, 213(2-3), 299–308. <http://doi.org/10.1007/s00221-011-2715-y>
- Beu, M., Baudrexel, S., Hautzel, H., Antke, C., & Mueller, H. W. (2009). Neural traffic as voxel-based measure of cerebral functional connectivity in fMRI. *Journal of Neuroscience Methods*, 176(2), 263–269. <http://doi.org/10.1016/j.jneumeth.2008.08.036>
- Binder, J. R., Desai, R. H., Graves, W. W., & Conant, L. L. (2009). Where is the semantic system? A critical review and meta-analysis of 120 functional neuroimaging studies. *Cerebral Cortex*, 19(12), 2767–2796. <http://doi.org/10.1093/cercor/bhp055>
- Birn, R. M., Diamond, J. B., Smith, M. a., & Bandettini, P. a. (2006). Separating respiratory-variation-related fluctuations from neuronal-activity-related fluctuations in fMRI. *NeuroImage*, 31(4), 1536–1548. <http://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2006.02.048>
- Birn, R. M., Kenworthy, L., Case, L., Caravella, R., Jones, T. B., Bandettini, P. a., & Martin, A. (2010). Neural systems supporting lexical search guided by letter and semantic category cues: A self-paced overt response fMRI study of verbal fluency. *NeuroImage*, 49(1), 1099–1107. <http://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2009.07.036>
- Biswal, B., Yetkin, F. Z., Haughton, V. M., & Hyde, J. S. (1995). Functional connectivity in the motor cortex of resting human brain using echo-planar MRI. *Magnetic Resonance in Medicine : Official Journal of the Society of Magnetic Resonance in Medicine / Society of Magnetic Resonance in Medicine*, 34(4), 537–41. <http://doi.org/10.1002/mrm.1910340409>
- Booth, J. R., Wood, L., Lu, D., Houk, J. C., & Bitan, T. (2007). The role of the basal ganglia and cerebellum in language processing. *Brain Research*, 1133(1), 136–144. <http://doi.org/10.1016/j.brainres.2006.11.074>
- Boyer, P., Phillips, J. L., Rousseau, F. L., & Ilivitsky, S. (2007). Hippocampal abnormalities and memory deficits: New evidence of a strong pathophysiological link in schizophrenia. *Brain Research Reviews*, 54(1), 92–112. <http://doi.org/10.1016/j.brainresrev.2006.12.008>
- Bressler, S. L., & Menon, V. (2010). Large-scale brain networks in cognition: emerging methods and principles. *Trends in Cognitive Sciences*, 14(6), 277–290. <http://doi.org/10.1016/j.tics.2010.04.004>

- Carter, A. R., Shulman, G. L., & Corbetta, M. (2012). Why use a connectivity-based approach to study stroke and recovery of function? *NeuroImage*, 62(4), 2271–2280. <http://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2012.02.070>
- Cavanna, A. E., & Trimble, M. R. (2006). The precuneus: A review of its functional anatomy and behavioural correlates. *Brain*, 129(3), 564–583. <http://doi.org/10.1093/brain/awl004>
- Collignon, O., Lassonde, M., Lepore, F., Bastien, D., & Veraart, C. (2007). Functional cerebral reorganization for auditory spatial processing and auditory substitution of vision in early blind subjects. *Cerebral Cortex*, 17(2), 457–465. <http://doi.org/10.1093/cercor/bhj162>
- Collignon, O., Vandewalle, G., Voss, P., Albouy, G., Charbonneau, G., Lassonde, M., & Lepore, F. (2011). Functional specialization for auditory-spatial processing in the occipital cortex of congenitally blind humans. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 108, 4435–4440. <http://doi.org/10.1073/pnas.1013928108>
- Cordes, D., Haughton, V. M., Arfanakis, K., Carew, J. D., Turski, P. a., Moritz, C. H., ... Meyerand, M. E. (2001). Frequencies contributing to functional connectivity in the cerebral cortex in “resting-state” data. *American Journal of Neuroradiology*, 22(7), 1326–1333.
- Cordes, D., Haughton, V. M., Arfanakis, K., Wendt, G. J., Turski, P. a., Moritz, C. H., ... Meyerand, M. E. (2000). Mapping functionally related regions of brain with functional connectivity MR imaging. *American Journal of Neuroradiology*, 21(9), 1636–1644.
- Crinion, J., Turner, R., Grogan, a, Hanakawa, T., Noppeney, U., Devlin, J. T., ... Price, C. J. (2006). Language control in the bilingual brain. *Science (New York, N.Y.)*, 312(5779), 1537–1540. <http://doi.org/10.1126/science.1127761>
- Damoiseaux, J. S., Rombouts, S. A. R. B., Barkhof, F., Scheltens, P., Stam, C. J., Smith, S. M., & Beckmann, C. F. (2006). Consistent resting-state networks, (2).
- Fox, M. D., & Raichle, M. E. (2007). Spontaneous fluctuations in brain activity observed with functional magnetic resonance imaging. *Nature Reviews. Neuroscience*, 8(9), 700–711. <http://doi.org/10.1038/nrn2201>
- Fox, P. T., & Friston, K. J. (2012). Distributed processing; distributed functions? *NeuroImage*, 61(2), 407–426. <http://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2011.12.051>
- Friston, K. J. (1994). Functional and effective connectivity in neuroimaging: A synthesis. *Human Brain Mapping*, 2(1-2), 56–78. <http://doi.org/10.1002/hbm.460020107>
- Fukunaga, M., Horovitz, S. G., de Zwart, J. a, van Gelderen, P., Balkin, T. J., Braun, A. R., & Duyn, J. H. (2008). Metabolic origin of BOLD signal fluctuations in the absence of stimuli. *Journal of Cerebral Blood Flow and Metabolism : Official Journal of the International Society of Cerebral Blood Flow and Metabolism*, 28(7), 1377–1387. <http://doi.org/10.1038/jcbfm.2008.25>
- Galaburda, a M., LeMay, M., Kemper, T. L., & Geschwind, N. (2007). Right-left asymmetries in the brain. *Science*, 99(February), 1–6. Retrieved from papers://c941067e-36da-4589-acf1-2f5738fdb5a1/Paper/p839

- Goerke, U., Möller, H. E., Norris, D. G., & Schwarzbauer, C. (2005). A comparison of signal instability in 2D and 3D EPI resting-state fMRI. *NMR in Biomedicine*, 18(8), 534–542. <http://doi.org/10.1002/nbm.987>
- Gottfried, J. a, O'Doherty, J., & Dolan, R. J. (2002). Appetitive and aversive olfactory learning in humans studied using event-related functional magnetic resonance imaging. *The Journal of Neuroscience : The Official Journal of the Society for Neuroscience*, 22(24), 10829–10837.
- Greicius, M. D., Krasnow, B., Reiss, A. L., & Menon, V. (2003). Functional connectivity in the resting brain: a network analysis of the default mode hypothesis. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 100(1), 253–258. <http://doi.org/10.1073/pnas.0135058100>
- Henry, R. G., Berman, J. I., Nagarajan, S. S., Mukherjee, P., & Berger, M. S. (2004). Subcortical pathways serving cortical language sites: Initial experience with diffusion tensor imaging fiber tracking combined with intraoperative language mapping. *NeuroImage*, 21(2), 616–622. <http://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2003.09.047>
- Herbert, M. R., Ziegler, D. a., Deutsch, C. K., O'Brien, L. M., Kennedy, D. N., Filipek, P. a., ... Caviness, V. S. (2005). Brain asymmetries in autism and developmental language disorder: A nested whole-brain analysis. *Brain*, 128(1), 213–226. <http://doi.org/10.1093/brain/awh330>
- Honey, C. J., Honey, C. J., Kotter, R., Kotter, R., Breakspear, M., Breakspear, M., ... Sporns, O. (2007). Network structure of cerebral cortex shapes functional connectivity on multiple time scales. *Pnas*, 104(24), 10240–10245. <http://doi.org/10.1073/pnas.0701519104>
- Horwitz, B., Friston, K. J., & Taylor, J. G. (2000). Neural modeling and functional brain imaging: an overview. *Neural Networks : The Official Journal of the International Neural Network Society*, 13(8-9), 829–46. [http://doi.org/10.1016/s0893-6080\(00\)00062-9](http://doi.org/10.1016/s0893-6080(00)00062-9)
- Kiviniemi, V., Kantola, J. H., Jauhiainen, J., Hyvärinen, A., & Tervonen, O. (2003). Independent component analysis of nondeterministic fMRI signal sources. *NeuroImage*, 19(2), 253–260. [http://doi.org/10.1016/S1053-8119\(03\)00097-1](http://doi.org/10.1016/S1053-8119(03)00097-1)
- Kouider, S., de Gardelle, V., Dehaene, S., Dupoux, E., & Pallier, C. (2010). Cerebral bases of subliminal speech priming. *NeuroImage*, 49(1), 922–929. <http://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2009.08.043>
- Liang, X., Wang, J., Yan, C., Shu, N., Xu, K., Gong, G., & He, Y. (2012). Effects of different correlation metrics and preprocessing factors on small-world brain functional networks: A resting-state functional MRI study. *PLoS ONE*, 7(3). <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0032766>
- Lohmann, G., Hoehl, S., Brauer, J., Danielmeier, C., Bornkessel-Schlesewsky, I., Bahlmann, J., ... Friederici, A. (2010). Setting the frame: The human brain activates a basic low-frequency network for language processing. *Cerebral Cortex*, 20(6), 1286–1292. <http://doi.org/10.1093/cercor/bhp190>
- Lowe, M. J., Dzemidzic, M., Lurito, J. T., Mathews, V. P., & Phillips, M. D. (2000). Correlations in low-frequency BOLD fluctuations reflect cortico-cortical connections. *NeuroImage*, 12(5), 582–587. <http://doi.org/10.1006/nimg.2000.0654>

- Mayhew, J. E., Askew, S., Zheng, Y., Porrill, J., Westby, G. W., Redgrave, P., ... Harper, R. M. (1996). Cerebral vasomotion: a 0.1-Hz oscillation in reflected light imaging of neural activity. *NeuroImage*, 4(3 Pt 1), 183–193. <http://doi.org/10.1006/nimg.1996.0069>
- McIntosh, A. R., & Gonzalez-Lima, F. (1994). Structural equation modeling and its application to network analysis in functional brain imaging. *Hbm*, 2(1-2), 2–22. <http://doi.org/10.1002/hbm.460020104>
- Murphy, K., Shea, S. a, Friston, K. J., Clark, J. C., Guz, a, Unit, C., ... Medical, W. (1993). Effect on Regional Cerebral Blood Flow During a, 2, 521–534.
- Narr, K. L., Thompson, P. M., Sharma, T., Moussai, J., Blanton, R., Anvar, B., ... Toga, A. W. (2001). Three-dimensional mapping of temporo-limbic regions and the lateral ventricles in schizophrenia: Gender effects. *Biological Psychiatry*, 50(2), 84–97. [http://doi.org/10.1016/S0006-3223\(00\)01120-3](http://doi.org/10.1016/S0006-3223(00)01120-3)
- Ogawa, S., & Lee, T. (1990). Brain magnetic resonance imaging with contrast dependent on blood oxygenation. *Proceedings of the ...*, 87(24), 9868–72. <http://doi.org/10.1073/pnas.87.24.9868>
- Posner, M. I., Petersen, S. E., Fox, P. T., & Raichle, M. E. (1988). Localization of cognitive operations in the human brain. *Science (New York, N.Y.)*, 240(4859), 1627–1631. <http://doi.org/10.1126/science.3289116>
- Preston, J. L., Frost, S. J., Mencl, W. E., Fulbright, R. K., Landi, N., Grigorenko, E., ... Pugh, K. R. (2010). Early and late talkers: School-age language, literacy and neurolinguistic differences. *Brain*, 133(8), 2185–2195. <http://doi.org/10.1093/brain/awq163>
- Price, C. J. (2000). The anatomy of language: contributions from functional neuroimaging. *Journal of Anatomy*, 197 Pt 3, 335–359. <http://doi.org/10.1046/j.1469-7580.2000.19730335.x>
- Price, C. J. (2010). The anatomy of language: A review of 100 fMRI studies published in 2009. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1191, 62–88. <http://doi.org/10.1111/j.1749-6632.2010.05444.x>
- Sato, W., Kochiyama, T., Uono, S., Matsuda, K., Usui, K., Inoue, Y., & Toichi, M. (2014). Rapid, high-frequency, and theta-coupled gamma oscillations in the inferior occipital gyrus during face processing. *Cortex*, 60, 52–68. <http://doi.org/10.1016/j.cortex.2014.02.024>
- Seghier, M. L., & Price, C. J. (2010). Reading aloud boosts connectivity through the putamen. *Cerebral Cortex*, 20(3), 570–582. <http://doi.org/10.1093/cercor/bhp123>
- Seidenberg, M. S., & McClelland, J. L. (1989). A distributed, developmental model of word recognition and naming. *Psychological Review*, 96(4), 523–568. <http://doi.org/10.1037/0033-295X.96.4.523>
- Sharp, D. J., Turkheimer, F. E., Bose, S. K., Scott, S. K., & Wise, R. J. S. (2010). Increased frontoparietal integration after stroke and cognitive recovery. *Annals of Neurology*, 68(5), 753–756. <http://doi.org/10.1002/ana.21866>

- Sun, F. T., Miller, L. M., & D'Esposito, M. (2004). Measuring interregional functional connectivity using coherence and partial coherence analyses of fMRI data. *NeuroImage*, 21(2), 647–658. <http://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2003.09.056>
- Sweet, L. H., Paskavitz, J. F., Haley, A. P., Gunstad, J. J., Mulligan, R. C., Nyalakanti, P. K., & Cohen, R. a. (2008). Imaging phonological similarity effects on verbal working memory. *Neuropsychologia*, 46(4), 1114–1123. <http://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2007.10.022>
- Tohid, H., Faizan, M., & Faizan, U. (2015). Alterations of the occipital lobe in schizophrenia. *Neurosciences*, 20(3), 213–224. <http://doi.org/10.17712/nsj.2015.3.20140757>
- Tomasi, D., & Volkow, N. D. (2012). Resting functional connectivity of language networks: characterization and reproducibility. *Molecular Psychiatry*, 17(8), 841–854. <http://doi.org/10.1038/mp.2011.177>
- Turken, A. U., & Dronkers, N. F. (2011). The neural architecture of the language comprehension network: converging evidence from lesion and connectivity analyses. *Frontiers in Systems Neuroscience*, 5(February), 1. <http://doi.org/10.3389/fnsys.2011.00001>
- Van den Heuvel, M. P., & Hulshoff Pol, H. E. (2010). Exploring the brain network: A review on resting-state fMRI functional connectivity. *European Neuropsychopharmacology*, 20(8), 519–534. <http://doi.org/10.1016/j.euroneuro.2010.03.008>
- Volkow, N. D. (2011). NIH Public Access. <http://doi.org/10.1109/IEMBS.2010.5626180>. Ultrafast
- Watts, D. J., Watts, D. J., Strogatz, S. H., & Strogatz, S. H. (1998). Collective dynamics of “small-world” networks. *Nature*, 393(6684), 440–2. <http://doi.org/10.1038/30918>
- Whitney, C., Weis, S., Krings, T., Huber, W., Grossman, M., & Kircher, T. (2009). Task-dependent modulations of prefrontal and hippocampal activity during intrinsic word production. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 21(4), 697–712. <http://doi.org/10.1162/jocn.2009.21056>
- Wiethoff, S., Wildgruber, D., Grodd, W., & Ethofer, T. (2009). Response and habituation of the amygdala during processing of emotional prosody. *Neuroreport*, 20(15), 1356–1360. <http://doi.org/10.1097/WNR.0b013e328330eb83>
- Wise, R. G., Ide, K., Poulin, M. J., & Tracey, I. (2004). Resting fluctuations in arterial carbon dioxide induce significant low frequency variations in BOLD signal. *NeuroImage*, 21(4), 1652–1664. <http://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2003.11.025>
- Xiong, J., Parsons, L. M., Gao, J. H., & Fox, P. T. (1999). Interregional connectivity to primary motor cortex revealed using MRI resting state images. *Human Brain Mapping*, 8(2-3), 151–156.

