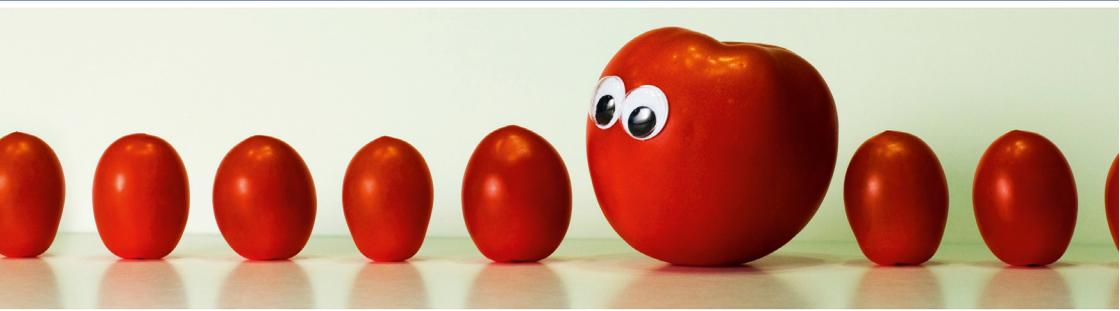




Universität Potsdam



Anja Bethmann

**Die supramodale Verarbeitung
individueller Konzepte am Beispiel
menschlicher Stimmen und visuell
präsentierter Comicfiguren**

Eine fMRT-Studie der Temporallappen

Anja Bethmann

**Die supramodale Verarbeitung individueller Konzepte
am Beispiel menschlicher Stimmen und
visuell präsentierter Comicfiguren**

Eine fMRT-Studie der Temporallappen

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.de/> abrufbar.

Universitätsverlag Potsdam 2012

<http://verlag.ub.uni-potsdam.de/>

Am Neuen Palais 10, 14469 Potsdam

Tel.: +49 (0)331 977 2533 / Fax: 2292

E-Mail: verlag@uni-potsdam.de

Die Schriftenreihe **Spektrum Patholinguistik – Schriften** wird herausgegeben vom Verband für Patholinguistik e. V.

ISSN (print) 1869-3822

ISSN (online) 1869-3830

Zugl.: Potsdam, Univ., Diss., 2012

Gutachter:

Prof. Dr. Ria De Bleser, Universität Potsdam

Prof. Dr. Henning Scheich, Leibniz-Institut für Neurobiologie Magdeburg

Datum der mündlichen Prüfung: 31. Mai 2012

Umschlagfoto: Jeff Smallwood, www.jeffsmallwood.com

Das Manuskript ist urheberrechtlich geschützt.

Online veröffentlicht auf dem Publikationsserver der Universität Potsdam

URL <http://pub.ub.uni-potsdam.de/volltexte/2012/5985/>

URN urn:nbn:de:kobv:517-opus-59856

<http://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:kobv:517-opus-59856>

Zugleich gedruckt erschienen im Universitätsverlag Potsdam

ISBN 978-3-86956-206-3

Meinen Eltern

Vielen Dank!

Meinen Dank möchte ich all jenen aussprechen, die mir die Durchführung dieser Arbeit ermöglicht oder mich dabei unterstützt haben. Ich danke Professor Dr. Henning Scheich und Professor Dr. Ria De Bleser, die gemeinsam den Grundstein für diese Arbeit gelegt haben. Weiterhin danke ich Professor Scheich und Dr. André Brechmann für ihr Vertrauen in mich und die Möglichkeit, meine Untersuchungen am Leibniz-Institut für Neurobiologie in Magdeburg durchführen zu können. Ein herzliches Dankeschön geht an die „Kernspinner“ des Speziallabors für nichtinvasive Bildgebung des Instituts. Habt Dank für all die schönen gemeinsamen Unternehmungen und das wundervolle Miteinander im Labor, aber natürlich auch für die fachliche Unterstützung. Mein Dank gilt Dr. Nicole Angenstein und Dr. Susann Deike für Tipps bei der Auswertung von fMRT-Daten, Monika Dobrowolny, Andreas Fügner und Dr. Jörg Stadler für die Datenerhebung, Antje Schasse für Hilfe bei statistischen Fragen, Dr. Ute Bommerich für Erklärungen zur Methode der MRT und fMRT und Michael Schild, dass er mir die Angst davor genommen hat, mich in die Programmierung von Makros einzuarbeiten, ohne die der Umfang der Daten nie zu bewältigen gewesen wäre. André danke ich ebenfalls für seine fachliche Unterstützung bei der fMRT-Analyse und ganz besonders für seine Begeisterung für meine Daten und die damit verbundene Motivation. Weiterhin geht mein Dank an all diejenigen, Freunde und Kollegen, die mich auf dem manchmal doch recht schweren Weg begleitet und mir Kraft und Vertrauen in mich selbst gegeben haben. Vielen Dank für Eure moralische Unterstützung, die Gespräche und die Nachfragen nach meinem Ergehen. Den letzten Anstieg zu meistern, wäre mir ohne meinen Heiko besonders schwer geworden. Er aber hat mir gezeigt, dass es da draußen, außerhalb des Dissertationsprojektes, eine bunte Welt gibt, die so viel Schönes zu bieten hat. Dafür bin ich ihm sehr dankbar. Mein größter Dank jedoch gilt meinen Eltern, die mir bedingungslos jedwede Form an Unterstützung haben zukommen lassen, die ich mir nur wünschen konnte. Habt alle vielen Dank!

Anja Bethmann
Im Juli 2012

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	xii
Tabellenverzeichnis	xiii
Abkürzungsverzeichnis	xiv
Zusammenfassung	1
1. Einleitung	5
2. Theoretischer Hintergrund	7
2.1. Der ventrale Weg der Objektverarbeitung	7
2.1.1. Das Zwei-Wege-Modell der Objektverarbeitung . . .	7
2.1.2. Neuroanatomische Korrelate des ventralen Verar- beitungsweges	8
2.1.3. Hierarchische Organisation entlang des ventralen Weges	11
2.1.4. Suprakategorielle Verarbeitung	12
2.1.5. Kategoriespezifische Verarbeitung	15
2.2. Funktionen des lateralen anterioren Temporalkortex	21
2.2.1. Allgemeine semantische Verarbeitung	22
2.2.2. Semantische Spezifität	28
2.2.3. Individuelle Konzepte	30
2.2.3.1. Stimmenerkennung	31
2.2.3.2. Gesichtererkennung	34
2.2.3.3. Personenidentifikation	36
2.2.3.4. Individuen allgemein	40
2.2.4. Autobiographisches Gedächtnis	41
2.2.5. Sprachverarbeitung	43
2.2.5.1. Sprachverständnis	43
2.2.5.2. Syntaktische Verarbeitung	45
2.2.6. Soziale Kognition	48
2.3. Hemisphärenunterschiede bei der Personenverarbeitung . .	51
3. Fragestellungen und Hypothesen	55

4. Methode und Material	59
4.1. Physikalische Grundlagen der MR-Bildgebung	59
4.1.1. Prinzip der Magnetresonanztomographie	59
4.1.2. Prinzip der funktionellen MRT	68
4.2. Studienbeschreibung	71
4.2.1. Messmethode/Datenerhebung	71
4.2.2. Datenvorverarbeitung	72
4.2.3. Datenanalyse und Interesseregionen	73
4.2.4. Probanden	79
4.2.5. Experimentelle Designs	80
4.2.5.1. Experiment 1	80
4.2.5.2. Experiment 2	82
4.2.5.3. Experiment 3	84
4.2.5.4. Experiment 4	86
5. Ergebnisse	88
5.1. Experiment 1	90
5.1.1. Verhaltensdaten	90
5.1.2. Funktionelle Bildgebung	90
5.1.2.1. Unterschiede zwischen Bedingungen	91
5.1.2.2. Unterschiede zwischen Regionen	93
5.1.2.3. Hemisphärenunterschiede	98
5.2. Experiment 2	99
5.2.1. Verhaltensdaten	99
5.2.2. Funktionelle Bildgebung	101
5.2.2.1. Unterschiede zwischen Bedingungen	103
5.2.2.2. Unterschiede zwischen Regionen	103
5.2.2.3. Hemisphärenunterschiede	110
5.3. Experiment 3	111
5.3.1. Verhaltensdaten	111
5.3.2. Funktionelle Bildgebung	114
5.3.2.1. Unterschiede zwischen Bedingungen	114
5.3.2.2. Unterschiede zwischen Regionen	118
5.3.2.3. Hemisphärenunterschiede	123
5.4. Experiment 4	124
5.4.1. Verhaltensdaten	124
5.4.2. Funktionelle Bildgebung	127
5.4.2.1. Unterschiede zwischen Bedingungen	127
5.4.2.2. Unterschiede zwischen Regionen	128
5.4.2.3. Hemisphärenunterschiede	136
5.5. Position der aktivierten Voxel	138

6. Diskussion	139
6.1. Verhaltensdaten	139
6.2. Funktionelle Bildgebung	142
6.2.1. Zusammenfassung der fMRT-Ergebnisse	142
6.2.2. Selektive Aktivierungsmuster	145
6.2.3. Funktion des anterioren Temporalkortex	147
6.2.4. Der ventrale Verarbeitungsstrom	156
6.2.5. Hemisphärenunterschiede im ATL	163
7. Ausblick	172
Literaturverzeichnis	175
A. Anhang	223
A.1. Experiment 1	225
A.1.1. Werte	225
A.1.2. Bedingungen	228
A.1.3. Regionen	229
A.1.3.1. Superior – inferior	229
A.1.3.2. Anterior – posterior	230
A.1.4. Hemisphären	231
A.2. Experiment 2	232
A.2.1. Werte	232
A.2.2. Bedingungen	238
A.2.3. Regionen	240
A.2.3.1. Superior – inferior	240
A.2.3.2. Anterior – posterior	242
A.2.4. Hemisphären	244
A.3. Experiment 3	246
A.3.1. Werte	246
A.3.2. Bedingungen	255
A.3.3. Regionen	258
A.3.3.1. Superior – inferior	258
A.3.3.2. Anterior – posterior	261
A.3.4. Hemisphären	265
A.4. Experiment 4	269
A.4.1. Werte	269
A.4.2. Bedingungen	278
A.4.3. Regionen	281
A.4.3.1. Superior – inferior	281
A.4.3.2. Anterior – posterior	284
A.4.4. Hemisphären	288