8 Anhang

8.1 Definition der Ausgangsvoxel

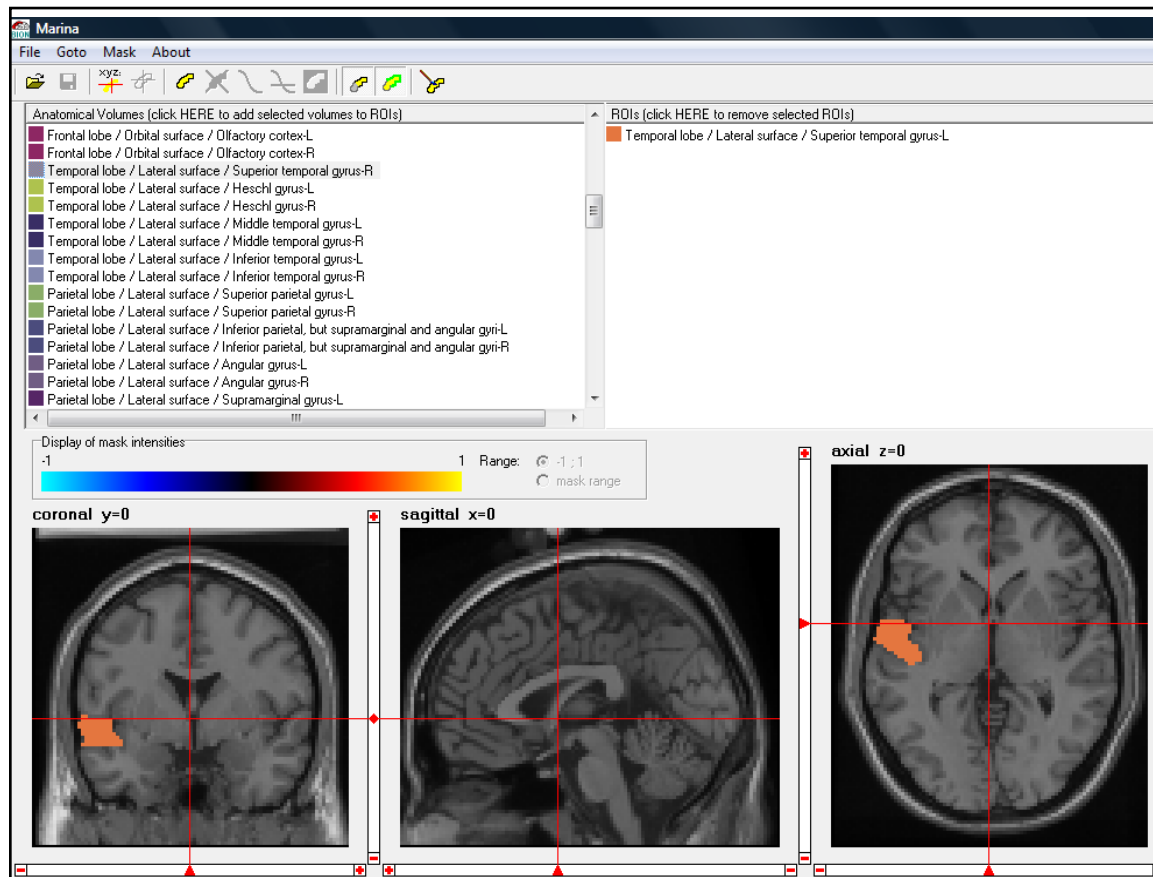


Abb. 16 | Arbeitsfenster des Programmes "MARINA". Im linken Fenster oben sind die anatomischen Regionen anwählbar, welche dann coronal, sagittal und axial farblich dargestellt werden. Im Beispiel oben ist die Region „Temporal Lobe/Lateral surface/Superior temporal gyrusL“ angewählt

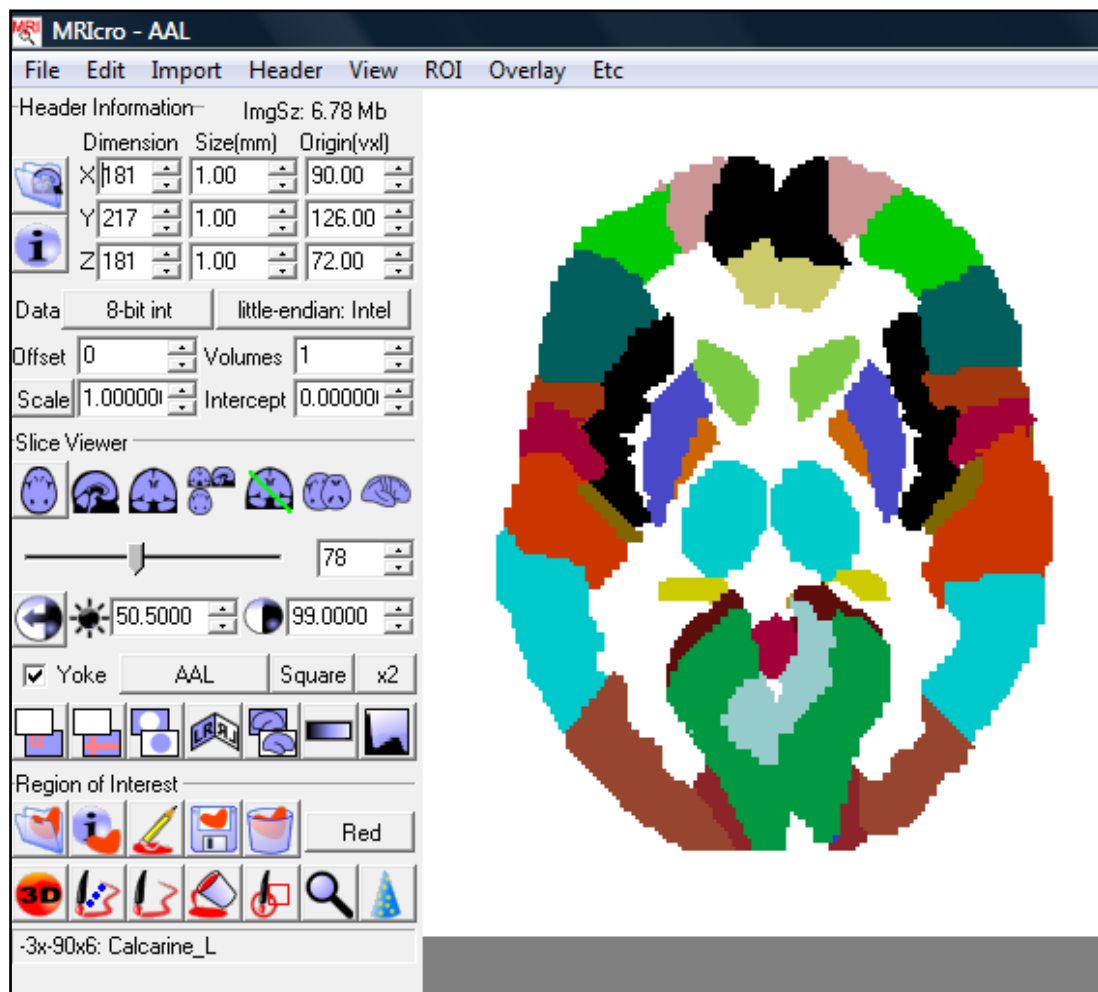


Abb. 17 | Arbeitsfenster MRicro

8.2 Grafische Darstellung mit Hilfe des Seedvoxel Visualisierungsprogrammes

Um in dem Visualisierungsprogramm Project 1 eingelesen werden zu können, müssen zuvor alle Ausgangsvoxel eines Probanden in einer Textdatei aufgelistet werden. Mehrfachnennungen identischer Voxel werden vermieden. Da die Ausgangsvoxel die Beschriftung der x-Achse in der Visualisierung darstellen, sollen diese eine gewisse Ordnung aufweisen. Man legt eine anatomische Anordnung der Ausgangsvoxel fest. Zuerst erscheinen die linkshemisphärisch frontalen Voxel, dann die rechtshemisphärisch frontalen

Voxel. Auditive Voxel werden zuerst, visuelle Voxel des jeweiligen Probanden zuletzt in der Textdatei aufgelistet. Die Textdateien „aud_vis_pX_035“ oder „aud_vis_pX_065“ anatomisch geordnet.txt“ werden im Hauptfenster des Programmes Project 1 für den entsprechenden Probanden geladen. Unter „Proband“ → “Bezeichnung hinzufügen“ muss zuvor der entsprechende Proband, beispielsweise: „Proband 1 aud 065“ eingegeben und angelegt werden. Unter „Ansicht“ → „Grafikfenster 2“ erfolgt dann die Auswahl entweder der visuellen oder auditiven Voxel aus dieser Textdatei. Unter „Gesamte Liste“ werden entweder auditive oder visuelle Voxel markiert und mit „Auswahl hinzufügen“ rechts davon im Fenster für „davon für die Grafik ausgewählt“ übertragen. Die berechnete Visualisierung wird mittels eines PDF- Druckers in ein .pdf- File übertragen. Angezeigt werden gerundete Korrelationswerte. Abb. 18 zeigt beispielhaft die farbliche Visualisierung.



Abb. 18 | Ausgabe der Seedvoxelvisualisierung im Programm „Project 1“

8.3 Detaillierte Darstellung von Aktivitätszentren anhand der funktionellen Konnektivität im auditiven Versuchsteil, Schwellenwert 0,65

In der folgenden Aufzählung wird eine feste Reihenfolge eingehalten. Zuerst werden die Verbindungen der Seedvoxel zu den Zielregionen für den auditiven Versuchsteil beschrieben und für diesen erst für linkshemisphärisch, dann für rechtshemisphärisch gelegene Zielregionen. Dann erfolgt die gleiche Beschreibung für den visuellen Versuchsteil.

Linke Hemisphäre Price: Proband 1:

Zu Regionen im **Frontalhirn** weisen 29 von 43 (67,44%) Seedvoxeln eine Korrelationsstärke größer 0,65 auf. Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen im Frontalhirn ist 0,67. In das **Zentralhirn** konnektieren 35 von 43 Seedvoxeln (81,40%) ($> 0,65$). Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen im Zentralhirn ist 0,79. Zu **parietalen** Regionen konnektieren 35 von 43 (81,40%) Seedvoxeln ($> 0,65$). Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen im Zentralhirn ist 0,71. Zu **temporalen** Regionen konnektieren 39 von 43 Seedvoxeln (90,70%) ($> 0,65$). Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen im Zentralhirn ist 0,73. Zu **occipitalen** Regionen konnektieren 36 von 43 Seedvoxeln (83,72%). Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen im Occipitalhirn ist 0,71.

Linke Hemisphäre Nicht- Price: Proband 1:

Zu Regionen im **Frontalhirn** weisen 19 von 43 (44,19%) Seedvoxeln eine Korrelationsstärke größer 0,65 auf. Der Mittelwert aller Seedvoxel über Nicht- Price-Regionen im Frontalhirn ist 0,63. Zu Regionen im **limbischen System** weist 1 von 43 (2,33%) Seedvoxeln eine Korrelationsstärke $> 0,65$ auf. Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen im limbischen System ist 0,40. Zu **subkortikalen Strukturen und**

Basalganglien konnektiert kein Seedvoxel mit einer Konnektionsstärke $> 0,65$. Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen in den Basalganglien oder subkortikal ist 0,20. Zu **parietalen** Regionen weisen 43 von 43 (100%) Seedvoxeln eine Korrelationsstärke $> 0,65$ auf. Der Mittelwert beträgt 0,85. Zu **occipitalen** Regionen weisen 37 von 43 (86,05%) Seedvoxeln eine Korrelationsstärke $> 0,65$ auf. Der Mittelwert beträgt 0,73.

Rechte Hemisphäre Price: Proband 1:

Zu Regionen im **Frontalhirn** weisen 37 von 43 (86,05%) Seedvoxeln eine Korrelationsstärke größer 0,65 auf. Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen im Frontalhirn ist 0,69. In das **Zentralhirn** konnektieren 41 von 43 Seedvoxeln (95,35%) ($> 0,65$). Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen im Zentralhirn ist 0,81. Zu **parietalen** Regionen konnektieren 29 von 43 (67,44%) Seedvoxeln ($> 0,65$). Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen im Parietalhirn ist 0,67. Zu **temporalen** Regionen konnektieren 32 von 43 Seedvoxeln (74,42%) ($> 0,65$). Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen im Temporalhirn ist 0,70. Zu **occipitalen** Regionen konnektieren 9 von 43 Seedvoxeln (20,93%). Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen im Occipitalhirn ist 0,58.

Rechte Hemisphäre Nicht- Price: Proband 1:

Zu Regionen im **Frontalhirn** weisen 2 von 43 (4,65%) Seedvoxeln eine Korrelationsstärke größer 0,65 auf. Der Mittelwert aller Seedvoxel über Nicht- Price- Regionen im Frontalhirn ist 0,54. Zu Regionen im **limbischen System** weisen 15 von 43 (34,88%) Seedvoxeln eine Korrelationsstärke $> 0,65$ auf. Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen im limbischen System ist 0,62. Zu **subkortikalen Strukturen und Basalganglien** konnektiert kein Seedvoxel mit einer Konnektionsstärke $> 0,65$. Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen in den Basalganglien oder subkortikal ist 0,43. Zu **parietalen** Regionen weisen 43 von 43 (100%) Seedvoxeln eine Korrelationsstärke $> 0,65$ auf. Der Mittelwert beträgt 0,84.

Zu **occipitalen** weisen 31 von 43 (72,09%) Seedvoxeln eine Korrelationsstärke $> 0,65$ auf. Der Mittelwert beträgt 0,67.

Linke Hemisphäre Price: Proband 2:

Zu Regionen im **Frontalhirn** weisen 5 von 19 (26,32%) Seedvoxeln eine Korrelationsstärke größer 0,65 auf. Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen im Frontalhirn ist 0,63. In das **Zentralhirn** konnektieren 19 von 19 Seedvoxeln (100%). Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen im Zentralhirn ist 0,77. Zu **parietalen** Regionen konnektieren 5 von 19 (26,32%) Seedvoxeln ($> 0,65$). Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen im Parietalhirn ist 0,63. Zu **temporalen** Regionen konnektieren 1 von 19 Seedvoxeln (5,26%). Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen im Temporalhirn ist 0,51. Zu **occipitalen** Regionen konnektieren 3 von 19 Seedvoxeln (15,79%). Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen im Occipitalhirn ist 0,61.

Linke Hemisphäre Nicht- Price: Proband 2:

Zu Regionen im **Frontalhirn** weisen 1 von 19 Seedvoxeln (5,26%) Seedvoxeln eine Korrelationsstärke größer 0,65 auf. Der Mittelwert aller Seedvoxel über Nicht- Price-Regionen im Frontalhirn ist 0,55. Zu Regionen im **limbischen System** weist keiner von 19 (0%) Seedvoxeln eine Korrelationsstärke $> 0,65$ auf. Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen im limbischen System ist 0,39. Zu **subkortikalen Strukturen und Basalganglien** konnektiert kein Seedvoxel mit einer Konnektionsstärke $> 0,65$. Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen in den Basalganglien oder subkortikal ist 0,27. Zu **parietalen** Regionen weisen 19 von 19 (100%) Seedvoxeln eine Korrelationsstärke $> 0,65$ auf. Der Mittelwert beträgt 0,79. Zu **occipitalen** Regionen weisen 16 von 19 (84,21%) Seedvoxeln eine Korrelationsstärke $> 0,65$ auf. Der Mittelwert beträgt 0,73.

Rechte Hemisphäre Price: Proband 2:

Zu Regionen im **Frontalhirn** weisen 4 von 19 (21,05%) Seedvoxeln eine Korrelationsstärke größer 0,65 auf. Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen im Frontalhirn ist 0,60. In das **Zentralhirn** konnektieren 19 von 19 Seedvoxeln (100%) . Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen im Zentralhirn ist 0,80. Zu **parietalen** Regionen konnektieren 3 von 19 (15,79%) Seedvoxeln ($> 0,65$). Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen im Parietalhirn ist 0,58. Zu **temporalen** Regionen konnektieren 3 von 19 Seedvoxeln (15,79%). Der Mittelwert aller Seedvoxel ist 0,59. Zu **occipitalen** Regionen konnektieren 4 von 19 Seedvoxeln (21,05%). Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen im Occipitalhirn ist 0,56.

Rechte Hemisphäre Nicht- Price: Proband 2:

Zu Regionen im **Frontalhirn** weist keiner von 19 Seedvoxeln (0%) Seedvoxeln eine Korrelationsstärke größer 0,65 auf. Der Mittelwert aller Seedvoxel über Nicht- Price-Regionen im Frontalhirn ist 0,50. Zu Regionen im **limbischen System** weist keiner von 19 (0%) Seedvoxeln eine Korrelationsstärke $> 0,65$ auf. Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen im limbischen System ist 0,47. Zu **subkortikalen Strukturen und Basalganglien** konnektiert kein Seedvoxel mit einer Konnektionsstärke $> 0,65$. Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen in den Basalganglien oder subkortikal ist 0,17. Zu **parietalen** Regionen weisen 18 von 19 (94,74%) Seedvoxeln eine Korrelationsstärke $> 0,65$ auf. Der Mittelwert beträgt 0,77. Zu **occipitalen** Regionen weisen 11 von 19 (57,89%) Seedvoxeln eine Korrelationsstärke $> 0,65$ auf. Der Mittelwert beträgt 0,67.

Linke Hemisphäre Price: Proband 3:

Zu Regionen im **Frontalhirn** weisen 0 von 12 (0%) Seedvoxeln eine Korrelationsstärke größer 0,65 auf. Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen im Frontalhirn ist 0,12. In das **Zentralhirn** konnektieren 0 von 12 Seedvoxeln (0%) . Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen im Zentralhirn ist 0,58. Zu **parietalen** Regionen konnektieren 0 von 12 (0%) Seedvoxeln ($> 0,65$). Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen im Parietalhirn ist 0,00. Zu **temporalen** Regionen konnektieren 12 von 12 Seedvoxeln (100%) . Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen im Temporalhirn ist 0,76. Zu **occipitalen** Regionen konnektieren 0 von 12 Seedvoxeln (0%). Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen im Occipitalhirn ist 0,01.

Linke Hemisphäre Nicht- Price: Proband 3:

Zu Regionen im **Frontalhirn** weisen 0 von 12 Seedvoxeln (0%) Seedvoxeln eine Korrelationsstärke größer 0,65 auf. Der Mittelwert aller Seedvoxel über Nicht- Price-Regionen im Frontalhirn ist 0,04. Zu Regionen im **limbischen System** weisen 0 von 12 (0%) Seedvoxeln eine Korrelationsstärke $> 0,65$ auf. Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen im limbischen System ist 0,29. Zu **subkortikalen Strukturen und Basalganglien** liegen keine Seedvoxel vor. Zu **parietalen** Regionen weisen 0 von 12 (0%) Seedvoxeln eine Korrelationsstärke $> 0,65$ auf. Der Mittelwert beträgt 0,06. Zu **occipitalen** Regionen weisen 0 von 12 (0%) Seedvoxeln eine Korrelationsstärke $> 0,65$ auf. Der Mittelwert beträgt 0,00.

Rechte Hemisphäre Price: Proband 3:

Zu Regionen im **Frontalhirn** weisen 0 von 12 (0%) Seedvoxeln eine Korrelationsstärke größer 0,65 auf. Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen im Frontalhirn ist 0,22. In das **Zentralhirn** konnektieren 0 von 12 Seedvoxeln (0%) . Der Mittelwert aller Seedvoxel

über Regionen im Zentralhirn ist 0,55. Zu **parietalen** Regionen konnektieren 0 von 12 (0%) Seedvoxeln ($> 0,65$). Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen im Parietalhirn ist 0,04. Zu **temporalen** Regionen konnektiert 1 von 12 Seedvoxeln (8,34%). Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen im Temporalhirn ist 0,61. Zu **occipitalen** Regionen konnektieren 0 von 12 Seedvoxeln (0%). Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen im Occipitalhirn ist 0,09.

Rechte Hemisphäre Nicht- Price: Proband 3:

Zu Regionen im **Frontalhirn** weisen 0 von 12 Seedvoxeln (0%) Seedvoxeln eine Korrelationsstärke größer 0,65 auf. Der Mittelwert aller Seedvoxel über Nicht- Price-Regionen im Frontalhirn ist 0,07. Zu Regionen im **limbischen System** weisen 0 von 12 (0%) Seedvoxeln eine Korrelationsstärke $> 0,65$ auf. Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen im limbischen System ist 0,11. Zu **subkortikalen Strukturen und Basalganglien** weisen 0 von 12 (0%) Seedvoxeln eine Korrelationsstärke $> 0,65$ auf. Der Mittelwert ist 0,00. Zu **parietalen** Regionen weisen 0 von 12 (100%) Seedvoxeln eine Korrelationsstärke $> 0,65$ auf. Der Mittelwert beträgt 0,49. Zu **occipitalen** Regionen weisen 0 von 12 (0%) Seedvoxeln eine Korrelationsstärke $> 0,65$ auf. Der Mittelwert beträgt 0,03.

Linke Hemisphäre Price: Proband 4:

Zu Regionen im **Frontalhirn** weisen 8 von 32 (12,50%) Seedvoxeln eine Korrelationsstärke größer 0,65 auf. Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen im Frontalhirn ist 0,58. In das **Zentralhirn** konnektieren 26 von 32 Seedvoxeln (81,25%). Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen im Zentralhirn ist 0,74. Zu **parietalen** Regionen konnektieren 23 von 32 (71,88%) Seedvoxeln ($> 0,65$). Der Mittelwert aller

Seedvoxel über Regionen im Parietalhirn ist 0,68. Zu **temporalen** Regionen konnektieren 5 von 32 Seedvoxeln (15,63%). Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen im Temporalhirn ist 0,61. Zu **occipitalen** Regionen konnektieren 9 von 32 Seedvoxeln (28,13%). Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen im Occipitalhirn ist 0,59.

Linke Hemisphäre Nicht- Price: Proband 4:

Zu Regionen im **Frontalhirn** weisen 6 von 32 Seedvoxeln (18,75%) Seedvoxeln eine Korrelationsstärke größer 0,65 auf. Der Mittelwert aller Seedvoxel über Nicht- Price- Regionen im Frontalhirn ist 0,52. Zu Regionen im **limbischen System** weisen 4 von 32 (12,50%) Seedvoxeln eine Korrelationsstärke $> 0,65$ auf. Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen im limbischen System ist 0,54. Zu **subkortikalen Strukturen und Basalganglien** weisen 0 von 32 (0%) Seedvoxeln eine Korrelationsstärke $> 0,65$ auf. Der Mittelwert ist 0,35. Zu **parietalen** Regionen weisen 32 von 32 (100%) Seedvoxeln eine Korrelationsstärke $> 0,65$ auf. Der Mittelwert beträgt 0,81. Zu **occipitalen** Regionen weisen 8 von 32 (25,00%) Seedvoxeln eine Korrelationsstärke $> 0,65$ auf. Der Mittelwert beträgt 0,58.

Rechte Hemisphäre Price: Proband 4:

Zu Regionen im **Frontalhirn** weisen 22 von 32 (68,75%) Seedvoxeln eine Korrelationsstärke größer 0,65 auf. Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen im Frontalhirn ist 0,65. In das **Zentralhirn** konnektieren 32 von 32 Seedvoxeln (100%) . Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen im Zentralhirn ist 0,81. Zu **parietalen** Regionen konnektieren 5 von 32 (15,63%) Seedvoxeln ($> 0,65$). Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen im Parietalhirn ist 0,58. Zu **temporalen** Regionen konnektieren 16 von 32 Seedvoxeln (50,00%) . Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen im Temporalhirn ist 0,66. Zu **occipitalen** Regionen konnektieren 0 von 32 Seedvoxeln (0,00%). Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen im Occipitalhirn ist 0,50.

Rechte Hemisphäre Nicht- Price: Proband 4:

Zu Regionen im **Frontalhirn** weist 1 von 32 Seedvoxeln (3,13%) Seedvoxeln eine Korrelationsstärke größer 0,65 auf. Der Mittelwert aller Seedvoxel über Nicht- Price- Regionen im Frontalhirn ist 0,46. Zu Regionen im **limbischen System** weisen 0 von 32 (0,00%) Seedvoxeln eine Korrelationsstärke $> 0,65$ auf. Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen im limbischen System ist 0,56. Zu **subkortikalen Strukturen und Basalganglien** weisen 0 von 32 (0%) Seedvoxeln eine Korrelationsstärke $> 0,65$ auf. Der Mittelwert ist 0,42. Zu **parietalen** Regionen weisen 14 von 32 (43,75%) Seedvoxeln eine Korrelationsstärke $> 0,65$ auf. Der Mittelwert beträgt 0,63. Zu **occipitalen** Regionen weisen 5 von 32 (15,63%) Seedvoxeln eine Korrelationsstärke $> 0,65$ auf. Der Mittelwert beträgt 0,55.

Linke Hemisphäre Price: Proband 5:

Zu Regionen im **Frontalhirn** weisen 12 von 16 (75,00%) Seedvoxeln eine Korrelationsstärke größer 0,65 auf. Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen im Frontalhirn ist 0,67. In das **Zentralhirn** konnektieren 8 von 16 Seedvoxeln (50,00%). Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen im Zentralhirn ist 0,62. Zu **parietalen** Regionen konnektieren 7 von 16 (43,75%) Seedvoxeln ($> 0,65$). Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen im Parietalhirn ist 0,64. Zu **temporalen** Regionen konnektieren 5 von 16 Seedvoxeln (31,25%). Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen im Temporalhirn ist 0,61. Zu **occipitalen** Regionen konnektieren 10 von 16 Seedvoxeln (62,50%). Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen im Occipitalhirn ist 0,67.

linke Hemisphäre Nicht- Price: Proband 5:

Zu Regionen im **Frontalhirn** weisen 1 von 16 Seedvoxeln (6,25%) Seedvoxeln eine Korrelationsstärke größer 0,65 auf. Der Mittelwert aller Seedvoxel über Nicht- Price-Regionen im Frontalhirn ist 0,59. Zu Regionen im **limbischen System** weisen 0 von 16 (0,00%) Seedvoxeln eine Korrelationsstärke $> 0,65$ auf. Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen im limbischen System ist 0,33. Zu **subkortikalen Strukturen und Basalganglien** weisen 0 von 16 (0%) Seedvoxeln eine Korrelationsstärke $> 0,65$ auf. Der Mittelwert ist 0,37. Zu **parietalen** Regionen weisen 12 von 16 (75,00%) Seedvoxeln eine Korrelationsstärke $> 0,65$ auf. Der Mittelwert beträgt 0,72. Zu **occipitalen** Regionen weisen 3 von 16 (18,75%) Seedvoxeln eine Korrelationsstärke $> 0,65$ auf. Der Mittelwert beträgt 0,59.