Abbildungsverzeichnis

4.1. Prinzip der Kernspintomographie	62
4.2. Entstehung des FID-Signals	63
4.3. Beispiel eines BOLD-Signalverlaufs	70
4.4. Beispiel der Lage der Interesseregionen	75
5.1. Experiment 1 – Verhaltensdaten	91
5.2. Experiment 1 – Aktivierungsbeispiele	91
5.3. Experiment 1 – Werte	92
5.4. Experiment 1 – BOLD-Kurven LH	96
5.5. Experiment 1 – BOLD-Kurven RH	97
5.6. Experiment 2 – Verhaltensdaten	102
5.7. Experiment 2 – Aktivierungsbeispiele	102
5.8. Experiment 2 – Werte	105
5.9. Experiment 2 – BOLD-Signal der langsam und schnell be- nannten Stimmen	106
5.10. Experiment 2 – BOLD-Kurven LH	108
5.11. Experiment 2 – BOLD-Kurven RH	109
5.12. Experiment 3 – Verhaltensdaten	113
5.13. Experiment 3 – Aktivierungsbeispiele	113
5.14. Experiment 3 – Werte	115
5.15. Experiment 3 – BOLD-Signal in Abhängigkeit von Bekannt- heit und Reaktionstempo	116
5.16. Experiment 3 – BOLD-Kurven LH	120
5.17. Experiment 3 – BOLD-Kurven RH	121
5.18. Experiment 4 – Verhaltensdaten	126
5.19. Experiment 4 – Aktivierungsbeispiele	126
5.20. Experiment 4 – Werte	129
5.21. Experiment 4 – BOLD-Signal in Abhängigkeit von Bekannt- heit und Reaktionstempo	130
5.22. Experiment 4 – BOLD-Kurven LH	134
5.23. Experiment 4 – BOLD-Kurven RH	135

Tabellenverzeichnis

4.1. Häufigkeiten und MR-relevante Eigenschaften verschiedener Isotope	60
4.2. Definition der Interesseregionen	76
5.1. Anzahl aktivierter Voxel	89
5.2. Experiment 2 – Reaktionszeitunterschiede.	100
A.1. Experiment 1 – Werte	225
A.2. Experiment 1 – Bedingungen	228
A.3. Experiment 1 – Regionen superior-inferior	229
A.4. Experiment 1 – Regionen anterior-posterior	230
A.5. Experiment 1 – Hemisphären	231
A.6. Experiment 2 – Werte	232
A.7. Experiment 2 – Bedingungen	238
A.8. Experiment 2 – Regionen superior-inferior	240
A.9. Experiment 2 – Regionen anterior-posterior	242
A.10. Experiment 2 – Hemisphären	244
A.11. Experiment 3 – Werte	246
A.12. Experiment 3 – Bedingungen	255
A.13. Experiment 3 – Regionen superior-inferior	258
A.14. Experiment 3 – Regionen anterior-posterior	261
A.15. Experiment 3 – Hemisphären	265
A.16. Experiment 4 – Werte	269
A.17. Experiment 4 – Bedingungen	278
A.18. Experiment 4 – Regionen superior-inferior	281
A.19. Experiment 4 – Regionen anterior-posterior	284
A.20. Experiment 4 – Hemisphären	288

Abkürzungsverzeichnis

Neuroanatomische und neurofunktionelle Methoden

MRT	Magnetresonanztomographie (= Kernspintomographie)
fMRT	funktionelle Magnetresonanztomographie
PET	Positronenemissionstomographie
rTMS	repetitive transkraniale magnetische Stimulation

Neurologische Erkrankungen

HSVE	Herpes-Simplex-Virus-Enzephalitis
-------------	-----------------------------------

Anatomische Strukturen des Gehirns

ATL	anteriorer Temporallappen
STG	superiorer Temporalgyrus
STS	superiorer Temporalsulcus
MTG	mittlerer Temporalgyrus
ITG	inferiorer Temporalgyrus
sSTG	superiorer Teil des superioren Temporalgyrus
iSTG	inferiorer Teil des superioren Temporalgyrus
sMTG	superiorer Teil des mittleren Temporalgyrus
a	anterior
ma	mittig-anterior
mp	mittig-posterior
p	posterior
LH	linke Hemisphäre
RH	rechte Hemisphäre

Datenanalyse

- ROI** Interesseregion (*region of interest*)
SEL Selektivitätsindex
BOLD Maß der Effektstärke einer Bedingung (*blood oxygenation level dependency*)
% SI Vergleich des BOLD-Signals entlang der superior-inferior-Achse
% AP Vergleich des BOLD-Signals entlang der anterior-posterior-Achse

Bedingungen der Experimente 1 und 2

- U** Unbekannte Stimmen
B Bekannt, vage bekannte Stimmen
S Semantisch umschriebene Stimmen
N Name, benannte Stimmen
N_L Langsam benannte Stimmen
N_S Schnell benannte Stimmen

Bedingungen des Experiments 3

- P** Personen
T Tiere
M Musikinstrumente
U Unbekannter Stimulus
P_U Unbekannte Personen
T_U Unbekannte Tiere
M_U Unbekannte Musikinstrumente
B Bekannter Stimulus
P_B Bekannte Personen
T_B Bekannte Tiere
M_B Bekannte Musikinstrumente
B_L Bekannt langsam, langsam erkannter Stimulus
P_{B_L} Langsam erkannte Personen
T_{B_L} Langsam erkannte Tiere
M_{B_L} Langsam erkannte Musikinstrumente
B_S Bekannt schnell, schnell erkannter Stimulus
P_{B_S} Schnell erkannte Personen
T_{B_S} Schnell erkannte Tiere
M_{B_S} Schnell erkannte Musikinstrumente

Bedingungen des Experiments 4

C	Comicfiguren
T	Tiere
O	Obst und Gemüse
S	Semantisch verarbeiteter, nicht benannter Stimulus
C_S	Nicht benannte Comicfiguren
T_S	Nicht benannte Tiere
O_S	Nicht benannte Obst- und Gemüsesorten
N	Name, benannter Stimulus
C_N	Benannte Comicfiguren
T_N	Benannte Tiere
O_N	Benannte Obst- und Gemüsesorten
N_L	Name langsam, langsam benannter Stimulus
C_{N_L}	Langsam benannte Comicfiguren
T_{N_L}	Langsam benannte Tiere
O_{N_L}	Langsam benannte Obst- und Gemüsesorten
N_S	Name schnell, schnell benannter Stimulus
C_{N_S}	Schnell benannte Comicfiguren
T_{N_S}	Schnell benannte Tiere
O_{N_S}	Schnell benannte Obst- und Gemüsesorten

Zusammenfassung

Ausgehend von den primärsensorischen Arealen verlaufen zwei Verarbeitungsströme durch das Gehirn, die auf unterschiedliche Weise zur Objektverarbeitung beitragen – ein dorsaler Strom, der parietale Bereiche involviert, und ein ventraler Strom, der den Temporallappen durchquert und die Objekterkennung unterstützt. Besonders die rostrale Spitze der Temporallappen, der anteriore Temporalkortex (ATL), wird mit Funktionen der Objektidentifikation assoziiert. Es existieren jedoch mehrere Theorien, welche Objekte tatsächlich in dieser Region verarbeitet werden. Eine Theorie besagt, dass der ATL als zentrale semantische Station fungiert, in der die definierenden Merkmale von Objekten sämtlicher semantischer Kategorien zu ganzheitlichen Konzepten zusammengefügt werden. Eine andere Theorie basiert auf der Beobachtung, dass viele Patienten mit Läsionen des ATL selektive Defizite bei der Identifizierung von Personen und anderen individuellen Konzepten aufweisen. Auch funktionelle Bildgebungsstudien deuten darauf hin, dass primär die Verarbeitung von Objekten auf subordinierter oder individueller Ebene durch den ATL unterstützt wird. Eine dritte Theorie beobachtete anhand funktioneller Aktivierungsstudien neuronale Aktivität im ATL bei der Verarbeitung von akustischen Informationen, die der Sprecheridentifizierung dienen. Diese Aktivität wurde hervorgerufen bei der Analyse von Stimmen im Vergleich zu anderen akustischen Stimuli und im Vergleich zur Verarbeitung der ebenfalls im Signal enthaltenen verbalen Informationen. Daher wurden die entsprechenden Regionen als stimmenselektive Areale bezeichnet. Weitere Studien beobachteten im ATL jedoch auch Aktivität bei der Verarbeitung von sprachlichen Informationen, besonders dann, wenn es sich um kontinuierliche Sprache handelte, also Sätze oder Texte. Beim Vergleich der Aktivität, die durch Stimmen oder Sprache ausgelöst wurde, ließen sich Hemisphärenunterschiede feststellen. Der rechte ATL scheint stärker zur Stimmenerkennung beizutragen, der linke ATL zum Sprachverständnis. Auch die semantisch orientierten Studien beobachteten entsprechende Hemisphärendifferenzen. Die rechte Hirnhälfte ist offensichtlich eher daran beteiligt, Personen oder andere semantische Konzepte anhand perceptueller Merkmale zu identifizieren, die linke Hirnhälfte, den Personen und Objekten eine Wortform zuzuordnen.

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit der räumlichen Repräsentation akustisch präsentierter Reize im menschlichen Gehirn. Mittels Kernspintomographie wurde die Identifikation und das Benennen berühmter Personen anhand ihrer Stimme untersucht und die Aktivierungen denen gegenübergestellt, die durch unbekannte Personenstimmen, Tierstimmen und Musikinstrumente hervorgerufen wurden. Weiterhin wurde die Verarbeitung der Personenstimmen mit der Verarbeitung visuell präsentierter Tiere, Obst- und Gemüsesorten sowie bekannter Zeichentrickfiguren kontrastiert. Dadurch ließ sich multimodal die Identifikation von Individuen mit der Identifikation auf kategoriemäßiger Ebene vergleichen. Die Aufgabe der Probanden bestand in den vier ereigniskorrelierten fMRT-Messungen darin, per Tastendruck oder mittels overter Sprachproduktion anzuzeigen, ob ein jeweils präsentierter Stimulus identifiziert wurde. Dies ermöglichte, die Stimuli entsprechend ihrer Familiarität zu untergliedern und z. B. benannte und unbekannte Stimuli zu differenzieren. Die Analyse der neuronalen Aktivität beschränkte sich auf die lateralen Temporallappen, die bei jedem Probanden in mehrere Areale untergliedert worden waren. Insgesamt wurden in jeder Hirnhälfte zwölf Regionen definiert, die die suprioren und mittleren Temporalgyri vollständig erfassten.