Rechte Hemisphäre Price: Proband 5:

Zu Regionen im **Frontalhirn** weisen 14 von 16 (87,50%) Seedvoxeln eine Korrelationsstärke größer 0,65 auf. Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen im Frontalhirn ist 0,69. In das **Zentralhirn** konnektieren 13 von 16 Seedvoxeln (81,25%). Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen im Zentralhirn ist 0,66. Zu **parietalen** Regionen konnektieren 14 von 16 (87,50%) Seedvoxeln ($> 0,65$). Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen im Parietalhirn ist 0,69. Zu **temporalen** Regionen konnektieren 9 von 16 Seedvoxeln (56,25%). Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen im Temporalhirn ist 0,65. Zu **occipitalen** Regionen konnektieren 0 von 16 Seedvoxeln (0,00%). Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen im Occipitalhirn ist 0,45.

Rechte Hemisphäre Nicht- Price: Proband 5:

Zu Regionen im **Frontalhirn** weisen 0 von 16 Seedvoxeln (0,00%) Seedvoxeln eine Korrelationsstärke größer 0,65 auf. Der Mittelwert aller Seedvoxel über Nicht- Price-

Regionen im Frontalhirn ist 0,54. Zu Regionen im **limbischen System** weisen 0 von 16 (0,00%) Seedvoxeln eine Korrelationsstärke $> 0,65$ auf. Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen im limbischen System ist 0,39. Zu **subkortikalen Strukturen und Basalganglien** weisen 0 von 16 (0%) Seedvoxeln eine Korrelationsstärke $> 0,65$ auf. Der Mittelwert ist 0,34. Zu **parietalen** Regionen weisen 11 von 16 (68,75%) Seedvoxeln eine Korrelationsstärke $> 0,65$ auf. Der Mittelwert beträgt 0,69. Zu **occipitalen** Regionen weisen 5 von 16 (31,25%) Seedvoxeln eine Korrelationsstärke $> 0,65$ auf. Der Mittelwert beträgt 0,60.

Linke Hemisphäre Price: Proband 6:

Zu Regionen im **Frontalhirn** weisen 44 von 45 (97,78%) Seedvoxeln eine Korrelationsstärke größer 0,65 auf. Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen im Frontalhirn ist 0,78. In das **Zentralhirn** konnektieren 37 von 45 Seedvoxeln (82,22%). Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen im Zentralhirn ist 0,77. Zu **parietalen** Regionen konnektieren 45 von 45 (100%) Seedvoxeln ($> 0,65$). Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen im Parietalhirn ist 0,79. Zu **temporalen** Regionen konnektieren 44 von 45 Seedvoxeln (97,78%). Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen im Temporalhirn ist 0,79. Zu **occipitalen** Regionen konnektieren 44 von 45 Seedvoxeln (97,78%). Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen im Occipitalhirn ist 0,78.

Linke Hemisphäre Nicht- Price: Proband 6:

Zu Regionen im **Frontalhirn** weisen 40 von 45 Seedvoxeln (88,89%) Seedvoxeln eine Korrelationsstärke größer 0,65 auf. Der Mittelwert aller Seedvoxel über Nicht- Price-Regionen im Frontalhirn ist 0,72. Zu Regionen im **limbischen System** weisen 13 von 45 (28,89%) Seedvoxeln eine Korrelationsstärke $> 0,65$ auf. Der Mittelwert aller Seedvoxel

über Regionen im limbischen System ist 0,54. Zu **subkortikalen Strukturen und Basalganglien** weisen 23 von 45 (51,11%) Seedvoxeln eine Korrelationsstärke $> 0,65$ auf. Der Mittelwert ist 0,59. Zu **parietalen** Regionen (Precuneus) weisen 45 von 45 (100%) Seedvoxeln eine Korrelationsstärke $> 0,65$ auf. Der Mittelwert beträgt 0,88. Zu **occipitalen** Regionen weisen 44 von 45 (97,78%) Seedvoxeln eine Korrelationsstärke $> 0,65$ auf. Der Mittelwert beträgt 0,78.

Rechte Hemisphäre Price: Proband 6:

Zu Regionen im **Frontalhirn** weisen 45 von 45 (100%) Seedvoxeln eine Korrelationsstärke größer 0,65 auf. Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen im Frontalhirn ist 0,77. In das **Zentralhirn** konnektieren 44 von 45 Seedvoxeln (97,78%). Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen im Zentralhirn ist 0,81. Zu **parietalen** Regionen konnektieren 45 von 45 (100%) Seedvoxeln ($> 0,65$). Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen im Parietalhirn ist 0,74. Zu **temporalen** Regionen konnektieren 43 von 45 Seedvoxeln (95,56%). Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen im Temporalhirn ist 0,79. Zu **occipitalen** Regionen konnektieren 34 von 45 Seedvoxeln (75,56%). Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen im Occipitalhirn ist 0,67.

Rechte Hemisphäre Nicht- Price: Proband 6:

Zu Regionen im **Frontalhirn** weisen 35 von 45 Seedvoxeln (77,78%) Seedvoxeln eine Korrelationsstärke größer 0,65 auf. Der Mittelwert aller Seedvoxel über Nicht- Price-Regionen im Frontalhirn ist 0,71. Zu Regionen im **limbischen System** weisen 39 von 45 (86,67%) Seedvoxeln eine Korrelationsstärke $> 0,65$ auf. Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen im limbischen System ist 0,66. Zu **subkortikalen Strukturen und Basalganglien** weisen 27 von 45 (60,00%) Seedvoxeln eine Korrelationsstärke $> 0,65$ auf. Der Mittelwert ist 0,63. Zu **parietalen** Regionen weisen 45 von 45 (100%) Seedvoxeln eine Korrelationsstärke $> 0,65$ auf. Der Mittelwert beträgt 0,86. Zu **occipitalen** Regionen

weisen 23 von 45 (51,11%). Seedvoxeln eine Korrelationsstärke $> 0,65$ auf. Der Mittelwert beträgt 0,66.

Linke Hemisphäre Price: Proband 7:

Zu Regionen im **Frontalhirn** weisen 10 von 27 (37,04%) Seedvoxeln eine Korrelationsstärke größer 0,65 auf. Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen im Frontalhirn ist 0,64. In das **Zentralhirn** konnektieren 27 von 27 Seedvoxeln (100%). Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen im Zentralhirn ist 0,81. Zu **parietalen** Regionen konnektieren 16 von 27 (59,26%) Seedvoxeln ($> 0,65$). Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen im Parietalhirn ist 0,65. Zu **temporalen** Regionen konnektieren 6 von 27 Seedvoxeln (22,22%). Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen im Temporalhirn ist 0,62. Zu **occipitalen** Regionen konnektieren 20 von 27 Seedvoxeln (74,07%). Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen im Occipitalhirn ist 0,71.

Linke Hemisphäre Nicht- Price: Proband 7:

Zu Regionen im **Frontalhirn** weisen 0 von 27 Seedvoxeln (0%) eine Korrelationsstärke größer 0,65 auf. Der Mittelwert aller Seedvoxel über Nicht- Price- Regionen im Frontalhirn ist 0,55. Zu Regionen im **limbischen System** weisen 0 von 27 (0,00%) Seedvoxeln eine Korrelationsstärke $> 0,65$ auf. Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen im limbischen System ist 0,42. Zu **subkortikalen Strukturen und Basalganglien** weisen 0 von 27 (0,00%) Seedvoxeln eine Korrelationsstärke $> 0,65$ auf. Der Mittelwert ist 0,23. Zu **parietalen** Regionen weisen 27 von 27 (100%) Seedvoxeln eine Korrelationsstärke $> 0,65$ auf. Der Mittelwert beträgt 0,87. Zu **occipitalen** Regionen weisen 27 von 27 (100%) Seedvoxeln eine Korrelationsstärke $> 0,65$ auf. Der Mittelwert beträgt 0,79.

Rechte Hemisphäre Price: Proband 7:

Zu Regionen im **Frontalhirn** weisen 19 von 27 (70,37%) Seedvoxeln eine Korrelationsstärke größer 0,65 auf. Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen im Frontalhirn ist 0,68. In das **Zentralhirn** konnektieren 27 von 27 Seedvoxeln (100%). Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen im Zentralhirn ist 0,79. Zu **parietalen** Regionen konnektieren 26 von 27 (96,30%) Seedvoxeln ($> 0,65$). Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen im Parietalhirn ist 0,74. Zu **temporalen** Regionen konnektieren 22 von 27 Seedvoxeln (81,48%). Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen im Temporalhirn ist 0,62. Zu **occipitalen** Regionen konnektieren 23 von 27 Seedvoxeln (85,19%). Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen im Occipitalhirn ist 0,69.

Rechte Hemisphäre Nicht- Price: Proband 7:

Zu Regionen im **Frontalhirn** weisen 0 von 27 Seedvoxeln (0%) eine Korrelationsstärke größer 0,65 auf. Der Mittelwert aller Seedvoxel über Nicht- Price- Regionen im Frontalhirn ist 0,55. Zu Regionen im **limbischen System** weisen 8 von 27 (29,63%) Seedvoxeln eine Korrelationsstärke $> 0,65$ auf. Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen im limbischen System ist 0,64. Zu **subkortikalen Strukturen und Basalganglien** weisen 0 von 27 (0,00%) Seedvoxeln eine Korrelationsstärke $> 0,65$ auf. Der Mittelwert ist 0,49. Zu **parietalen** Regionen weisen 27 von 27 (100%) Seedvoxeln eine Korrelationsstärke $> 0,65$ auf. Der Mittelwert beträgt 0,81. Zu **occipitalen** Regionen weisen 27 von 27 (100%) Seedvoxeln eine Korrelationsstärke $> 0,65$ auf. Der Mittelwert beträgt 0,79.

Linke Hemisphäre Price: Proband 8:

Zu Regionen im **Frontalhirn** weisen 39 von 43 (90,70%) Seedvoxeln eine Korrelationsstärke größer 0,65 auf. Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen im Frontalhirn ist 0,70. In das **Zentralhirn** konnektieren 42 von 43 Seedvoxeln (97,67%). Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen im Zentralhirn ist 0,80. Zu **parietalen** Regionen konnektieren 18 von 43 (41,86%) Seedvoxeln ($> 0,65$). Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen im Parietalhirn ist 0,63. Zu **temporalen** Regionen konnektieren 43 von 43 Seedvoxeln (100%). Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen im Temporalhirn ist 0,76. Zu **occipitalen** Regionen konnektieren 43 von 43 Seedvoxeln (100%). Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen im Occipitalhirn ist 0,75.

Linke Hemisphäre Nicht- Price: Proband 8:

Zu Regionen im **Frontalhirn** weisen 14 von 43 Seedvoxeln (32,56%) eine Korrelationsstärke größer 0,65 auf. Der Mittelwert aller Seedvoxel über Nicht- Price-Regionen im Frontalhirn ist 0,63. Zu Regionen im **limbischen System** weisen 38 von 43 (88,37%) Seedvoxeln eine Korrelationsstärke $> 0,65$ auf. Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen im limbischen System ist 0,69. Zu **subkortikalen Strukturen und Basalganglien** weisen 6 von 43 (13,95%) Seedvoxeln eine Korrelationsstärke $> 0,65$ auf. Der Mittelwert ist 0,61. Zu **parietalen** Regionen weisen 43 von 43 (100%) Seedvoxeln eine Korrelationsstärke $> 0,65$ auf. Der Mittelwert beträgt 0,85. Zu **occipitalen** Regionen weisen 37 von 43 (86,05%) Seedvoxeln eine Korrelationsstärke $> 0,65$ auf. Der Mittelwert beträgt 0,79.

Rechte Hemisphäre Price: Proband 8:

Zu Regionen im **Frontalhirn** weisen 37 von 43 (86,05%) Seedvoxeln eine Korrelationsstärke größer 0,65 auf. Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen im

Frontalhirn ist 0,69. In das **Zentralhirn** konnektieren 34 von 43 Seedvoxeln (79,07%). Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen im Zentralhirn ist 0,70. Zu **parietalen** Regionen konnektieren 36 von 43 (83,72%) Seedvoxeln ($> 0,65$). Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen im Parietalhirn ist 0,69. Zu **temporalen** Regionen konnektieren 43 von 43 Seedvoxeln (100%). Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen im Temporalhirn ist 0,77. Zu **occipitalen** Regionen konnektieren 14 von 43 Seedvoxeln (32,56%). Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen im Occipitalhirn ist 0,63.

Rechte Hemisphäre Nicht- Price: Proband 8:

Zu Regionen im **Frontalhirn** weisen 17 von 43 Seedvoxeln (39,53%) eine Korrelationsstärke größer 0,65 auf. Der Mittelwert aller Seedvoxel über Nicht- Price-Regionen im Frontalhirn ist 0,61. Zu Regionen im **limbischen System** weisen 21 von 43 (48,84%) Seedvoxeln eine Korrelationsstärke $> 0,65$ auf. Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen im limbischen System ist 0,57. Zu **subkortikalen Strukturen und Basalganglien** weisen 24 von 43 (55,82%) Seedvoxeln eine Korrelationsstärke $> 0,65$ auf. Der Mittelwert ist 0,64. Zu **parietalen** Regionen weisen 43 von 43 (100%) Seedvoxeln eine Korrelationsstärke $> 0,65$ auf. Der Mittelwert beträgt 0,87. Zu **occipitalen** Regionen weisen 43 von 43 (100%) Seedvoxeln eine Korrelationsstärke $> 0,65$ auf. Der Mittelwert beträgt 0,81.

8.4 Detaillierte Darstellung von Aktivitätszentren anhand der funktionellen

Konnektivität im visuellen Versuchsteil, Schwellenwert 0,65

Linke Hemisphäre Price: Proband 1 vis:

Zu Regionen im **Frontalhirn** weisen 1 von 25 (4,00%) Seedvoxeln eine Korrelationsstärke größer 0,65 auf. Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen im Frontalhirn ist 0,55. In

das **Zentralhirn** konnektieren 2 von 25 Seedvoxeln (8,00%). Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen im Zentralhirn ist 0,58. Zu **parietalen** Regionen konnektieren 0 von 25 (0,00%) Seedvoxeln ($> 0,65$). Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen im Parietalhirn ist 0,31. Zu **temporalen** Regionen konnektieren 0 von 25 Seedvoxeln (0,00%). Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen im Temporalhirn ist 0,46. Zu **occipitalen** Regionen konnektieren 7 von 25 Seedvoxeln (28,00%). Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen im Occipitalhirn ist 0,61.