Die menschlichen Stimmen erzeugten im ATL ein deutlich stärkeres Signal als Geräusche von Tieren oder Musikinstrumenten. Dieses fiel in einigen Arealen sogar selektiv aus, indem die Tiere und Instrumente dort keine signifikante Aktivität hervorriefen. Ein ähnliches Muster ergab sich im visuellen Experiment, in dem Zeichentrickfiguren im ATL ein stärkeres Signal auslösten als Tiere oder Obst- und Gemüsesorten. Selektive Aktivität war hier nicht zu beobachten, da auch die Tiere und Früchte ein schwächeres, aber signifikantes Signal erzeugten. Somit zeigte der ATL unabhängig von der Stimulationsmodalität eine Präferenz für individuelle Konzepte. Weiterhin resultierten bekanntere Stimuli in einem stärkeren Signal als unbekanntere Stimuli, was sich besonders deutlich in den Experimenten zeigte, in denen nur Personenstimmen präsentiert worden waren. Unbekannte Stimmen riefen die schwächste Aktivität hervor, vage bekannte Stimmen ein etwas stärkeres Signal und Stimmen, zu deren Sprechern die Probanden biographische Informationen angaben, wiederum ein stärkeres Signal. Die stärkste Aktivität wurde von benannten Stimmen ausgelöst. Sämtliche beschriebenen Signalunterschiede waren jedoch nicht nur im ATL, sondern in fast allen Arealen der Temporallappen zu finden. Die Signaldifferenz zwischen den Bedingungen war aber im ATL am größten und in den frühen auditorischen Kortex am kleinsten, wo dagegen die Signalintensitäten am größten waren. Zwischen beiden Regionen war eine kontinuierliche Veränderung des Signals zu beobachten. Die

Signalintensität nahm sukzessiv vom auditorischen Kortex nach anterior und inferior ab. Da das Signal kategorialer Konzepte und unbekannter Stimuli stärker abnahm als das Signal individueller Konzepte und benannter Stimuli, stieg die Signaldifferenz zwischen den Bedingungen in dieselbe Richtung von Areal zu Areal an. Hemisphärenunterschiede äußerten sich auf zwei Arten. Bei nahezu allen Stimuli war rechtshemisphärisch eine höhere Signalintensität festzustellen, bei benannten jedoch weniger als bei unbekanntem Stimuli und bei langsam weniger als bei schnell benannten Stimuli. Auch die aktivierte Fläche war rechts größer als in der linken Hirnhälfte. Linksseitig bestanden dagegen größere Signalunterschiede zwischen den verschiedenen Bedingungen. Diese Hemisphäre differenzierte stärker zwischen individuellen und kategorialen Konzepten sowie zwischen unbekanntem und bekanntem Stimuli als die rechte Hirnhälfte.

Die Daten konnten damit zeigen, dass der ATL nicht nur eine akustische Stimmenanalyse durchführt und zur Sprecheridentifikation beiträgt, sondern multimodal an der Wiedererkennung von Personen und ihren Stellvertretern (Comicfiguren) beteiligt ist. Darüber hinaus konnte bestätigt werden, dass der ATL stärker zur Verarbeitung von Individuen als von kategorialen Konzepten beiträgt. Ob es sich dabei um eine Präferenz für Personen, Individuen diverser Kategorien oder untergeordnete Konzepte handelt, kann anhand der Daten nicht entschieden werden. Andere Studien beobachteten jedoch, dass einige Patienten mit Läsionen des ATL nicht nur darin beeinträchtigt sind, Personen wiederzuerkennen, sondern auch bei der Identifizierung anderer individueller Objekte. Entsprechend lösen auch andere individuelle Objekte wie Sehenswürdigkeiten Aktivität im ATL aus. Weitere Studien konnten zeigen, dass im ATL soziale Konzepte verarbeitet werden, diese Region eine wichtige Rolle dabei spielt, sich die Gedanken und Gefühle anderer Personen vorzustellen, oder dass Läsionen dieser Region zu Verhaltensstörungen führen. Daher ist eine besondere Ausrichtung des ATL auf die Verarbeitung von Informationen über Personen nicht unwahrscheinlich. Die graduellen Veränderungen des Aktivierungssignals vom auditorischen Kortex zum ATL entsprechen den Aussagen des Konvergenzonenmodells von A.R. Damasio, demzufolge Areale entlang des Weges von den frühen sensomotorischen Arealen nach anterior dafür wesentlich sind, sukzessiv immer mehr Merkmale von Objekten miteinander zu kombinieren. Die beobachteten Hemisphärenunterschiede lassen sich mit der Annahme vereinen, dass rechtshemisphärisch eher perzeptuelle oder semantische Analyseprozesse stattfinden, da in dieser Hemisphäre stärkere Aktivierungen festzustellen waren. Bei benannten und insbesondere bei langsam benannten Stimuli war diese rechtsseitig stärkere Aktivität jedoch weniger stark ausgeprägt. Außerdem differenzierte

die linke Hemisphäre deutlicher zwischen individuellen und kategorialen sowie zwischen benannten und nicht benannten Stimuli. Möglicherweise wurde dieser linkshemisphärische Vorteil und die größere Beteiligung der linken Hirnhälfte bei den langsam benannten Stimuli durch Wortabrufprozesse ausgelöst, die stärker von den langsam benannten Individuen als von den anderen Stimuli beansprucht wurden.

1. Einleitung

Objekte, Tiere oder Personen in unserer Umgebung erzeugen in uns Sinnesindrücke, die wir zum Beispiel als Geräusche wahrnehmen. Diese nutzen wir, um ihnen relevante Informationen zu entnehmen. In Geräuschen können Mitteilungen kodiert sein, wie es bei gesprochener Sprache der Fall ist. Geräusche enthalten weiterhin Hinweise auf die Position und Bewegung von Objekten im Verhältnis zum Hörer. Und schließlich handelt es sich um Informationen, die der Identifikation der Geräuschquelle dienen. Somit transportieren akustische Reize parallel immer mehrere Arten von Informationen. Diese können natürlich auch über andere Modalitäten vermittelt werden, wobei die visuelle Modalität neben der auditiven eine besonders wichtige darstellt.

In Abhängigkeit von Situation und Vertrautheit geschieht die Identifikation von Objekten unterschiedlich präzise. In manchen Fällen werden die Objekte lediglich allgemeinen Bedeutungskategorien zugeordnet, indem erkannt wird, dass es sich um einen Gegenstand, ein Tier oder einen Menschen handelt. Meist werden sie jedoch auf einer spezifischeren Ebene klassifiziert, nämlich als Bohrmaschine, Klavier oder Hund. Bei sehr hoher Vertrautheit lassen sich Geräusche und Bilder aber auch auf ganz bestimmte individuelle Objekte, Tiere oder Personen zurückführen. Diese Verarbeitungsprozesse zur Identifikation von Objekten gelingen im Normalfall mühelos und beruhen unter anderem auf neuronalen Strukturen in den Temporallappen.

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit der Lokalisation akustisch dargebotener Reize im menschlichen Gehirn. Mittels Kernspintomographie wurden die Identifizierung und das Benennen berühmter Personen anhand ihrer Stimme untersucht und die Aktivierungen, die sich im Temporallappen zeigten, denen gegenübergestellt, die durch unbekannte Personenstimmen, Tierstimmen und Musikinstrumente hervorgerufen wurden. Weiterhin wurde die Verarbeitung der Personenstimmen mit der Verarbeitung visuell präsentierter Tiere, Obst- und Gemüsesorten sowie bekannter Zeichentrickfiguren kontrastiert. Dadurch ließ sich multimodal die Identifikation von Individuen mit der Identifikation auf kategoriemäßiger Ebene vergleichen.

Bevor die Beschreibung der durchgeführten Experimente und ihrer Ergebnisse erfolgt, werden im theoretischen Teil der Arbeit Erkenntnisse und

Theorien zur Funktion der Temporallappen zusammengefasst. Zuerst wird im Abschnitt 2.1 das Konzept des ventralen Verarbeitungsstroms vorgestellt, von dem angenommen wird, dass er von den primärsensorischen Kortizes zu den anterioren Temporallappen verläuft und Prozesse der Objekterkennung unterstützt. Es werden die anatomischen Strukturen beschrieben, die die Grundlage für die Existenz des ventralen Verarbeitungsstroms bilden, und die Funktion von Arealen entlang des Weges, die für bestimmte Aspekte der Objekterkennung wesentlich sind. Abschnitt 2.2 beschäftigt sich dann mit den anterioren Temporallappen selbst, die je nach Forschungsfeld mit unterschiedlichen, aber nicht unbedingt gegensätzlichen Funktionen assoziiert wurden. Diese Hirnstrukturen scheinen einerseits daran beteiligt zu sein, Personen anhand ihres Gesichts oder ihrer Stimme zu erkennen. Andererseits wird vermutet, dass dort semantisches Wissen über sämtliche Wörter und Objekte verarbeitet wird, dessen Abruf insbesondere dann nötig ist, wenn Objekterkennung auf untergeordneter Verarbeitungsebene geschieht. Schließlich werden Annahmen zur Lokalisation verschiedener Aspekte der Personenidentifikation in den beiden Hirnhälften beschrieben. In der Diskussion erfolgt anhand der Experimentalergebnisse zum einen die Bewertung der Hypothesen, die sich aus dem Literaturüberblick ergeben hatten, und eine Argumentation für und gegen einzelne Theorien zur Funktion des anterioren Temporal-kortex. Zum anderen sollen die Beobachtungen im gesamten Temporal-lappen in ein hierarchisch organisiertes Modell der Konzeptrepräsentation integriert werden.

2. Theoretischer Hintergrund

2.1. Der ventrale Weg der Objektverarbeitung

2.1.1. Das Zwei-Wege-Modell der Objektverarbeitung

Objekte, die sich in unserer Umgebung befinden, nehmen wir als Bilder oder Geräusche wahr und nutzen diese, um die entsprechenden Objekte zu identifizieren und im Raum zu lokalisieren. Da unterschiedliche Hirnareale auf die Verarbeitung der Merkmale zur Identifizierung und Lokalisation von sensorischen Reizen spezialisiert sind, werden die Informationen nach ihrer frühen Verarbeitung entlang verschiedener Verarbeitungsströme in die relevanten Regionen geleitet. Ausgehend von den primärsensorischen Arealen verläuft ein dorsaler Strom durch die Parietallappen und ermöglicht die Wahrnehmung von Bewegung und räumlichen Beziehungen zwischen Objekten¹. Ein ventraler Strom verläuft durch die Temporallappen und trägt zur Objekterkennung bei. Dieses Zwei-Wege-Modell der Objektverarbeitung wurde ursprünglich für die visuelle Modalität vorgeschlagen (Mishkin et al., 1983; Ungerleider & Mishkin, 1982) und später auf die auditive Modalität übertragen (Rauschecker & Tian, 2000; Romanski et al., 1999).