Linke Hemisphäre Nicht- Price: Proband 1 vis:

Zu Regionen im **Frontalhirn** weisen 0 von 25 Seedvoxeln (0,00%) Seedvoxeln eine Korrelationsstärke größer 0,65 auf. Der Mittelwert aller Seedvoxel über Nicht- Price-Regionen im Frontalhirn ist 0,34. Zu Regionen im **limbischen System** weisen 0 von 25 (0,00%) Seedvoxeln eine Korrelationsstärke $> 0,65$ auf. Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen im limbischen System ist 0,49. Zu **subkortikalen Strukturen und Basalganglien** weisen 0 von 25 (0,00%) Seedvoxeln eine Korrelationsstärke $> 0,65$ auf. Der Mittelwert ist 0,24. Zu **parietalen** Regionen weisen 0 von 25 (0,00%) Seedvoxeln eine Korrelationsstärke $> 0,65$ auf. Der Mittelwert beträgt 0,29. Zu **occipitalen** Regionen weisen 20 von 25 (80,00%) Seedvoxeln eine Korrelationsstärke $> 0,65$ auf. Der Mittelwert beträgt 0,70.

Rechte Hemisphäre Price: Proband 1 vis:

Zu Regionen im **Frontalhirn** weisen 3 von 45 (12,00%) Seedvoxeln eine Korrelationsstärke größer 0,65 auf. Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen im Frontalhirn ist 0,58. In das **Zentralhirn** konnektieren 0 von 25 Seedvoxeln (0,00%). Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen im Zentralhirn ist 0,51. Zu **parietalen** Regionen konnektieren 0 von 25 (0,00%) Seedvoxeln ($> 0,65$). Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen im Parietalhirn ist 0,55. Zu **temporalen** Regionen konnektieren 5 von 25

Seedvoxeln (20,00%). Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen im Temporalhirn ist 0,61. Zu **occipitalen** Regionen konnektieren 6 von 25 Seedvoxeln (24,00%). Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen im Occipitalhirn ist 0,63.

Rechte Hemisphäre Nicht- Price: Proband 1 vis:

Zu Regionen im **Frontalhirn** weisen 0 von 25 Seedvoxeln (0,00%) Seedvoxeln eine Korrelationsstärke größer 0,65 auf. Der Mittelwert aller Seedvoxel über Nicht- Price- Regionen im Frontalhirn ist 0,30. Zu Regionen im **limbischen System** weisen 0 von 25 (0,00%) Seedvoxeln eine Korrelationsstärke $> 0,65$ auf. Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen im limbischen System ist 0,48. Zu **subkortikalen Strukturen und Basalganglien** weisen 0 von 25 (0,00%) Seedvoxeln eine Korrelationsstärke $> 0,65$ auf. Der Mittelwert ist 0,31. Zu **parietalen** Regionen weisen 0 von 25 (0,00%) Seedvoxeln eine Korrelationsstärke $> 0,65$ auf. Der Mittelwert beträgt 0,35. Zu **occipitalen** Regionen weisen 18 von 25 (72,00%) Seedvoxeln eine Korrelationsstärke $> 0,65$ auf. Der Mittelwert beträgt 0,71.

Linke Hemisphäre Price: Proband 2 vis:

Zu Regionen im **Frontalhirn** weisen 0 von 9 (0,00%) Seedvoxeln eine Korrelationsstärke größer 0,65 auf. Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen im Frontalhirn ist 0,39. In das **Zentralhirn** konnektieren 0 von 9 Seedvoxeln (0,00%). Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen im Zentralhirn ist 0,13. Zu **parietalen** Regionen konnektieren 0 von 9 (0,00%) Seedvoxeln ($> 0,65$). Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen im Parietalhirn ist 0,14. Zu **temporalen** Regionen konnektieren 0 von 9 Seedvoxeln (0,00%). Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen im Temporalhirn ist 0,06. Zu **occipitalen**

Regionen konnektieren 0 von 9 Seedvoxeln (0,00%). Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen im Occipitalhirn ist 0,32.

Linke Hemisphäre Nicht- Price: Proband 2 vis:

Zu Regionen im **Frontalhirn** weisen 0 von 9 Seedvoxeln (0,00%) Seedvoxeln eine Korrelationsstärke größer 0,65 auf. Der Mittelwert aller Seedvoxel über Nicht- Price-Regionen im Frontalhirn ist 0,18. Zu Regionen im **limbischen System** weisen 0 von 9 (0,00%) Seedvoxeln eine Korrelationsstärke $> 0,65$ auf. Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen im limbischen System ist 0,20. Zu **subkortikalen Strukturen und Basalganglien** weisen 0 von 9 (0,00%) Seedvoxeln eine Korrelationsstärke $> 0,65$ auf. Der Mittelwert ist 0,02. Zu **parietalen** Regionen weisen 0 von 9 (0,00%) Seedvoxeln eine Korrelationsstärke $> 0,65$ auf. Der Mittelwert beträgt 0,00. Zu **occipitalen** Regionen weisen 3 von 9 (33,33%) Seedvoxeln eine Korrelationsstärke $> 0,65$ auf. Der Mittelwert beträgt 0,63.

Rechte Hemisphäre Price: Proband 2 vis:

Zu Regionen im **Frontalhirn** weisen 0 von 9 (0,00%) Seedvoxeln eine Korrelationsstärke größer 0,65 auf. Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen im Frontalhirn ist 0,21. In das **Zentralhirn** konnektieren 0 von 9 Seedvoxeln (0,00%). Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen im Zentralhirn ist 0,21. Zu **parietalen** Regionen konnektieren 0 von 9 (0,00%) Seedvoxeln ($> 0,65$). Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen im Parietalhirn ist 0,11. Zu **temporalen** Regionen konnektieren 0 von 9 Seedvoxeln (0,00%). Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen im Temporalhirn ist 0,23. Zu **occipitalen** Regionen konnektieren 0 von 9 Seedvoxeln (0,00%). Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen im Occipitalhirn ist 0,29.

Rechte Hemisphäre Nicht- Price: Proband 2 vis:

Zu Regionen im **Frontalhirn** weisen 0 von 9 Seedvoxeln (0,00%) Seedvoxeln eine Korrelationsstärke größer 0,65 auf. Der Mittelwert aller Seedvoxel über Nicht- Price-Regionen im Frontalhirn ist 0,20. Zu Regionen im **limbischen System** weisen 0 von 9 (0,00%) Seedvoxeln eine Korrelationsstärke $> 0,65$ auf. Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen im limbischen System ist 0,31. Zu **subkortikalen Strukturen und Basalganglien** weisen 0 von 9 (0,00%) Seedvoxeln eine Korrelationsstärke $> 0,65$ auf. Der Mittelwert ist 0,03. Zu **parietalen** Regionen weisen 0 von 9 (0,00%) Seedvoxeln eine Korrelationsstärke $> 0,65$ auf. Der Mittelwert beträgt 0,34. Zu **occipitalen** Regionen weisen 2 von 9 (22,22%) Seedvoxeln eine Korrelationsstärke $> 0,65$ auf. Der Mittelwert beträgt 0,61.

Linke Hemisphäre Price: Proband 3 vis:

Zu Regionen im **Frontalhirn** weisen 0 von 9 (0,00%) Seedvoxeln eine Korrelationsstärke größer 0,65 auf. Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen im Frontalhirn ist 0,23. In das **Zentralhirn** konnektieren 0 von 9 Seedvoxeln (0,00%). Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen im Zentralhirn ist 0,47. Zu **parietalen** Regionen konnektieren 0 von 9 (0,00%) Seedvoxeln ($> 0,65$). Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen im Parietalhirn ist 0,54. Zu **temporalen** konnektieren 0 von 9 Seedvoxeln (0,00%). Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen im Temporalhirn ist 0,39. Zu **occipitalen** Regionen konnektieren 0 von 9 Seedvoxeln (0,00%). Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen im Occipitalhirn ist 0,56.

Linke Hemisphäre Nicht- Price: Proband 3 vis:

Zu Regionen im **Frontalhirn** weisen 0 von 9 Seedvoxeln (0,00%) Seedvoxeln eine Korrelationsstärke größer 0,65 auf. Der Mittelwert aller Seedvoxel über Nicht- Price-Regionen im Frontalhirn ist 0,15. Zu Regionen im **limbischen System** weisen 0 von 9 (0,00%) Seedvoxeln eine Korrelationsstärke $> 0,65$ auf. Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen im limbischen System ist 0,16. Zu **subkortikalen Strukturen und Basalganglien** konnektieren keine Seedvoxel Zu **parietalen** Regionen weisen 0 von 9 (0,00%) Seedvoxeln eine Korrelationsstärke $> 0,65$ auf. Der Mittelwert beträgt 0,18. Zu **occipitalen** Regionen weisen 1 von 9 (11,11%) Seedvoxeln eine Korrelationsstärke $> 0,65$ auf. Der Mittelwert beträgt 0,61.

Rechte Hemisphäre Price: Proband 3 vis:

Zu Regionen im **Frontalhirn** weisen 0 von 9 (0,00%) Seedvoxeln eine Korrelationsstärke größer 0,65 auf. Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen im Frontalhirn ist 0,39. In das **Zentralhirn** konnektieren 0 von 9 Seedvoxeln (0,00%). Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen im Zentralhirn ist 0,42. Zu **parietalen** Regionen konnektieren 0 von 9 (0,00%) Seedvoxeln ($> 0,65$). Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen im Parietalhirn ist 0,37. Zu **temporalen** Regionen konnektieren 0 von 9 Seedvoxeln (0,00%). Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen im Temporalhirn ist 0,54. Zu **occipitalen** Regionen konnektieren 2 von 9 Seedvoxeln (22,22%). Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen im Occipitalhirn ist 0,65.

Rechte Hemisphäre Nicht- Price: Proband 3 vis:

Zu Regionen im **Frontalhirn** weisen 0 von 9 Seedvoxeln (0,00%) Seedvoxeln eine Korrelationsstärke größer 0,65 auf. Der Mittelwert aller Seedvoxel über Nicht- Price-Regionen im Frontalhirn ist 0,18. Zu Regionen im **limbischen System** weisen 0 von 9

(0,00%) Seedvoxeln eine Korrelationsstärke $> 0,65$ auf. Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen im limbischen System ist 0,04. Zu **subkortikalen Strukturen und Basalganglien** weisen 0 von 9 (0,00%) Seedvoxeln eine Korrelationsstärke $> 0,65$ auf. Der Mittelwert ist 0,04. Zu **parietalen** Regionen weisen 0 von 9 (0,00%) Seedvoxeln eine Korrelationsstärke $> 0,65$ auf. Der Mittelwert beträgt 0,11. Zu **occipitalen** Regionen weisen 8 von 9 (88,89%) Seedvoxeln eine Korrelationsstärke $> 0,65$ auf. Der Mittelwert beträgt 0,71.

Linke Hemisphäre Price: Proband 4 vis:

Zu Regionen im **Frontalhirn** weisen 13 von 17 (76,47%) Seedvoxeln eine Korrelationsstärke größer 0,65 auf. Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen im Frontalhirn ist 0,64. In das **Zentralhirn** konnektieren 14 von 17 Seedvoxeln (82,35%). Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen im Zentralhirn ist 0,73. Zu **parietalen** Regionen konnektieren 15 von 17 (88,24%) Seedvoxeln ($> 0,65$). Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen im Parietalhirn ist 0,64. Zu **temporalen** Regionen konnektieren 3 von 17 Seedvoxeln (17,65%) . Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen im Temporalhirn ist 0,55. Zu **occipitalen** Regionen konnektieren 13 von 17 Seedvoxeln (76,47%). Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen im Occipitalhirn ist 0,65.

Linke Hemisphäre Nicht- Price: Proband 4 vis:

Zu Regionen im **Frontalhirn** weisen 3 von 17 Seedvoxeln (17,65%) eine Korrelationsstärke größer 0,65 auf. Der Mittelwert aller Seedvoxel über Nicht- Price-Regionen im Frontalhirn ist 0,56. Zu Regionen im **limbischen System** weisen 11 von 17 (64,71%) Seedvoxeln eine Korrelationsstärke $> 0,65$ auf. Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen im limbischen System ist 0,63. Zu **subkortikalen Strukturen und**

Basalganglien weisen 0 von 17 (0%) Seedvoxeln eine Korrelationsstärke $> 0,65$ auf. Der Mittelwert ist 0,43. Zu **parietalen** Regionen weisen 15 von 17 (88,24%) Seedvoxeln eine Korrelationsstärke $> 0,65$ auf. Der Mittelwert beträgt 0,72. Zu **occipitalen** Regionen weisen 12 von 17 (70,59%) Seedvoxeln eine Korrelationsstärke $> 0,65$ auf. Der Mittelwert beträgt 0,68.

Rechte Hemisphäre Price: Proband 4 vis:

Zu Regionen im **Frontalhirn** weisen 0 von 17 (0%) Seedvoxeln eine Korrelationsstärke größer 0,65 auf. Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen im Frontalhirn ist 0,22. In das **Zentralhirn** konnektieren 14 von 17 Seedvoxeln (82,35%). Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen im Zentralhirn ist 0,72.

Zu **parietalen** Regionen konnektieren 11 von 17 (64,71%) Seedvoxeln ($> 0,65$). Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen im Parietalhirn ist 0,61. Zu **temporalen** Regionen konnektieren 4 von 17 Seedvoxeln (23,53%). Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen im Temporalhirn ist 0,58. Zu **occipitalen** Regionen konnektieren 0 von 17 Seedvoxeln (0%). Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen im Occipitalhirn ist 0,49.

Rechte Hemisphäre Nicht- Price: Proband 4 vis:

Zu Regionen im **Frontalhirn** weisen 2 von 17 Seedvoxeln (11,76 %) eine Korrelationsstärke größer 0,65 auf. Der Mittelwert aller Seedvoxel über Nicht- Price-Regionen im Frontalhirn ist 0,51. Zu Regionen im **limbischen System** weisen 3 von 17 (17,65%) Seedvoxeln eine Korrelationsstärke $> 0,65$ auf. Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen im limbischen System ist 0,59. Zu **subkortikalen Strukturen und Basalganglien** weist 1 von 17 (5,88%) Seedvoxeln eine Korrelationsstärke $> 0,65$ auf. Der Mittelwert ist 0,55. Zu **parietalen** Regionen (Precuneus) weisen 15 von 17 (88,24%) Seedvoxeln eine Korrelationsstärke $> 0,65$ auf. Der Mittelwert beträgt 0,72. Zu **occipitalen**

Regionen weisen 9 von 17 (52,94%) Seedvoxeln eine Korrelationsstärke $> 0,65$ auf. Der Mittelwert beträgt 0,62.