Hinweise auf die Existenz dieser parallelen Verarbeitungswege stammen aus Studien an Affen, die nach bilateraler Ablation des inferioren Temporal- oder Parietallappens nicht mehr in der Lage waren zu lernen, zwischen bestimmten visuellen Stimuli zu unterscheiden. Läsionen des Temporalkortex führten zu Störungen der Fähigkeit, zwischen verschiedenen Formen, Mustern oder Objekten zu differenzieren (Gross, 1978; Holmes & Gross, 1984). Bei parietalen Läsionen war dagegen die Fähigkeit gestört, zwischen rotierten Formen zu diskriminieren (Eacott & Gaffan, 1991). Auch bei Menschen sind nach okzipitoparietalen Läsionen

¹Der dorsale Strom dient jedoch auch dazu, motorische Reaktionen in Richtung der lokalisierten Objekte auszuführen und sensorische Informationen in motorische Kommandos umzuwandeln (Goodale & Milner, 1992; Rizzolatti et al., 1997; Warren et al., 2005b). Diese Funktionen basieren zum einen auf Arealen im Parietalkortex, die mit der sensorischen Kontrolle stattfindender Bewegungen assoziiert werden, zum anderen auf dem bewegungssensitiven Areal MT an der okzipitotemporalen Grenzzone, das für die langfristige Repräsentation von Bewegungsmustern wichtig zu sein scheint (Rizzolatti & Matelli, 2003; Glover, 2004; Buxbaum & Kalénine, 2010).

primär räumliche Wahrnehmungsstörungen wie Akinetopsie, visuo-räumlicher Neglect, konstruktive Apraxie, okulomotorische Apraxie oder optische Ataxie zu beobachten und nach okzipitotemporalen Läsionen Störungen der Objekterkennung wie Achromatopsie, Defizite der Objektformerkennung, visuelle Objektagnosie oder Prosopagnosie (Blumberg & Kreiman, 2010; Ungerleider & Haxby, 1994). Mittels funktioneller Bildgebung konnte gezeigt werden, dass die Lokalisierung von visuellen Stimuli zu Aktivität im Parietalkortex führt und deren Identifizierung zu Aktivität in okzipitotemporalen Regionen (Corbetta et al., 1991; Haxby et al., 1994; Moscovitch et al., 1995). Auch anhand auditorischer Untersuchungen war festzustellen, dass Änderungen der Identität des Stimulusmaterials überwiegend Aktivität entlang des ventralen Verarbeitungsweges auslösen, Änderungen der räumlichen Präsentation dagegen entlang des dorsalen Stroms. Einige Studien beschreiben diese Aktivierungen in weiter rostral liegenden Bereichen der Temporallappen und im inferioren Parietalkortex (Alain et al., 2001; Altmann et al., 2007a; Maeder et al., 2001). Im Rahmen anderer Studien wurde eine Aufteilung der Verarbeitungsweg bereits im auditorischen Kortex selbst oder in Arealen adjazent zum auditorischen Kortex beobachtet (Ahveninen et al., 2006; Barrett & Hall, 2006; Warren & Griffiths, 2003).

2.1.2. Neuroanatomische Korrelate des ventralen Verarbeitungsweges

Als Ziele der Verarbeitungsströme gelten Areale im Präfrontalkortex (Romanski et al., 1999; Wilson et al., 1993), der aufgrund seiner Relevanz bei der Steuerung und Organisation kognitiver Aspekte von Verhalten (Fuster, 2001) über starke reziproke Faserverbindungen mit sensorischen, semantischen und emotionalen Hirnbereichen in Verbindung steht (Filley, 2002; Morecraft & Yeterian, 2002). Dem ventralen Strom vom anterioren Temporallappen in den Frontalkortex entsprechen Faserverbindungen wie der Fasciculus uncinatus und der inferiore okzipitofrontale Fasciculus, dem dorsalen Verarbeitungsweg vom posterioren Temporallappen oder vom Parietalkortex in den Frontallappen Faserbündel wie der Fasciculus arcuatus und die superiores longitudinalen Fasciculi (Catani & Thiebaut de Schotten, 2008; Schmahmann et al., 2007). Innerhalb der Temporallappen selbst wird der ventrale Verarbeitungsstrom mit Regionen assoziiert, die anterior zu den primärsensorischen Arealen liegen, d.h. anterior zum Okzipitallappen bei der visuellen Verarbeitung und anterior zum auditorischen Kortex bei der auditorischen Verarbeitung. Zwischen den posterioren und anterioren temporalen Arealen sollten folglich neuronale Faserverbindungen existieren.

Visuelle Modalität Die kortikale Verarbeitung visueller Stimuli beginnt im striaten Kortex im Okzipitallappen. Das primäre Sehzentrum V1 reicht vom Okzipitalpol entlang des Sulcus calcarinus bis zu dessen rostraler Spitze. Rings um den striaten Kortex verläuft das Areal V2 als ein peristriater Gürtel unterschiedlicher Dicke, der wiederum vom Areal V3 umschlossen wird. Weitere visuelle Areale schließen sich rostral im inferioren Okzipital- und Temporallappen und dorsal im superioren Okzipital- und inferioren Parietallappen an. Anhand der kortikalen Schichten, aus denen und in die Neuronen projizieren, ist zu erkennen, dass das visuelle System durch einen grundsätzlich vorwärts gerichteten Informationsfluss gekennzeichnet ist, auch wenn Projektionen zum großen Teil reziprok verlaufen und auch mal nächsthöhere Stufen überspringen. Entlang des ventralen Verarbeitungsstroms projizieren Neuronen in V1 vorwiegend an V2, aber kaum an die inferioren Areale an der okzipitotemporalen Grenzzone. V2 sendet dagegen Projektionen z. B. an das Areal V4, das am anterioren Rand des inferioren Okzipitallappens liegt, den eigentlichen Beginn dieses Stromes darstellt und über das die Informationen an den inferioren Temporalkortex weitergegeben werden (Felleman & Van Essen, 1991; Felleman, 2009; Rajimehr & Tootell, 2008; Rosa, 2002). Auch innerhalb der Temporallappen erfolgt eine sukzessive Weiterleitung über mehrere Stationen bis zum anterioren Temporalkortex (Distler et al., 1993; Felleman & Van Essen, 1991; Ungerleider et al., 2008). Für den Informationstransport sind die Assoziationsbahnen des inferioren longitudinalen Fasciculus (ILF) wesentlich, die ihren Ausgangspunkt in den peristriaten visuellen Assoziationsarealen im Okzipitallappen haben und bis zum Temporalpol führen. Die Fasern verlaufen größtenteils inferior zum superioren Temporal sulcus, Ausläufer führen jedoch zusätzlich in deren untere Bank (Aralas-mak et al., 2006; Catani & Thiebaut de Schotten, 2008; Schmahmann et al., 2007; Seltzer & Pandya, 1978; Wakana et al., 2004). Im anterioren Temporallappen existieren auch Projektionen in deren obere Bank, die im rostralen Abschnitt als multisensorische Konvergenzzone identifiziert wurde (Saleem et al., 2000; Seltzer & Pandya, 1989, 1994). Zusätzlich erstreckt sich ein weiteres Projektionssystem zwischen dem Okzipital- und dem Temporalpol, das lateral zum ILF verläuft, aus kurzen U-förmigen Fasern besteht und sukzessiv nach anterior führt (Catani et al., 2003; Tusa & Ungerleider, 1985).

Auditive Modalität Die kortikale Verarbeitung akustischen Inputs beginnt im mittig-posterioren Bereich der superioren Temporallappen. Der primärauditorische Kortex befindet sich im menschlichen Gehirn auf den von kaudomedial nach rostrolateral verlaufenden transversalen Temporal-

gyri. Rostromedial und kaudolateral von der Kernregion verläuft in einem dünnen Streifen die Belt-Region. Seitlich zum lateralen Belt liegt der Parabelt, der Teile des superioren Temporalgyrus (STG) umfasst (Brechmann et al., 2002; Galaburda & Sanides, 1980; Morosan et al., 2001). Das auditorische System zeichnet sich durch einen relativ strikt hierarchischen Informationsfluss aus. Neuronen in der Kernregion projizieren an den Belt, jedoch kaum an den Parabelt oder an andere Areale im STG. Der Belt wiederum projiziert an den Parabelt, kaum aber an die weiteren umgebenden Areale, dies erfolgt erst durch den Parabelt. Jede dieser drei Ebenen ist zudem in mehrere Areale untergliedert. Typisch für den auditorischen Kortex ist eine besonders starke Verknüpfung dicht beieinander liegender Areale. Auf jeder Ebene kommunizieren daher kaudale Areale stärker miteinander als mit rostralen Arealen (analog die rostralen Regionen). Dichter Input zwischen adjazenten Arealen gilt jedoch auch für Projektionen zwischen verschiedenen Stufen. Die kaudale Kernregion projiziert an kaudale Belt-Areale und damit an andere Felder als die weiter rostral liegenden Kernareale. Auch die Belt-Areale projizieren wieder verstärkt an die jeweils adjazenten, kaudal oder rostral liegenden Parabelt-Abschnitte. Die Parabelt-Regionen wiederum sind primär mit den adjazenten Arealen entlang des superioren Temporalsulcus verknüpft und mit jeweils nach kaudal oder rostral adjazenten Arealen des STG (Hackett et al., 1998; Hackett & Kaas, 2004; Hackett, 2011; Kaas & Hackett, 1998, 2000).

Bereits frühe audiographische Studien an Affen identifizierten nach anterior gerichtete Projektionen, die von der Kernregion ausgehen, in laterale Belt- und Parabelt-Regionen führen und anschließend sukzessive bis zum Temporalpol ziehen. Unterwegs sind wiederholt Verbindungen in die adjazenten, multimodalen Bereiche der oberen Bank des superioren Temporalsulcus (STS) zu finden (Galaburda & Pandya, 1983; Markowitsch et al., 1985; Seltzer & Pandya, 1989). Diesen Verbindungen entsprechen wahrscheinlich die Faserbündel des mittleren longitudinalen Fasciculus (MdLF), dessen Fasern sich in der weißen Substanz unterhalb des STG zwischen dem inferioren Parietalkortex und dem anterioren Temporallappen erstrecken (Makris et al., 2009; Schmahmann et al., 2007; Seltzer & Pandya, 1984). Seltzer & Pandya (1984) beschrieben den Verlauf des MdLF im Gehirn von Rhesusaffen vom kaudalen Drittel des Parietallappens entlang des STG mit Endigungen in der oberen Bank und der Tiefe des STS. Es wurde jedoch keine Verbindung zum auditorischen Kortex angegeben. Makris et al. (2009) fanden einen ähnlichen Verlauf im menschlichen Gehirn, bei dem der MdLF seinen Anfang im Angulargyrus hat und in der weißen Substanz unterhalb des STG zum Temporalpol zieht. Eine Anbindung zum auditorischen Kortex wurde nicht explizit aufgeführt. Lediglich

Schmahmann et al. (2007) identifizierten mittels Diffusionsspektrumbildgebung und Autoradiographie im Gehirn von Affen zusätzliche Abzweigungen innerhalb der Temporallappen, zum Beispiel von/in laterale Belt- und Parabelt-Regionen oder aus/in Richtung des STS.

2.1.3. Hierarchische Organisation entlang des ventralen Weges

Die Analyse visuell oder auditiv wahrgenommener Reize entlang des ventralen Stroms erfolgt in einer seriellen Abfolge mehrerer Verarbeitungsschritte. Während der nach anterior gerichteten Weitergabe von Informationen werden einfache Stimulusmerkmale in zunehmend komplexere und abstraktere Repräsentationen umgewandelt. In frühen Arealen reagieren retinotop oder tonotop organisierte Neuronen mit kurzen Antwortlatenzen stark und zuverlässig auf einfache Stimuli. Neuronen in höheren Arealen weisen dagegen zunehmend breitere rezeptive Felder und eine größere Toleranz für Signalvarianzen auf. Die präferierten Stimulusmerkmale werden komplexer und die Reaktion der Neuronen ist immer stärker durch kognitive Kontrollprozesse und Unterschiede in der Präsentationsweise wie Geschwindigkeit oder wiederholte Darbietung zu modulieren (Felleman & Van Essen, 1991; Grill-Spector & Malach, 2004; Hackett et al., 1998; Kaas & Hackett, 2000).

Kognitive Defizite deuten ebenfalls an, dass die Prozesse zur Identifizierung von Objekten hierarchisch organisiert sind. Bei Agnosien, Störungen der Objekterkennung, ist zu beobachten, dass Störungen früherer Verarbeitungsstufen zu grundsätzlichen Wahrnehmungsdefiziten führen, dass aber bei Störungen höherer Stufen vorausgehende Prozesse weitgehend normal funktionieren können. Insgesamt lässt sich der Weg von der Wahrnehmung bis zur Objektidentifikation in vier grundlegend verschiedene Verarbeitungsschritte untergliedern. Die erste Stufe besteht in der *Analyse der elementaren perzeptuellen Stimulusmerkmale* wie Form oder Farbe bei visuellen Reizen und Tonhöhe oder Lautstärke bei auditorischen Reizen. Obwohl das Vorhandensein der Reize angezeigt werden kann, gelingt es nicht, einfache Stimuli voneinander zu unterscheiden. Auf der zweiten Stufe erfolgt zum einen die Gruppierung von zusammengehörigen Merkmalen und die Abgrenzung (Segmentierung) gegenüber anderen Einheiten, zum anderen eine *Abstraktion*, indem perzeptuelle Unterschiede, die für die Verarbeitung nicht relevant sind, vernachlässigt werden. Verschiedene Varianten eines Lautes/Buchstabens werden auf ein bestimmtes Phonem/Graphem zurückgeführt, unterschiedliche Ansichten eines Objekts oder Gesichts auf eine gemeinsame Ansicht oder verschiedene Varianten einer Stimme auf ihren typischen Klang. Bei einer Störung der Fähigkeit zur Abstraktion ist das Diskriminieren zwischen Objekten beeinträchtigt,

d.h. es kann nicht entschieden werden, ob es sich bei zwei verschiedenen Präsentationen um dasselbe Objekt handelt. In einem dritten Schritt werden die invarianten Formen mit im Langzeitgedächtnis gespeicherten Mustern verglichen. Fällt der Vergleich positiv aus, entsteht der Eindruck der Bekanntheit im Sinne des „schon-mal-gesehen-oder-gehört-Habens“ und die *Objekterkennung* war erfolgreich. Eine Störung auf dieser Ebene ist gekennzeichnet durch Fehler bei Aufgaben zum Familiaritätsentscheiden. Bekannte Objekte erscheinen den betroffenen Personen unbekannt. Im vierten Schritt erfolgt die *Objektidentifikation*, indem die Objektform mit ihrer Bedeutung assoziiert wird und erkannt wird, um welches Objekt es sich handelt. Dies ermöglicht den Abruf von Bedeutungsinformationen über das erkannte Objekt. Störungen auf dieser Ebene sind an Problemen mit semantischen Entscheidungs- und Kategorisierungsaufgaben zu erkennen. Es handelt sich jedoch nur dann um eine Agnosie, wenn der Zugriff auf die Bedeutung modalitätsspezifisch gestört ist, andernfalls besteht ein semantisches Defizit. Nach erfolgreicher Identifikation ist schließlich der Wortabruf möglich und der Name des entsprechenden Objekts kann geäußert werden (Belin et al., 2004; Bruce & Young, 1986; De Renzi, 2000; Devinsky et al., 2008; Fox et al., 2008; Goll et al., 2010a; Riddoch & Humphreys, 2001; Warren et al., 2005a, 2006). Neuroanatomisch ist zu beobachten, dass perzeptuell basierte Agnosien mit gestörter Diskriminierung aus posterioren Hirnläsionen resultieren, Agnosien aufgrund von Störungen der internen Form- und Bedeutungsrepräsentation dagegen aus Läsionen des weiter anterior liegenden Temporalkortex (z. B. Bartolomeo, 2002; Barton & Cherkasova, 2003; Goll et al., 2010b).

2.1.4. Suprakategorielle Verarbeitung

Charakteristisch für frühe Prozesse der Objekterkennung ist eine suprakategorielle Verarbeitung sämtlicher Stimuli einer Modalität. Diese Prozesse finden in Hirnregionen adjazent zu den primär- und sekundärsensorischen Arealen statt und sind damit in posterioren Regionen entlang des jeweiligen ventralen Verarbeitungsstroms zu lokalisieren. Läsionen dieser Hirnregionen führen zu perzeptuell basierten Verarbeitungsdefiziten, die alle Objekte annähernd gleich stark betreffen. Mittels funktioneller Bildgebung ist festzustellen, dass neuronale Aktivität in den entsprechenden Arealen durch Stimuli diverser Kategorien hervorgerufen wird.

Visuelle Modalität Areale, die an frühen Prozessen der Objekterkennung beteiligt sind und in denen eine suprakategorielle Verarbeitung visueller Reize erfolgt, befinden sich in den inferioren Bereichen der Okzipital-

lappen und erstrecken sich von dort bis in den Kortex an der okzipitotemporalen Grenzzone. Daher resultieren visuelle Agnosien sowohl für allgemeine Objekte (Milner et al., 1991; Riddoch & Humphreys, 1987; Shelton et al., 1994) als auch für Gesichter (Damasio, 1985; De Renzi et al., 1994; Meadows, 1974) häufig aus Läsionen dieser Hirnstrukturen. Typisch für diese Agnosien ist eine gestörte perzeptuelle Verarbeitung, die sich primär in Defiziten der Diskriminierung zwischen visuell ähnlichen Objekten äußert, bei weitgehend erhaltener bildlicher Vorstellung bekannter Objekte und Gesichter (Bartolomeo et al., 1998; Barton & Cherkasova, 2003; Servos & Goodale, 1995). So wurden bei dem Patienten HJA nach bilateraler Läsion des medialen ventralen okzipitotemporalen Kortex deutliche Störungen der visuellen Erkennung von Objekten, Gesichtern, Buchstaben und Farben festgestellt, wohingegen deren interne visuelle Repräsentation intakt war (Riddoch & Humphreys, 1987; Riddoch et al., 2008). Mittels funktioneller Bildgebungsstudien konnten im ventralen okzipitotemporalen Kortex neben großflächigen suprakategoriellen Aktivierungen (Tyler et al., 2004; Zannino et al., 2010) auch fokale Areale identifiziert werden, die die Verarbeitung bestimmter visueller Aspekte unterstützen, aber für Objekte diverser Kategorien benötigt werden. Dazu gehören der laterale okzipitale Komplex (LOC) im inferioren Okzipitallappen (Malach et al., 1995), das für die Wahrnehmung von Farben wesentliche Areal V4/V8 inferoposterior zum LOC (Bartels & Zeki, 2000; Beauchamp et al., 2000; Bouvier & Engel, 2006) und das superoanterior zum LOC liegende Areal MT, das für die Wahrnehmung von Objektbewegung wichtig ist (Sun-aert et al., 1999; Tootell et al., 1995; Watson et al., 1993). Der laterale okzipitale Komplex selbst scheint spezifisch in die Analyse von Objektformen involviert zu sein. Aktivierung in diesem Areal ist davon abhängig, ob verbundene, erkennbare Formen präsentiert werden, aber unabhängig davon, um welche Objekte es sich handelt, ob es sich um bekannte oder unbekannte Objekte handelt oder auf welche Art die Formen präsentiert werden (Grill-Spector et al., 2001; Kanwisher et al., 1997b; Malach et al., 1995). Dementsprechend resultierte die visuelle Formagnosie bei der Patientin DF aus einer bilateralen Läsion des LOC. Sie zeigt deutliche Störungen darin, einfache Formen zu diskriminieren und Abbildungen abzuzeichnen. In Übereinstimmung mit der Annahme von einer suprakategoriellen Funktion des LOC wurde außerdem eine Prosopagnosie festgestellt. Die Patientin war weder in der Lage, Personen anhand von Gesichtern zu identifizieren, noch konnte sie das Geschlecht oder den Gesichtsausdruck abgebildeter Personen bestimmen (James et al., 2003; Milner et al., 1991; Steeves et al., 2006).

Auditive Modalität Analog zur visuellen Modalität existieren auch im auditorischen Kortex Regionen, die verschiedene Kategorien auditiver Stimuli gleichermaßen verarbeiten. Neben den primären und sekundären auditorischen Arealen sind dies vor allem zentrale und posteriore Regionen des superioren Temporalkortex. Insbesondere das Planum temporale reagiert auf viele Arten akustischer Reize und zeigt einen deutlichen Signalanstieg, wenn diese mit Ruhe kontrastiert werden. Daher wurde vermutet, dass diese Struktur zur detaillierten Analyse der spektrot temporalen Feinstruktur von akustischen Stimuli beiträgt (Griffiths & Warren, 2002; Warren et al., 2005a). Darüber hinaus scheinen jedoch nahezu die gesamten superioren Temporalkortizes an der Verarbeitung diverser akustischer Reize mitzuwirken. So lösten verschiedene Umweltgeräusche Aktivität im Planum temporale, in den primärauditorischen Kortizes und in adjazenten Strukturen aus, wenn diese mit Abbildungen, geschriebenen Wörtern, Ruhe oder akustischen Kontrollstimuli kontrastiert wurden (Adams & Janata, 2002; Altmann et al., 2007b; Engelen et al., 2006; Hocking et al., 2011; Lewis et al., 2004; Maeder et al., 2001). Nur geringe Signalunterschiede zeigten sich in diesen Regionen dagegen beim Vergleich verschiedener Objektkategorien untereinander (Engel et al., 2009; Leaver & Rauschecker, 2010; Lewis et al., 2011). Lediglich Tiervokalisationen erzeugten verglichen mit Werkzeuggeräuschen in anterior zu den transversalen Temporalgyri liegenden Bereichen des STG leicht stärkere Aktivität (Doehrmann et al., 2008; Lewis et al., 2005). Auch beim Vergleich von Umweltgeräuschen und gesprochenem Sprachmaterial zeigten sich in den Temporalappen keine (Giraud & Price, 2001; Humphries et al., 2001) oder nur kleinflächige Signalunterschiede zugunsten der Umweltgeräusche. Zu diesen Arealen gehörten die Heschlschen Gyri, das Planum polare und temporale und der posteriore STG (Dick et al., 2007; Leaver & Rauschecker, 2010; Leech & Saygin, 2011; Specht & Reul, 2003; Thierry et al., 2003).