Linke Hemisphäre Price: Proband 5 vis:

Zu Regionen im **Frontalhirn** weist 1 von 5 (20,00%) Seedvoxeln eine Korrelationsstärke größer 0,65 auf. Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen im Frontalhirn ist 0,39. In das **Zentralhirn** konnektiert 1 von 5 Seedvoxeln (20,00%). Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen im Zentralhirn ist 0,47. Zu **parietalen** Regionen konnektiert 1 von 5 (20,00%) Seedvoxeln ($> 0,65$). Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen im Parietalhirn ist 0,38. Zu **temporalen** Regionen konnektieren 0 von 5 Seedvoxeln (0,00%) . Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen im Temporalhirn ist 0,40. Zu **occipitalen** Regionen konnektiert 1 von 5 Seedvoxeln (20,00%). Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen im Occipitalhirn ist 0,48.

Linke Hemisphäre Nicht- Price: Proband 5 vis:

Zu Regionen im **Frontalhirn** weisen 0 von 0 Seedvoxeln (0,00%) eine Korrelationsstärke größer 0,65 auf. Der Mittelwert aller Seedvoxel über Nicht- Price- Regionen im Frontalhirn ist 0,30. Zu Regionen im **limbischen System** weisen 0 von 5 (0,00%) Seedvoxeln eine Korrelationsstärke $> 0,65$ auf. Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen im limbischen System ist 0,24. Zu **subkortikalen Strukturen und Basalganglien** weist 1 von 5 (20,00%) Seedvoxeln eine Korrelationsstärke $> 0,65$ auf. Der Mittelwert ist 0,26. Zu **parietalen** Regionen weist 1 von 5 (20,00%) Seedvoxeln eine Korrelationsstärke $> 0,65$ auf. Der Mittelwert beträgt 0,40. Zu **occipitalen** Regionen weisen 2 von 5 (40,00%) Seedvoxeln eine Korrelationsstärke $> 0,65$ auf. Der Mittelwert beträgt 0,71.

Rechte Hemisphäre Price: Proband 5 vis:

Zu Regionen im **Frontalhirn** weisen 1 von 5 (20,00%) Seedvoxeln eine Korrelationsstärke größer 0,65 auf. Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen im Frontalhirn ist 0,45. In das **Zentralhirn** konnektieren 0 von 5 Seedvoxeln (0,00%) . Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen im Zentralhirn ist 0,48. Zu **parietalen** Regionen konnektieren 1 von 5 (20,00%) Seedvoxeln ($> 0,65$). Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen im Parietalhirn ist 0,41. Zu **temporalen** Regionen konnektiert 1 von 5 Seedvoxeln (20,00%). Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen im Temporalhirn ist 0,48. Zu **occipitalen** Regionen konnektieren 0 von 5 Seedvoxeln (0,00%). Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen im Occipitalhirn ist 0,42.

Rechte Hemisphäre Nicht- Price: Proband 5 vis:

Zu Regionen im **Frontalhirn** weisen 0 von 5 Seedvoxeln (0,00 %) Seedvoxeln eine Korrelationsstärke größer 0,65 auf. Der Mittelwert aller Seedvoxel über Nicht- Price-Regionen im Frontalhirn ist 0,19. Zu Regionen im **limbischen System** weisen 0 von 5 (0,00%) Seedvoxeln eine Korrelationsstärke $> 0,65$ auf. Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen im limbischen System ist 0,17. Zu **subkortikalen Strukturen und Basalganglien** weist 1 von 5 (20,00%) Seedvoxeln eine Korrelationsstärke $> 0,65$ auf. Der Mittelwert ist 0,19. Zu **parietalen** Regionen weist 1 von 5 (20,00%) Seedvoxeln eine Korrelationsstärke $> 0,65$ auf. Der Mittelwert beträgt 0,46. Zu **occipitalen** Regionen weisen 2 von 5 (40,00%) Seedvoxeln eine Korrelationsstärke $> 0,65$ auf. Der Mittelwert beträgt 0,63.

Linke Hemisphäre Price: Proband 6 vis:

Zu Regionen im **Frontalhirn** weisen 0 von 15 (0,00%) Seedvoxeln eine Korrelationsstärke größer 0,65 auf. Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen im Frontalhirn ist 0,40. In das **Zentralhirn** (Rolandic_Oper, Precentral, Postcentral) konnektieren 0 von 15 Seedvoxeln (0,00%). Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen im Zentralhirn ist 0,38. Zu **parietalen** Regionen konnektieren 5 von 15 (33,33%) Seedvoxeln ($> 0,65$). Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen im Parietalhirn ist 0,46. Zu **temporalen** Regionen konnektieren 6 von 15 Seedvoxeln (40,00%) . Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen im Temporalhirn ist 0,46. Zu **occipitalen** Regionen konnektieren 6 von 15 Seedvoxeln (40,00%). Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen im Occipitalhirn ist 0,52.

Linke Hemisphäre Nicht- Price: Proband 6 vis:

Zu Regionen im **Frontalhirn** weisen 0 von 15 Seedvoxeln (0,00%) Seedvoxeln eine Korrelationsstärke größer 0,65 auf. Der Mittelwert aller Seedvoxel über Nicht- Price-Regionen im Frontalhirn ist 0,33. Zu Regionen im **limbischen System** weisen 0 von 15 (0,00%) Seedvoxeln eine Korrelationsstärke $> 0,65$ auf. Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen im limbischen System ist 0,42. Zu **subkortikalen Strukturen und Basalganglien** weisen 0 von 15 (0,00%) Seedvoxeln eine Korrelationsstärke $> 0,65$ auf. Der Mittelwert ist 0,31. Zu **parietalen** Regionen weisen 7 von 15 (46,67%) Seedvoxeln eine Korrelationsstärke $> 0,65$ auf. Der Mittelwert beträgt 0,55. Zu **occipitalen** Regionen weisen 8 von 15 (53,33%%) Seedvoxeln eine Korrelationsstärke $> 0,65$ auf. Der Mittelwert beträgt 0,62.

Rechte Hemisphäre Price: Proband 6 vis:

Zu Regionen im **Frontalhirn** weisen 2 von 15 (13,33%) Seedvoxeln eine Korrelationsstärke größer 0,65 auf. Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen im Frontalhirn ist 0,40. In das **Zentralhirn** konnektieren 0 von 15 Seedvoxeln (0,00%) . Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen im Zentralhirn ist 0,49. Zu **parietalen** Regionen konnektieren 4 von 15 (26,67%) Seedvoxeln ($> 0,65$). Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen im Parietalhirn ist 0,49. Zu **temporalen** Regionen konnektieren 3 von 15 Seedvoxeln (20,00%) . Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen im Temporalhirn ist 0,49. Zu **occipitalen** Regionen konnektieren 0 von 15 Seedvoxeln (0,00%). Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen im Occipitalhirn ist 0,48.

Rechte Hemisphäre Nicht- Price: Proband 6 vis:

Zu Regionen im **Frontalhirn** weisen 0 von 15 Seedvoxeln (0,00%) Seedvoxeln eine Korrelationsstärke größer 0,65 auf. Der Mittelwert aller Seedvoxel über Nicht- Price-Regionen im Frontalhirn ist 0,31. Zu Regionen im **limbischen System** weisen 0 von 15 (0,00%) Seedvoxeln eine Korrelationsstärke $> 0,65$ auf. Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen im limbischen System ist 0,37. Zu **subkortikalen Strukturen und Basalganglien** weisen 0 von 15 (0,00%) Seedvoxeln eine Korrelationsstärke $> 0,65$ auf. Der Mittelwert ist 0,34. Zu **parietalen** Regionen weisen 7 von 15 (46,67%) Seedvoxeln eine Korrelationsstärke $> 0,65$ auf. Der Mittelwert beträgt 0,50. Zu **occipitalen** Regionen weisen 12 von 15 (80,00%) Seedvoxeln eine Korrelationsstärke $> 0,65$ auf. Der Mittelwert beträgt 0,66.

Linke Hemisphäre Price: Proband 7 vis:

Zu Regionen im **Frontalhirn** weisen 0 von 13 (0,00%) Seedvoxeln eine Korrelationsstärke größer 0,65 auf. Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen im Frontalhirn ist 0,31. In das **Zentralhirn** konnektieren 0 von 13 Seedvoxeln (0,00%). Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen im Zentralhirn ist 0,36. Zu **parietalen** Regionen konnektieren 0 von 13 (0,00%) Seedvoxeln ($> 0,65$). Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen im Parietalhirn ist 0,35. Zu **temporalen** Regionen konnektieren 0 von 13 Seedvoxeln (0,00%). Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen im Temporalhirn ist 0,19. Zu **occipitalen** Regionen konnektieren 0 von 13 Seedvoxeln (0,00%). Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen im Occipitalhirn ist 0,37.

Linke Hemisphäre Nicht- Price: Proband 7 vis:

Zu Regionen im **Frontalhirn** weisen 0 von 13 Seedvoxeln (0,00%) eine Korrelationsstärke größer 0,65 auf. Der Mittelwert aller Seedvoxel über Nicht- Price- Regionen im Frontalhirn ist 0,18. Zu Regionen im **limbischen System** weisen 0 von 13 (0,00%) Seedvoxeln eine Korrelationsstärke $> 0,65$ auf. Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen im limbischen System ist 0,40. Zu **subkortikalen Strukturen und Basalganglien** weisen 0 von 13 (0,00%) Seedvoxeln eine Korrelationsstärke $> 0,65$ auf. Der Mittelwert ist 0,03. Zu **parietalen** Regionen weisen 1 von 13 (7,69%) Seedvoxeln eine Korrelationsstärke $> 0,65$ auf. Der Mittelwert beträgt 0,17. Zu **occipitalen** Regionen weisen 7 von 13 (53,85%) Seedvoxeln eine Korrelationsstärke $> 0,65$ auf. Der Mittelwert beträgt 0,60.

Rechte Hemisphäre Price: Proband 7 vis:

Zu Regionen im **Frontalhirn** weisen 0 von 13 (0,00%) Seedvoxeln eine Korrelationsstärke größer 0,65 auf. Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen im Frontalhirn ist 0,40. In

das **Zentralhirn** konnektieren 0 von 13 Seedvoxeln (0,00%) . Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen im Zentralhirn ist 0,53. Zu **parietalen** Regionen 0 von 13 (0,00%) Seedvoxeln ($> 0,65$). Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen im Parietalhirn ist 0,33.

Zu **temporalen** Regionen konnektieren 0 von 13 Seedvoxeln (0,00%). Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen im Temporalhirn ist 0,35. Zu **occipitalen** Regionen konnektieren 0 von 13 Seedvoxeln (0,00%). Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen im Occipitalhirn ist 0,35.

Rechte Hemisphäre Nicht- Price: Proband 7 vis:

Zu Regionen im **Frontalhirn** weisen 0 von 13 Seedvoxeln (0,00%) Seedvoxeln eine Korrelationsstärke größer 0,65 auf. Der Mittelwert aller Seedvoxel über Nicht- Price-Regionen im Frontalhirn ist 0,23. Zu Regionen im **limbischen System** weisen 0 von 13 (0,00%) Seedvoxeln eine Korrelationsstärke $> 0,65$ auf. Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen im limbischen System ist 0,45. Zu **subkortikalen Strukturen und Basalganglien** weisen 0 von 13 (0,00%) Seedvoxeln eine Korrelationsstärke $> 0,65$ auf. Der Mittelwert ist 0,02. Zu **parietalen** Regionen (Precuneus) weisen 1 von 13 (7,69%) Seedvoxeln eine Korrelationsstärke $> 0,65$ auf. Der Mittelwert beträgt 0,50. Zu **occipitalen** Regionen weisen 11 von 13 (84,62%) Seedvoxeln eine Korrelationsstärke $> 0,65$ auf. Der Mittelwert beträgt 0,73.

Linke Hemisphäre Price: Proband 8 vis:

Zu Regionen im **Frontalhirn** weisen 5 von 9 (55,56%) Seedvoxeln eine Korrelationsstärke größer 0,65 auf. Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen im Frontalhirn ist 0,65. In das **Zentralhirn** konnektieren 9 von 9 Seedvoxeln (100,00%). Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen im Zentralhirn ist 0,80. Zu **parietalen** Regionen konnektieren 2 von 9 (22,22%) Seedvoxeln ($> 0,65$). Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen im Parietalhirn ist 0,62. Zu **temporalen** Regionen konnektieren 3 von 9 Seedvoxeln (33,33%). Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen im Temporalhirn ist 0,64. Zu **occipitalen** Regionen konnektieren 9 von 9 Seedvoxeln (100,00%). Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen im Occipitalhirn ist 0,75.

Linke Hemisphäre Nicht- Price: Proband 8 vis:

Zu Regionen im **Frontalhirn** weisen 0 von 9 Seedvoxeln (0,00%) eine Korrelationsstärke größer 0,65 auf. Der Mittelwert aller Seedvoxel über Nicht- Price- Regionen im Frontalhirn ist 0,45. Zu Regionen im **limbischen System** weisen 0 von 9 (0,00%) Seedvoxeln eine Korrelationsstärke $> 0,65$ auf. Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen im limbischen System ist 0,55. Zu **subkortikalen Strukturen und Basalganglien** weisen 0 von 9 (0,00%) Seedvoxeln eine Korrelationsstärke $> 0,65$ auf. Der Mittelwert ist 0,36. Zu **parietalen** Regionen weisen 9 von 9 (100,00%) Seedvoxeln eine Korrelationsstärke $> 0,65$ auf. Der Mittelwert beträgt 0,82. Zu **occipitalen** Regionen weisen 1 von 9 (11,11%) Seedvoxeln eine Korrelationsstärke $> 0,65$ auf. Der Mittelwert beträgt 0,56.

Rechte Hemisphäre Price: Proband 8 vis:

Zu Regionen im **Frontalhirn** weisen 1 von 9 (11,11%) Seedvoxeln eine Korrelationsstärke größer 0,65 auf. Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen im Frontalhirn ist 0,59. In

das **Zentralhirn** konnektieren 8 von 9 Seedvoxeln (88,89%). Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen im Zentralhirn ist 0,72. Zu **parietalen** Regionen konnektieren 8 von 9 (88,89%) Seedvoxeln ($> 0,65$). Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen im Parietalhirn ist 0,70. Zu **temporalen** Regionen konnektieren 8 von 9 Seedvoxeln (88,89%) . Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen im Temporalhirn ist 0,70. Zu **occipitalen** Regionen konnektieren 2 von 9 Seedvoxeln (22,22%). Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen im Occipitalhirn ist 0,63.

Rechte Hemisphäre Nicht- Price: Proband 8 vis:

Zu Regionen im **Frontalhirn** weisen 0 von 9 Seedvoxeln (0,00%) Seedvoxeln eine Korrelationsstärke größer 0,65 auf. Der Mittelwert aller Seedvoxel über Nicht- Price-Regionen im Frontalhirn ist 0,49. Zu Regionen im **limbischen System** weisen 0 von 9 (0,00%) Seedvoxeln eine Korrelationsstärke $> 0,65$ auf. Der Mittelwert aller Seedvoxel über Regionen im limbischen System ist 0,51.

Zu **subkortikalen Strukturen und Basalganglien** weisen 0 von 9 (0,00%) Seedvoxeln eine Korrelationsstärke $> 0,65$ auf. Der Mittelwert ist 0,53. Zu **parietalen** Regionen weisen 9 von 9 (100,00%) Seedvoxeln eine Korrelationsstärke $> 0,65$ auf. Der Mittelwert beträgt 0,84. Zu **occipitalen** Regionen weisen 7 von 9 (77,78%) Seedvoxeln eine Korrelationsstärke $> 0,65$ auf. Der Mittelwert beträgt 0,66.

8.5 Darstellung der Frequenzanteile in der Spektralanalyse im auditiven Versuchsteil

8.5.1 Oberes Prozentdrittel

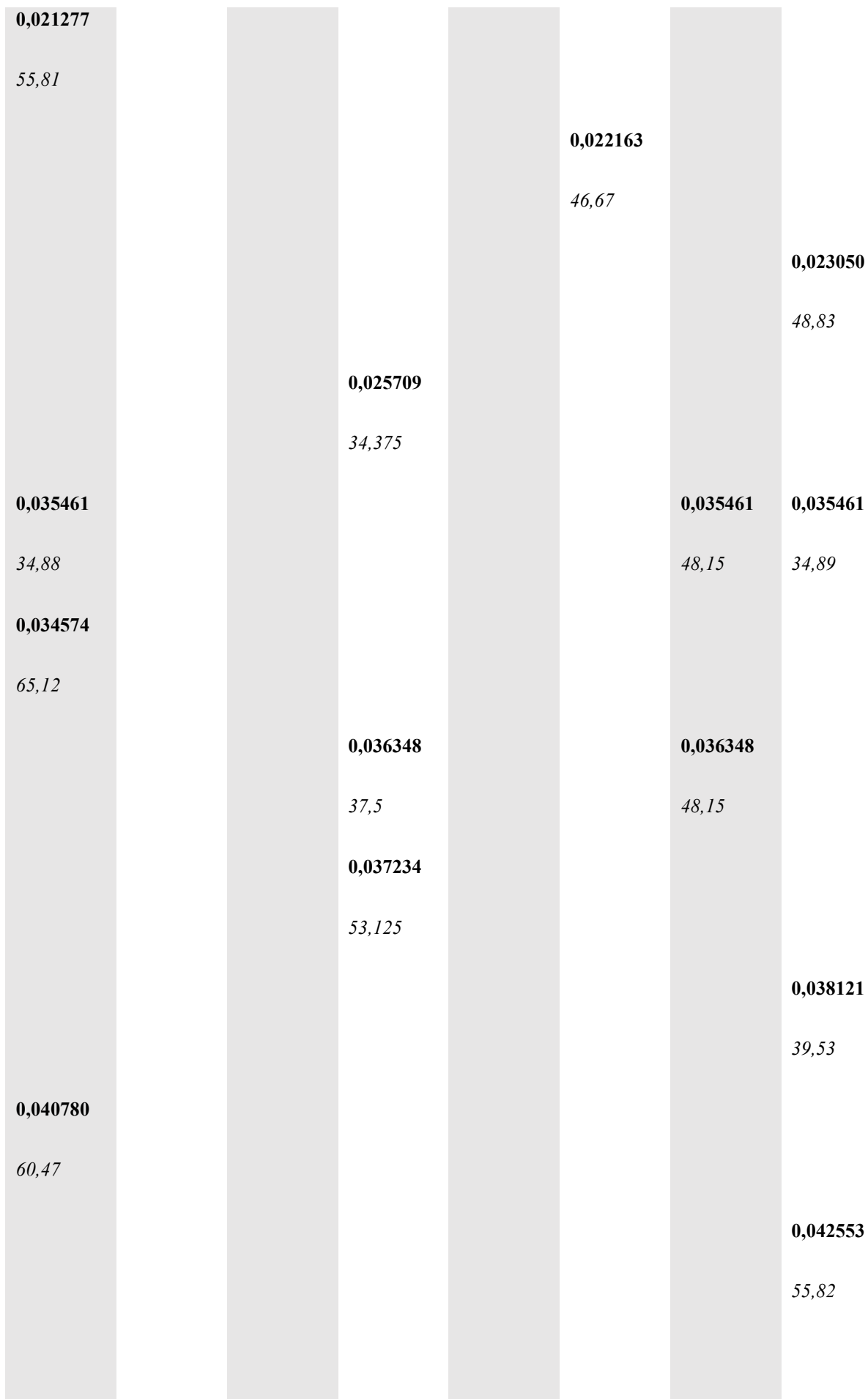
P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8
	0,018617			0,018617		0,018617	
	89,47			87,5		96,30	
0,019504							
100							
0,020390							
97,67							
				0,021277	0,021277		
				75	100		
	0,022163					0,022163	
	100					70,37	
0,023936					0,023936		0,023936
95,35					100		100
						0,027482	
						100	
				0,033688			
				68,75			

		0,036348	0,036348	
		<i>75</i>	<i>91,11</i>	
0,039007				0,039007
<i>97,67</i>				<i>74,07</i>
				0,042553
				<i>92,59</i>
				0,047872
				<i>100</i>

Tabelle 8 | Prozentualer Anteil der Seedvoxel mit dieser Frequenzkomponente, oberes Prozentdrittel, aud 0,65. Die nachfolgenden Tabellen sind wie folgt zu lesen: In den Spalten sind die einzelnen Probanden 1-8 aufgeführt. In den Zeilen ist die Frequenz in Hz fett gedruckt, direkt darunter kursiv gedruckt ist der prozentuale Anteil der Seedvoxel (angegeben in %), die diese Frequenz aufweisen.

8.5.2 Mittleres Prozentdrittel

P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8
	0,011525						
	<i>42,11</i>						
					0,019504	0,019504	
					<i>37,78</i>	<i>55,56</i>	
							0,020390
							<i>41,86</i>



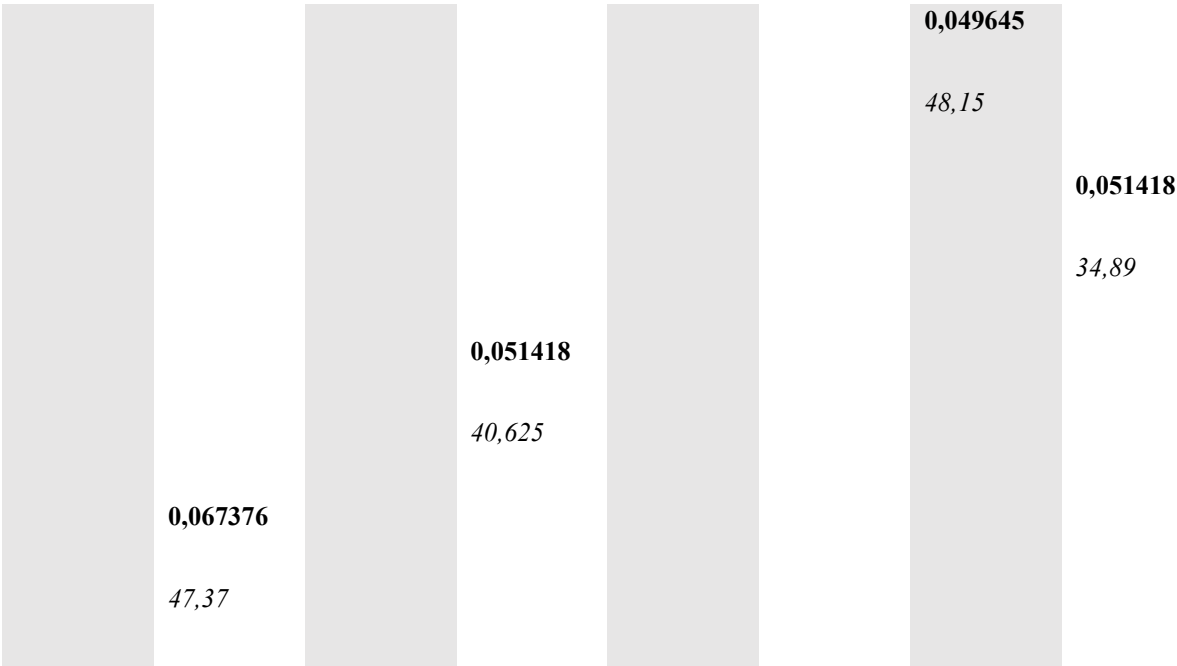


Tabelle 9 | Prozentualer Anteil der Seedvoxel mit dieser Frequenzkomponente, mittleres Prozentdrittel, aud 0,65.

8.5.3 Unteres Prozentdrittel

P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8
0,010638						0,010638	
4,65						3,70	
				0,011525			0,011525
				18,75			2,33
							0,012411
							2,33

				0,018617		0,018617
				2,22		13,95
	0,020390				0,020390	
	31,58				7,41	
					0,021277	
					3,70	
0,022163		0,022163	0,022163			
2,33		9,375	6,25			
0,023050					0,023050	
11,63					7,40	
		0,023936			0,023936	
		25,00			18,52	
		0,024823				0,024823
		3,125				23,26
0,025709	0,025709				0,025709	
2,33	5,26				6,98	
0,026596	0,026596		0,026596	0,026596		
4,65	26,32		12,5	2,22		
			0,027482			0,027482
			6,25			25,58
					0,032801	0,032801
					33,33	27,917

				0,033688	0,033688
				4,44	18,52
		0,034574	0,034574	0,034574	
		31,25	18,75	2,222	
	0,035461				
	26,32				
					0,036348
					9,30
			0,037234		
			6,25		
0,038121		0,038121		0,038121	0,038121
27,91		6,25		2,22	3,70
			0,039007	0,039007	0,039007
			6,25	8,89	23,26
0,039894	0,039894				0,039894
30,23	5,26				3,70
		0,040780		0,040780	0,040780
		8,33		13,33	13,95
	0,041667	0,041667	0,041667		0,041667
	15,789	3,13	6,25		11,11
	0,042553			0,042553	
	10,53			20	

			0,047872			0,047872
			15,63			2,33
			0,048759			
			12,50			
0,050532			0,050532		0,050532	
13,95			15,625		7,411	
	0,051418				0,051418	
	5,26				14,81	
				0,052305	0,052305	
				28,89	30,23	
0,053191	0,053191			0,053191		
4,65	31,58			8,89		
				0,054078	0,054078	
				12,5	11,11	
0,054965	0,054965	0,054965				
4,65	26,32	12,50				
	0,055851					
	15,79					
	0,056738					
	5,26					
			0,057624	0,057624		
			12,50	22,22		

	0,062943				
	<i>15,79</i>				
			0,062943	0,062943	
			<i>6,25</i>	<i>7,41</i>	
	0,063830				
	<i>31,58</i>				
				0,064716	0,064716
				<i>11,11</i>	<i>2,33</i>
0,065603					
<i>2,33</i>					
			0,067376	0,067376	
			<i>2,22</i>	<i>11,11</i>	
	0,070035				
	<i>5,26</i>				
			0,078014	0,078014	
			<i>6,25</i>	<i>3,70</i>	
					0,079787
					<i>4,65</i>
			0,081560		
			<i>6,25</i>		
0,082447				0,082447	0,082447
<i>2,33</i>				<i>3,70</i>	<i>2,33</i>

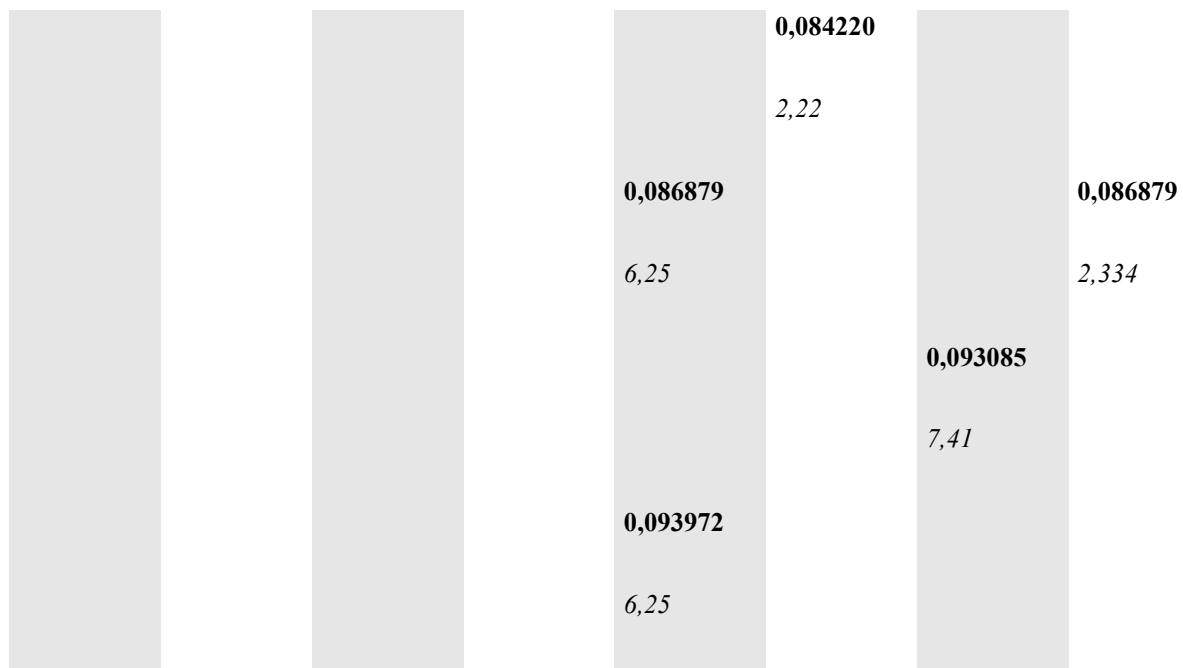


Tabelle 10 | Prozentualer Anteil der Seedvoxel mit dieser Frequenzkomponente, unteres Prozentdrittel, aud 0,65 .