Weiterhin sind die superioren Temporalkortizes an der Verarbeitung menschlicher Lautäußerungen beteiligt. Die Wahrnehmung menschlicher Stimmen erzeugte im Vergleich zu Ruhe, zu Gesichtern oder zu bedeutungslosen Kontrollstimuli bilateral großflächige Aktivierungen im superioren Temporalappen, die sich rostral bis in mittig-anteriore Bereiche erstreckten und ventral zum Teil bis in die mittleren Temporalgyri reichten (Belin & Zatorre, 2003; Meyer et al., 2005; Rämä et al., 2004; Rämä & Courtney, 2005; Relander & Rämä, 2009; Shah et al., 2001; Stevens, 2004). Wurde die Verarbeitung von Stimmen mit der Verarbeitung bedeutungsvoller Geräusche kontrastiert, resultierten die Stimmen ebenfalls in deutlicher Aktivität im STG mit Maxima entlang der oberen Bank des

STS (Belin et al., 2000, 2002; Fecteau et al., 2004; Leaver & Rauschecker, 2010). Da die Areale präferiert auf stimmenspezifische Merkmale reagieren, wurden diese als stimmenselektive Areale bezeichnet (Belin et al., 2000). Ähnlich starke Aktivität zeigte sich in den transversalen Temporalgyri, den adjazenten Arealen im STG und entlang des STS jedoch auch in Studien zum auditiven Sprachverständnis, wenn die Analyse des linguistischen Materials im Vordergrund stand (Binder et al., 2000; Davis & Johnsrude, 2003; Stevens, 2004; Vouloumanos et al., 2001) und mit der Verarbeitung von Umgebungsgeräuschen verglichen wurde (Giraud & Price, 2001; Humphries et al., 2001; Thierry et al., 2003). Offenbar unterscheiden diese Areale kaum zwischen Stimmen- und Sprachverarbeitung. Der direkte Vergleich beider Prozesse rief zwar in anterioren Bereichen der Temporalappen Signalunterschiede hervor, nicht jedoch in Regionen rund um die primärauditorischen Kortizes (Belin & Zatorre, 2003; Stevens, 2004; von Kriegstein et al., 2003). Die superioren Temporalkortizes scheinen somit akustische Verarbeitungsprozesse zu unterstützen, die weder spezifisch für menschliche Vokalisationen sind noch für Prozesse der auditiven Sprachverarbeitung (Lech & Saygin, 2011; Price et al., 2005b).

2.1.5. Kategoriespezifische Verarbeitung

Neben den kategorieunspezifischen Regionen existieren in den Temporalappen Areale, die sensitiv für Objekte bestimmter semantischer Kategorien sind. So können Hirnläsionen zu selektiven Defiziten der Verarbeitung bestimmter Objektkategorien führen. Am häufigsten beobachtet wurden Störungen natürlicher Objekte wie Tiere, Obst- und Gemüsesorten oder andere Pflanzen bei deutlich besser erhaltener Verarbeitung von künstlichen Gegenständen wie Werkzeugen, Fahrzeugen, Kleidung oder Möbeln (Sartori & Job, 1988; Warrington & Shallice, 1984). Das umgekehrte Muster der stärkeren Störung von Artefakten wurde seltener beschrieben (Cappa et al., 1998a; Warrington & McCarthy, 1987). Zusätzlich ließ sich bei den natürlichen Objekten eine unterschiedlich intakte Verarbeitung von Tieren im Vergleich zu Obst- und Gemüsesorten feststellen, wobei selektive Defizite für Tiere deutlich seltener auftraten (Tiere > Obst und Gemüse: (Farah & Wallace, 1992; Hart et al., 1985); Obst und Gemüse > Tiere: (Hart & Gordon, 1992; Caramazza & Shelton, 1998)). Die Theorie der korrelativen Merkmale erklärt diese Beobachtungen damit, dass Objekte, die einander ähnlich sind, viele gemeinsame Merkmale aufweisen, so dass es zu einer neuronal getrennten Repräsentation verschiedener Kategorien kommt (Caramazza et al., 1990; Tyler & Moss, 2001). Dies lässt erwarten, dass Hirnläsionen Defizite unterschiedlichster und feinsten Kategorien hervorrufen können. Da dies nicht festzustellen ist, nimmt

die kategoriespezifische Theorie an, dass lediglich Kategorien von evolutionärem Wert (Menschen, Pflanzen, Tiere, eventuell Werkzeuge) eine neuronale Spezialisierung bewirkt haben und in getrennten Hirnstrukturen repräsentiert sind (Caramazza & Shelton, 1998; Mahon & Caramazza, 2009). Diese Theorie entspricht den Daten, lässt aber offen, welche Regionen mit welchen Kategorien zu assoziieren sind. Laut merkmalsbasierter Theorien erscheinen kategoriespezifische Störungen zwar als solche, es wird aber vermutet, dass ihnen eine Störung der charakteristischen Merkmale aufgrund von Läsionen in modalitätsspezifischen Arealen zugrundeliegt (Bird et al., 2000; Humphreys & Forde, 2001; Silveri & Gainotti, 1988; Warrington & Shallice, 1984). Meist wird vor allem zwischen sensorischen und motorischen Merkmalen differenziert (daher auch sensorisch-motorische Theorie). Weiterhin wird angenommen, dass die verschiedenen Arten von Merkmalen unterschiedlich relevant für bestimmte Konzeptkategorien sind. Objekte (Nomen) und im Besonderen natürliche Objekte definieren sich primär über sensorische Merkmale, künstliche Objekte und Tätigkeiten (Verben) stärker über motorische Merkmale, so dass selektive Defizite natürlicher oder künstlicher Objekte als eine Störung bestimmter Merkmalsarten erklärt werden.

Posteriorer ventraler Temporalkortex Läsionen des posterioren ventralen Temporalkortex führen zwar nicht typischerweise zu kategoriespezifischen Störungen (siehe jedoch Riddoch et al., 2008, für eine Objektagnosie mit stärkerer Störung natürlicher Objekte), Aktivierungsstudien deuten aber darauf hin, dass diese Region verschiedene Kategorien in unterschiedlichen Arealen verarbeitet. Die lateralen fusiformen Gyri reagieren besonders stark auf die visuelle Präsentation von Gesichtern (FFA, *fusiform face area*; Kanwisher et al., 1997a), die parahippocampalen Gyri auf Gebäude, Räume und Landschaften (Epstein & Kanwisher, 1998). Allgemein war festzustellen, dass Abbildungen von natürlichen Objekten Aktivierungen im lateralen Fusiformgyrus erzeugen und Abbildungen von künstlichen Objekten Aktivität in weiter medial liegenden Strukturen (Bell et al., 2009; Chao et al., 1999; Chouinard & Goodale, 2010; Wiggett et al., 2009; Zannino et al., 2010). Dieses Aktivierungsmuster ist auch dann zu beobachten, wenn Probanden sich die Objekte lediglich bildlich vorstellen, diese erwarten oder kurzfristig aufrechterhalten (Puri et al., 2009). Zudem konnten Chao et al. (1999) feststellen, dass entsprechende Aktivierungen auch durch geschriebene Wörter ausgelöst werden. Außer der Untersuchung von Devlin et al. (2005) konnte jedoch keine weitere Studie, die keine Abbildungen als Stimuli verwendete, dieses Aktivierungsmuster replizieren. Weder die Verarbeitung von Wörtern natürlicher oder

künstlicher Konzepte (Hwang et al., 2009; Mummery et al., 1998; Perani et al., 1999b; Price et al., 2003; Reinholz & Pollmann, 2005; Vitali et al., 2005) noch die Verarbeitung entsprechender Objektgeräusche (Doehrmann et al., 2008; Hocking et al., 2011; Lewis et al., 2005; Tranel et al., 2005) erzeugte im posterioren ventralen Temporalkortex unterschiedlich lokalisierte Aktivität von natürlichen und künstlichen Objekten. Diese Region besitzt offenbar eher visuelle Funktionen, die nur dann benötigt werden, wenn Objekte visuell wahrgenommen werden oder wenn die Aufgabenstellung den expliziten Abruf visueller Merkmale erfordert.

Die neuronal getrennte Verarbeitung natürlicher und künstlicher Objekte im posterioren ventralen Temporalkortex wurde auf eine unterschiedliche Spezialisierung der Neuronen in den lateralen und medialen Regionen zurückgeführt. Die frühen retinotop organisierten visuellen Neuronen unterscheiden sich darin, ob sie präferiert auf zentrale oder periphere Bereiche des visuellen Feldes reagieren. Auch die höheren visuellen Areale besitzen derartige Exzentrizitätsneigungen. Neuronen in lateralen Arealen des ventralen Temporallappens besitzen eher zentrale Präferenzen und sind daher auf die Verarbeitung von Objekten spezialisiert, die typischerweise im Mittelpunkt des visuellen Feldes wahrgenommen werden (z. B. Gesichter). Neuronen in weiter medial liegenden Regionen weisen dagegen eine Präferenz für die Bildperipherie auf, weshalb dort Objekte verarbeitet werden, die weniger im visuellen Fokus stehen (z. B. Gebäude; Hasson et al., 2003; Levy et al., 2001; Malach et al., 2002). Unabhängig von der Korrektheit dieser Erklärung wird deutlich, dass es nicht die Kategorien selbst sein müssen, die eine neuronal distinkte Repräsentation bewirken, sondern dass der Unterschied auch durch ihre zugrundeliegenden Merkmale hervorgerufen werden kann. Da bestimmte Merkmale unterschiedlich stark in verschiedenen Kategorien vertreten sind, können selektive Störungen von Merkmalen zu kategoriespezifischen Defiziten führen. Diese sind dann jedoch gradueller Natur.

Anteriorer ventraler Temporalkortex Im Gegensatz zu posterioren Läsionen resultieren Läsionen des zentralen und anterioren ventralen Temporalkortex nicht selten in gerichteten kategoriespezifischen Störungen, nämlich in Defiziten der Verarbeitung natürlicher Objekte (Brambati et al., 2006; Capitani et al., 2003; Damasio et al., 2004; Forde et al., 1997; Gainotti, 2005). Dies wurde insbesondere bei Patienten mit Herpes-Simplex-Virus-Enzephalitis (HSVE) beobachtet (Gainotti & Silveri, 1996; Humphreys & Riddoch, 2003; Laiacona et al., 2003; Lambon Ralph et al., 2007; Moss et al., 2005; Sartori et al., 1993; Warrington & Shallice, 1984), deren Läsionen sich im anteromedialen Temporalkortex konzen-

trieren (Kapur et al., 1994; Noppeney et al., 2007)². Auch einige Patienten mit semantischer Demenz zeigen dieses Fehlermuster (Barbarotto et al., 1995; Lambon Ralph et al., 2003). In Aktivierungsstudien erzeugten dementsprechend natürliche Objekte ein stärkeres Signal in dieser Region als künstliche Objekte (Damasio et al., 1996; Devlin et al., 2002a; Moore & Price, 1999; Moss et al., 2005; Phillips et al., 2002; Taylor et al., 2006). Neuronale Aktivität wurde in diesem Bereich jedoch nicht nur durch Abbildungen der Objekte ausgelöst, sondern war auch bei der Präsentation von Wörtern oder Geräuschen festzustellen (Cappa et al., 1998b; Tranel et al., 2003a, 2005). Dies lässt vermuten, dass die weiter anterior liegenden Bereiche des ventralen Temporalkortex Objekte auf abstraktere Weise verarbeiten als die posterioren Regionen, etwa indem visuelle semantische Merkmale identifiziert werden. Unter der Annahme, dass die konzeptuelle Struktur natürlicher Objekte stärker auf perzeptuellen Merkmalen basiert als bei künstlichen Objekten (Warrington & Shallice, 1984), ist bei einer Störung visueller semantischer Merkmale aufgrund von Läsionen des anterioren ventralen Temporalkortex eine kategoriespezifische Störung natürlicher Objekte zu erwarten, auch wenn diese Region visuelle semantische Merkmale diverser Objektkategorien analysiert (Binder et al., 2009; Chao & Martin, 1999; Hocking et al., 2011; Mummery et al., 1998; Simmons et al., 2007).

Weiterhin wurde beobachtet, dass Personen mit semantischer Demenz und andere Patienten mit Läsionen des anterioren Temporalkortex kaum thematisch/assoziativ relationierte Konzepte verwechseln (*Apfel* und *Wurm*), sondern eher taxonomisch/kategoriell relationierte Objekte wie *Apfel* und *Birne* (Jefferies & Lambon Ralph, 2006; Schwartz et al., 2011), deren Differenzierung und Relation zueinander vor allem auf perzeptuellen Aspekten basiert (Kalénine et al., 2009). Schließlich war festzustellen, dass HSVE-Patienten und Patienten mit semantischer Demenz bisweilen einen Verarbeitungsvorteil für abstrakte Wörter (*Mut*, *Rache*, *Würde*) gegenüber konkreten Wörtern aufweisen (Bonner et al., 2009; Breedin et al., 1994; Macoir, 2009; Papagno et al., 2009; Reilly et al., 2007; Sirigu et al., 1991; Yi et al., 2007). Der Unterschied zwischen konkreten und abstrakten Wörtern besteht laut Crutch & Warrington (2005) darin, dass konkrete Wörter in einem taxonomischen Netzwerk repräsentiert sind, abstrakte Wörter in einem thematischen Netzwerk. Meist wird der Unterschied jedoch dar-

²Zusätzlich deutet sich an, dass Läsionen anteriorer Bereiche des ventralen Temporalkortex zu Störungen der Verarbeitung von Tieren führen, posteriore Läsionen mit Obst- und Gemüsesorten (Blundo et al., 2006; Capitani et al., 2009; Crutch & Warrington, 2003; Gainotti, 2010; Samson & Pillon, 2003). Gainotti (2005, 2010) argumentiert jedoch dafür, dass das Geschlecht der Patienten für die Dissoziation zwischen Tieren und pflanzlichen Objekten verantwortlich ist.

in gesehen, dass sich konkrete Wörter über linguistische und perzeptuelle Merkmale definieren, abstrakte Wörter nur über linguistische Attribute (duale Kodierungstheorie; Paivio, 1991). Aufgrund der doppelten Kodierung erfolgt die Verarbeitung konkreter Wörter im Normalfall sicherer, jedoch in seltenen Fällen schlechter, wenn selektiv die perzeptuellen Merkmale gestört sind (Breedin et al., 1994; Macoir, 2009; Yi et al., 2007).

Posteriores lateraler Temporalkortex Eine weitere Region innerhalb der Temporallappen, die präferiert bestimmte semantische Informationen verarbeitet, ist der posteriore laterale Temporalkortex. Diese Region zeigt sich bevorzugt an der Verarbeitung künstlicher Objekte beteiligt, insbesondere solcher, mit denen manuell Handlungen ausgeführt werden können (Boronat et al., 2005; Canessa et al., 2008; Kellenbach et al., 2003). Aktivierungen in dieser Region wurden mit visuellen (Chao et al., 1999; Chouinard & Goodale, 2010; Martin et al., 1996), auditorischen (Lewis et al., 2005; Doehrmann et al., 2008; Tranel et al., 2005) und linguistischen (Hwang et al., 2009; Noppeney et al., 2006; Vitali et al., 2005) Stimuli hervorgerufen. Zusätzlich sind in dieser Region Aktivierungen bei der Verarbeitung von Konzepten zu beobachten, die Tätigkeiten und Handlungen repräsentieren (Assmus et al., 2007; Caspers et al., 2010; Kemmerer et al., 2008; Lewis et al., 2011; Martin et al., 1995). Läsionsstudien deuten ebenfalls darauf hin, dass selektive Störungen der Verarbeitung von künstlichen Objekten oder Tätigkeiten aus Läsionen des posterioren Temporalkortex resultieren können (Brambati et al., 2006; Campanella et al., 2010; Damasio et al., 2004; Kalénine et al., 2010; Luzzatti et al., 2006; Tranel et al., 2003b). Der posteriore Temporalkortex (Höhe STS) scheint aber auch an der Verarbeitung natürlicher Objekte und deren biologischer Bewegung beteiligt zu sein (Beauchamp et al., 2002; Chao et al., 1999; Lin et al., 2011b; Pelphrey et al., 2005; Wheatley et al., 2005). Da sich die Aktivierungen und Läsionen adjazent zum bewegungssensitiven Areal MT befinden (Tootell et al., 1995), lassen sich die Beobachtungen dahingehend deuten, dass der posteriore laterale Temporalkortex motorische semantische Merkmale von Objekten und Handlungen verarbeitet.

Die Daten sind folglich mit der sensorisch-motorischen Theorie kompatibel, indem Läsionen in neuronal diskreten Arealen (anteriorer ventraler vs. posteriorer lateraler Temporalkortex) zu Defiziten der Verarbeitung bestimmter semantischer Merkmale führen (visuell vs. motorisch), die wiederum kategoriespezifische Defizite zur Folge haben (natürliche Objekte vs. künstliche Objekte/Tätigkeiten). Dementsprechend beobachteten Marques et al. (2008) mittels fMRT, dass anhand von Sätzen präsentierte Tiere und manipulierbare Objekte keine voneinander unterscheidbaren Akti-

vierungen erzeugten, sondern die Aussagen der Sätze, die entweder auf visuelle oder motorische Merkmale Bezug nahmen, die Lokalisation der Aktivierungscluster beeinflusste. Unabhängig von der Kategorie aktivierte die Interpretation visueller Merkmale zentrale ventrotemporale Bereiche, die Verifikation motorischer Merkmale den posterioren lateralen Temporalkortex. Für die funktionelle Dissoziation des ventralen und lateralen Temporalkortex sprechen auch die sprachlichen Leistungen von Patienten, die nach ventralen Läsionen Konzepte mit hoher motorischer Komponente (Verben, Artefakte, Objekte mit vielen motorischen Merkmalen) korrekter verarbeiten konnten (Lin et al., 2011a; Wolk et al., 2005) oder im Gegensatz dazu nach weiter dorsal liegenden Läsionen Konzepte mit hoher perzeptueller Komponente (natürliche Objekte, Individuen, Konzepte mit wenig Motorik; Campanella et al., 2010; Vannuscorps & Pillon, 2011). Die sensorisch-motorische Theorie sagt jedoch lediglich graduelle Unterschiede zwischen verschiedenen Kategorien vorher, da sensorische und motorische Merkmale in nahezu jedem Konzept enthalten sind.

Möglicherweise besitzt der posteriore laterale Temporalkortex aber eine noch allgemeinere Funktion als motorische Merkmale zu verarbeiten. In der Studie von Kalénine et al. (2009) zeigten sich Aktivierungsunterschiede in Abhängigkeit von der zu analysierenden semantischen Relation zwischen verschiedenen Objekten. Den thematischen Zusammenhang zwischen Objekten zu erkennen (*Brot – Teller*) führte im linken posterioren MTG zu stärkerer Aktivität als taxonomisches Sortieren (*Gabel – Teller*). Charakteristisch für Objekte, die in einem thematischen Zusammenhang stehen, ist, dass sie in bestimmten Situationen gemeinsam auftreten und komplementäre Funktionen in diesen Situationen spielen. Dieser thematische Zusammenhang ist besonders deutlich bei Objekten zu erkennen, mit denen Tätigkeiten ausgeübt werden können. In einer Studie mit aphasischen Probanden (Schwartz et al., 2011) ließ sich ein entsprechender Zusammenhang zwischen Läsionsort und sprachlichen Fehlermustern feststellen. Patienten, die beim Benennen häufig semantische Paraphrasien mit thematischem Bezug zum Zielwort produzierten, wiesen vorwiegend Läsionen des posterioren Temporalkortex auf. Die Ergebnisse von Kalénine et al. (2009) und Schwartz et al. (2011) wurden dahingehend interpretiert, dass der posteriore Temporalkortex nicht nur Bewegungs- und Handlungsmerkmale von Objekten und Tätigkeiten verarbeitet, sondern Relationen zwischen Konzepten analysiert, die einem gemeinsamen Ereignisschema angehören. Dafür spricht ebenfalls, dass sämtliche Arten von Verben (motorische Tätigkeiten, aber auch mentale und abstrakte Handlungen) Aktivierungen im posterioren Temporalkortex hervorrufen (Bedny et al., 2008; Davis et al., 2004; Grossman et al., 2002; Kemmerer et al.,

2008; Lin et al., 2011b). Vannuscorps & Pillon (2011) argumentieren daher dafür, dass der posteriore Temporalkortex primär solche Konzepte verarbeitet, die dazu dienen, Ziele und Absichten zu verfolgen.