8.6 Darstellung der Frequenzanteile in der Spektralanalyse im visuellen Versuchsteil

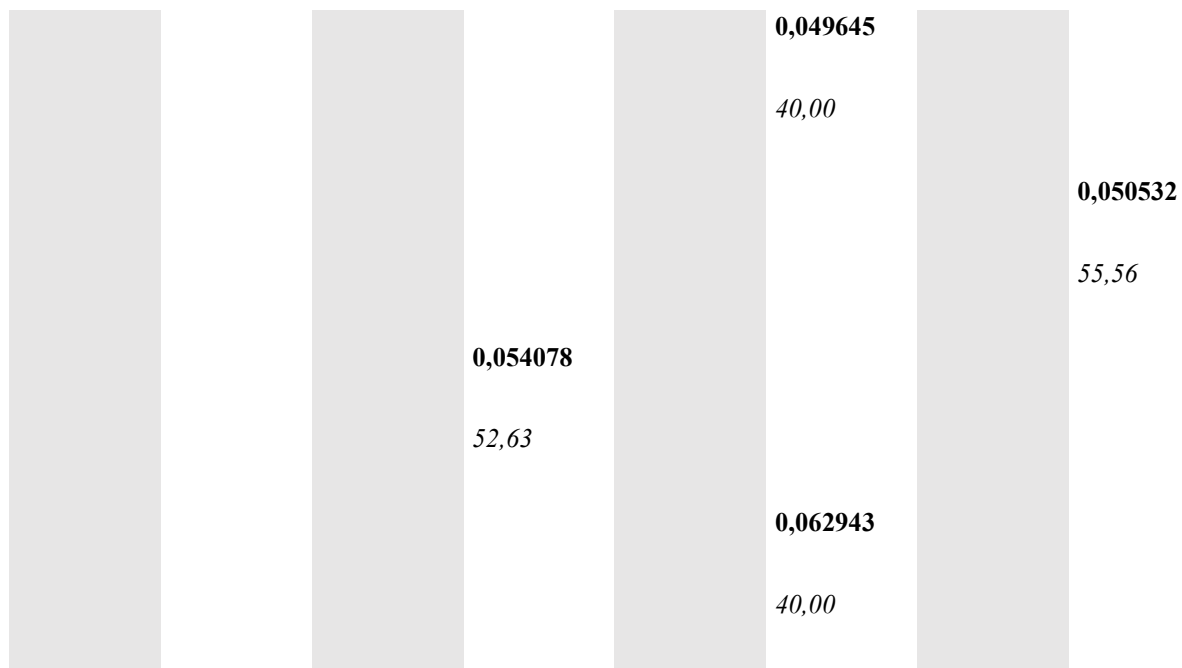
8.6.1 Oberes Prozentdrittel

P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8
			0,024823				
			84,21				
							0,032801
							100
			0,033688				
			94,74				
							0,039894
							100
							0,040780
							88,89
							0,055851
							88,89

Tabelle 11 | Prozentualer Anteil der Seedvoxel mit dieser Frequenzkomponente, oberes Prozentdrittel, vis 0,65.

8.6.2 Mittleres Prozentdrittel

P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8
				0,012411			
				40,00			
				0,011525			
				40,00			
					0,020390		
					46,67		
			0,021277				0,021277
			36,84				66,67
				0,024823			
				40,00			
	0,026596						
	55,56						
							0,027482
							66,67
						0,032801	
						53,85	
			0,039007				
			47,37				
							0,048759
							44,44



**Tabelle 12 | Prozentualer Anteil der Seedvoxel mit dieser Frequenzkomponente, mittleres
Prozentdrittel, vis 0,65.**

8.6.3 Unteres Prozentdrittel

P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8
		0,010638			0,010638		
			5,26			7,69	
			0,011525				
			10,53				
			0,012411			0,012411	
			10,53			15,38	
			0,019504		0,019504		
			10,53		6,67		
			0,020390				
			10,53				
				0,021277			
				20,00			
			0,022163		0,022163		
			15,79		6,67		
0,023050			0,023050				
4			15,79				
0,024823							0,024823
4							11,11

			0,025709	
			6,67	
			0,026596	
			26,67	
	0,027482	0,027482		
	10,53	13,33		
		0,032801		
		6,67		
0,034574		0,034574		
4,00		13,33		
0,035461	0,035461	0,035461		
4,00	21,05	26,67		
	0,036348	0,036348	0,036348	
	10,53	6,67	7,69	
	0,037234			
	10,53			
		0,038121		
		6,67		
0,039894		0,039894		
4		13,33		
	0,040780	0,040780		
	5,26	13,33		

0,041667
4,00

0,051418
8,00

0,042553
21,05

0,052305
5,26

0,053191
5,26

0,047872
20,00

0,049645
20,00

0,051418
20,00

0,054078
20,00

0,047872
7,69

0,050532
13,33

0,053191
6,67

0,054965
6,677

0,055851
13,33

0,047872
22,22

0,051418
33,33

0,054965
33,33

		0,056738		
		5,26		
		0,057624		0,057624
		5,26		7,69
			0,062943	
			20,00	
			0,063830	
			6,67	
			0,064716	0,064716 0,064716
			20,00	7,699 11,11
			0,065603	0,065603
			26,67	7,69
				0,066489
				23,08
				0,067376
				11,11
		0,068262		
		15,789		
				0,069149
				33,33
				0,070035
				7,69

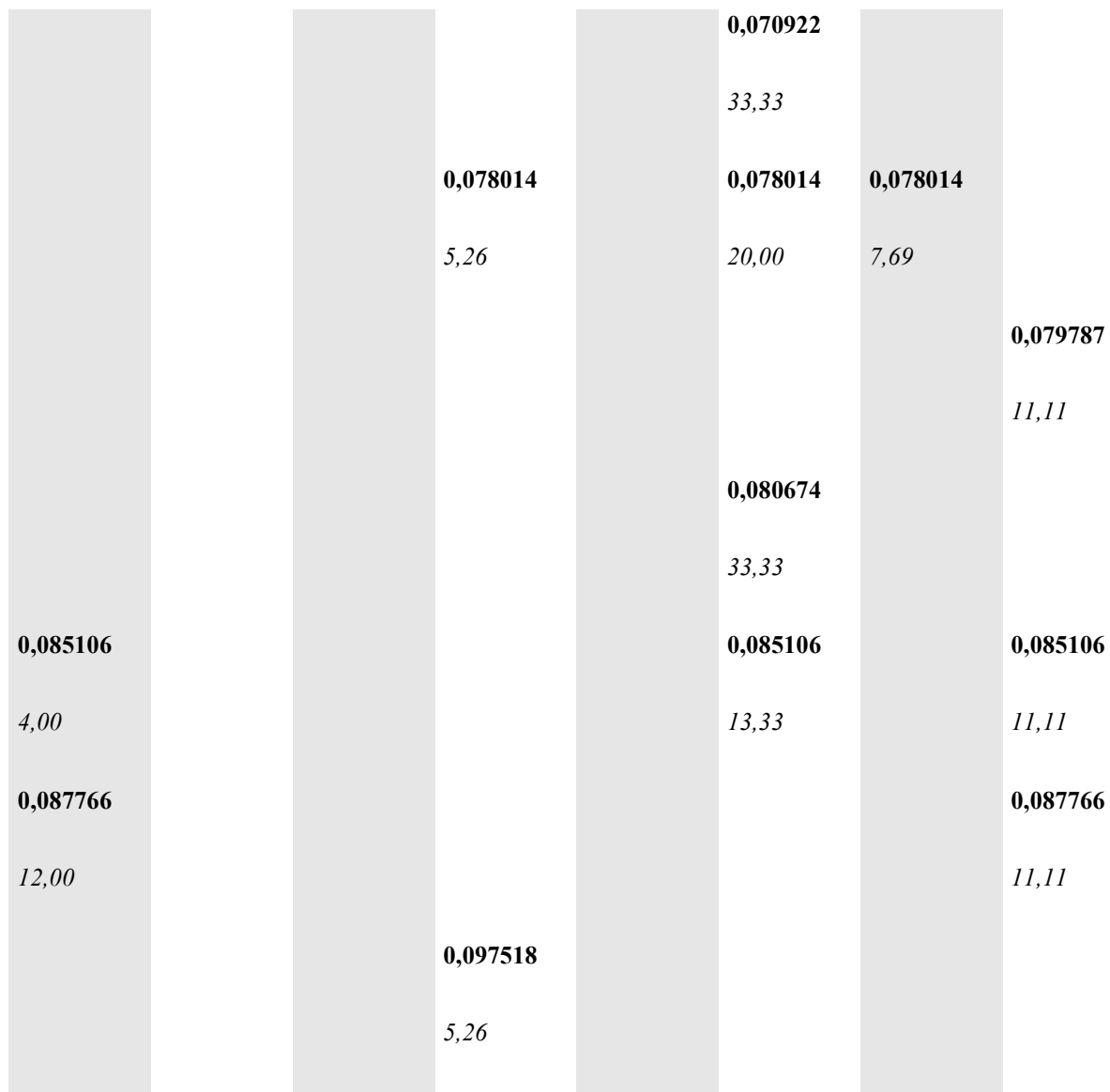


Tabelle 13 | Prozentualer Anteil der Seedvoxel mit dieser Frequenzkomponente, unteres Prozentdrittel, vis 0,65.

8.7 Übereinstimmungen von Frequenzen in der Spektralanalyse im visuellen und auditiven Versuchsteil

Frequenz(Hz)	0,010638	0,011525	0,012411	0,020390	0,021277	0,022163
visuell	5,26 (P4)	10,53 (P4)	10,53 (P4)	10,53 (P4)	20 (P5)	15,79 (P4)
	7,69 (P7)		15,38 (P7)			6,67 (P6)
auditiv	4,65 (P1)	18,75(P5)	2,32 (P8)	31,58 (P2)	3,7 (P7)	2,33 (P1)
	3,70 (P7)	2,33 (P8)		7,41 (P7)		9,38 (P4)
						6,25 (P5)

Frequenz	0,023050	0,024823	0,025709	0,026596	0,027482	0,032801
visuell	4,00 (P1)	4,00 (P1)	6,66 (P6)	26,67 (6)	10,53 (P4)	6,67 (P6)
	15,79 (P4)	11,10 (P8)			13,33 (P6)	
auditiv	11,63 (P1)	3,13 (P4)	2,33 (P1)	4,65 (P1)	6,25 (P5)	33,33 (P7)
	7,40 (P7)	23,26 (P8)	5,26 (P2)	26,32 (P2)	25,58 (P8)	27,91 (P8)
			6,98 (P8)	12,5 (P5)		
				2,22 (P6)		

Frequenz	0,034574	0,035461	0,037234	0,038121	0,039894	0,040780
visuell	4 (P1)	4,00 (P1)	10,53 (P4)	6,67 (P6)	4,00 (P1)	5,26 (P4)
	13,33 (P6)	21,05 (P4)			13,33 (P6)	13,33 (P6)
		26,67 (P6)				
auditiv	31,25 (P4)	26,32 (P2)	6,25 (P5)	27,91 (P1)	30,23 (P1)	8,33 (P3)
	18,75 (P5)			6,25 (P4)	5,26 (P2)	13,33 (P6)
	2,22 (P6)			2,22 (P6)	3,7 (P7)	13,95 (P8)
				3,7 (P8)		

Frequenz	0,041667	0,042553	0,047872	0,050532	0,051418	0,052305
visuell	4(P1)	21,05 (P4)	20 (P5)	13,33 (P6)	8 (P1)	5,26 (P4)
			7,69 (P7)		20 (P5)	
			22,22 (P8)		33,33 (P8)	
auditiv	15,79 (P2)	10,53 (P2)	15,63 (P4)	13,95 (P1)	5,26 (P2)	28,89 (P6)
	3,13 (P4)	20 (P6)	2,33 (P8)	15,63 (P4)	14,81 (P7)	30,23 (P8)
	6,25 (P5)			7,41 (P7)		
	11,11 (P7)					

Frequenz	0,053191	0,054078	0,054965	0,055851	0,056738	0,057624
visuell	5,26 (P4)	20 (P5)	6,67 (P6)	13,33 (P6)	5,26 (P4)	5,26 (P4)
	6,67 (P6)		33,33 (P8)			7,69 (P7)
auditiv	4,66 (P1)	12,5 (P5)	4,65 (P1)	15,79 (P2)	5,26 (P2)	12,5 (P5)
	31,58 (P2)	11,11 (P7)	26,32 (P2)			22,22 (P7)
	8,89 (P6)		12,5 (P4)			

Frequenz	0,062943	0,063830	0,064716	0,065603	0,067376	0,070035
visuell	20 (P5)	6,67 (P6)	20 (P6)	26,67 (P6)	11,11 (P8)	7,69 (P7)
			7,69 (P7)	7,69 (P7)		
			11,11 (P8)			
auditiv	15,79 (P2)	31,58 (P2)	11,11 (P7)	2,33 (P1)	2,22 (P6)	5,26 (P2)
	6,25 (P5)		2,33 (P8)		11,11 (P7)	
	7,41 (P7)					

Frequenz	0,078014
visuell	5,26 (P4)
	20 (P6)
	7,69 (P7)
auditiv	6,25 (P5)
	3,7 (P7)

Tabelle 14 | Frequenzanteile, die sowohl unter Seedvoxeln der visuellen als auch auditiven Bedingung vertreten sind. Den einzelnen Spalten der x- Achse ist die Frequenz abzulesen. Darunter jeweilig der prozentuale Anteil der Seedvoxel mit dieser Frequenz, in Klammern der dazugehörige Proband.

Eidesstattliche Versicherung

Ich versichere an Eides statt, dass die Dissertation selbständig und ohne unzulässige fremde Hilfe erstellt und die hier vorgelegte Dissertation nicht von einer anderen Medizinischen Fakultät abgelehnt worden ist.

4.6.2017, Vivienne Isabelle Ruhm