2.2. Funktionen des lateralen anterioren Temporalkortex

Der anteriore Temporallappen (ATL) ist eine Hirnregion, die mit diversen kognitiven Funktionen assoziiert wird. Es wurde angenommen, dass diese Region an der supramodalen semantischen Verarbeitung sämtlicher Konzepte beteiligt ist, insbesondere bei deren Interpretation auf untergeordneter oder individueller Ebene. Andere Theorien gehen davon aus, dass biographische Informationen über Personen im ATL verarbeitet werden oder diese Region die Identifikation von Personen anhand ihres Gesichts oder ihrer Stimme unterstützt. Über die semantische Interpretation hinaus wurde beobachtet, dass der anteriore Temporalkortex zur sozialen und emotionalen Bewertung von Konzepten beiträgt. Wahrscheinlich besitzt der ATL eine allgemeine Funktion und erfüllt so verschiedene relationierte Aufgaben. Andererseits ist der ATL eine sehr großflächige Struktur, die durchaus mehrere Funktionen beherbergen kann, wofür auch Konnektivitätsanalysen sprechen, die gezeigt haben, dass der anteriore Temporallappen vielfältig mit anderen Hirnregionen verbunden ist.

Im Absatz 2.1.2 wurden neuronale Projektionen beschrieben, die weiter posterior liegende temporale Bereiche mit dem anterioren Temporallappen verbinden. Dieser besteht aus diversen großanatomischen Strukturen und umfasst die anterioren Bereiche der lateralen und ventralen Temporalgyri und limbische Strukturen wie die Amygdala. Der temporopolare Kortex (TPC) bildet die vorderste Spitze der Temporallappen und hebt sich zytoarchitektonisch vom umgebenden Gewebe ab (Markowitsch et al., 1985; Nakamura & Kubota, 1996). Neuere Studien sprechen dafür, dass auch der TPC selbst in weitere Areale zu untergliedern ist (Blazot et al., 2010; Ding et al., 2009). Neben den ventralen, besonders weit medial liegenden peri- und entorhinalen Strukturen lassen sich zytoarchitektonisch und funktionell insbesondere zwei Bereiche des TPC unterscheiden: ein dorsolateraler Bereich, der primär mit auditorischen Funktionen assoziiert wird und ein ventraler Bereich, der in die visuelle Verarbeitung involviert ist (Blazot et al., 2010; Olson et al., 2007; Poremba et al., 2003). Beide Regionen unterscheiden sich auch in ihrer anatomischen Konnektivität mit anderen Regionen. In Übereinstimmung mit den zuvor beschriebenen Daten erhält der dorsolaterale TPC im Gehirn von Affen primär Input von auditorischen Assoziationsarealen des STG und der

ventrale Bereich vom extrastriaten visuellen Kortex im inferioren Temporalgyrus (Kondo et al., 2003; Morán et al., 1987). Ausgehend vom TPC finden sich im Gehirn menschlicher und nichtmenschlicher Primaten starke Verbindungen zu Arealen wie dem inferioren Frontalgyrus und dem Hippocampus, die die Verarbeitung von Informationen auf allgemeine Art und Weise unterstützen, und zu Arealen der sozialen Kognition wie dem Präfrontalkortex, dem posterioren Bereich des superioren Temporalsulcus, dem perirhinalen Kortex, der Amygdala oder dem Precuneus/posterioren Cingulum (Ghashghaei & Barbas, 2002; Kondo et al., 2003; Markowitsch et al., 1985; Morán et al., 1987; Nakamura & Kubota, 1996; Simmons et al., 2010). Ghashghaei & Barbas (2002) heben insbesondere die Konnektionen mit der Amygdala und dem orbitofrontalen Kortex hervor, die wesentlich an der Verarbeitung von Emotionen beteiligt sind (Adolphs, 2010; Bechara et al., 2000), so dass vermutet wird, dass dieses Netzwerk die Bewertung des emotionalen Gehalts sensorischer Stimuli ermöglicht (Barbas, 2007). Andere Autoren betonen dagegen die funktionelle Untergliederung des temporopolen Kortex. So haben weitere Studien an nichtmenschlichen Primaten gezeigt, dass jede der beiden TPC-Regionen stärker mit sich selbst verknüpft ist als mit dem jeweils anderen Bereich (Kondo et al., 2003) und zusätzlich mit spezifischen Regionen im Frontallappen und medialen Temporallappen. Der ventrale TPC weist stärkere Verbindungen zum orbitalen präfrontalen Netzwerk³ und zum perirhinalen Kortex auf, der dorsale TPC dagegen zum medialen präfrontalen Netzwerk, zum parahippocampalen Kortex und zum retrosplenialen Kortex (Gilbert et al., 2010; Kahn et al., 2008; Kondo et al., 2003, 2005; Saleem et al., 2008). Entsprechend werden für beide Bereiche des temporopolen Kortexes und seine jeweils assoziierten Regionen unterschiedliche Funktionen angenommen, indem der ventrale TPC Teil eines sensorischen Analyse- und Gedächtnissystems darstellt und der dorsale TPC Teil eines emotional basierten Verarbeitungssystems (Kondo et al., 2005; Saleem et al., 2008).

In den weiteren Ausführungen wird vor allem die Funktion des dorso-lateralen ATL diskutiert.

2.2.1. Allgemeine semantische Verarbeitung

Da die anterioren Temporallappen selten Läsionen aufgrund von Hirninfarkten aufweisen (DeLeon et al., 2007; Visser et al., 2010b), zählen sie nicht zu den klassischen Spracharealen und werden auch nicht stan-

³zum Konzept der orbitalen und medialen präfrontalen Netzwerke siehe Carmichael & Price (1996) und Öngür & Price (2000)

dardmäßig mit semantischen Verarbeitungsprozessen assoziiert. Studien an aphasischen Patienten mit multimodalen semantischen Defiziten nach Schlaganfall sprechen eher dafür, dass temporoparietale und frontale Areale für die semantische Verarbeitung wesentlich sind (Berthier, 2001; Chertkow et al., 1997; Hart & Gordon, 1990; Hillis et al., 2001; Jefferies & Lambon Ralph, 2006; Ogar et al., 2011). Bezüglich der frontalen Regionen wird vielfach vermutet, dass diese eher exekutive Kontrollfunktionen beim Abruf semantischer Informationen ausüben als die Informationen selbst zu repräsentieren (Bookheimer, 2002; Gabrieli et al., 1998; Robinson et al., 2005; Thompson-Schill et al., 1998). Ähnlich wird auch für den posterioren Temporalkortex argumentiert (Gold et al., 2006; Jefferies et al., 2008; Noppeney et al., 2004; Whitney et al., 2011).

Hinweise auf eine Beteiligung des anterioren Temporalkortex an semantischen Verarbeitungsprozessen stammen primär aus Studien zur semantischen Demenz, der temporalen Variante der frontotemporalen Demenz. Patienten mit semantischer Demenz weisen deutliche semantische Defizite auf, wohingegen andere kognitive Funktionen weitgehend erhalten sind. Die Defizite äußern sich in Sprachverständnisstörungen für Einzelwörter und längere Äußerungen genauso wie in Störungen der nichtsprachlichen Objektidentifikation. Bereits frühzeitig ist die Sprachproduktion der betroffenen Personen durch massive Wortfindungsstörungen gekennzeichnet. Fehlerhafte Leistungen zeigen sich in sämtlichen Aufgaben, die den Umgang mit semantischem Wissen erfordern. Die Störung äußert sich supramodal und für alle semantischen Kategorien annähernd gleich stark. Im Verlauf der Erkrankung ist eine progressiver Verlust von Bedeutungsmerkmalen über Dinge in der Welt zu beobachten, so dass Objektrepräsentationen einander zunehmend ähnlicher werden und Konzepte in ihrer Bedeutung und Funktion nicht mehr differenziert werden können (Gorno-Tempini et al., 2011; Hodges et al., 1992; Lambon Ralph et al., 2010b; Neary et al., 1998; Patterson et al., 2007). Ursächlich sind hirnatrophische Prozesse und ein reduzierter Metabolismus in relativ umschriebenen Regionen beider Temporallappen festzustellen, linkshemisphärisch stärker als rechts. Betroffen sind vor allem die anterioren Bereiche der ventromedialen und inferolateralen Strukturen wie der temporopolare Kortex, die Amygdala, der Hippocampus, die parahippocampalen und fusiformen Gyri sowie die inferioren und mittleren Temporalgyri (Brambati et al., 2009; Chan et al., 2001; Desgranges et al., 2007; Galton et al., 2001; Lehmann et al., 2010; Rohrer et al., 2009), wo der Grad der Atrophie deutlich mit der Schwere des semantischen Defizits korreliert (Mummery et al., 2000; Rosen et al., 2002; Williams et al., 2005). Aufgrund dieses klaren Zusammenhangs zwischen bilateralen ATL-Läsionen und generalisierten se-

mentischen Defiziten wurde vermutet, dass der anteriore Temporalkortex ein wesentliches Zentrum der semantischen Verarbeitung darstellt, das für die Bildung amodaler semantischer Repräsentationen verantwortlich ist, indem Informationen über Objekte, die weitverteilt in anderen Hirnregionen repräsentiert sind, in dieser Region zu konzeptuellen Einheiten zusammengefügt werden (Lambon Ralph & Patterson, 2008; Patterson et al., 2007).

Daten anderer Patientengruppen sind mit dieser Theorie nicht recht kompatibel. So wurden bei elektrokortikaler Stimulation des anterioren Temporalkortex (Hamberger et al., 2005; Ojemann, 1991) oder nach Resektion dieser Bereiche (Hermann et al., 1991) selten sprachliche Defizite beobachtet. Falls Störungen auftraten, äußerten sich diese eher als lexikalische Abrufdefizite für individuelle (Fukatsu et al., 1999; Glosser et al., 2003; Tsukiura et al., 2002) oder seltener auch kategorielle Konzepte (Drane et al., 2008; Hermann et al., 1999; Tippett et al., 1996). Unter der Annahme, dass beide anterioren Temporallappen zu semantischen Verarbeitungsprozessen in der Lage sind (Lambon Ralph et al., 2010a; Pobric et al., 2010a), lassen sich, da elektrische Stimulation und Resektionen im Gegensatz zur Atrophie bei semantischer Demenz unilateral erfolgen, diese leichteren Defizite erklären. Zusätzlich ist bei den Epilepsiepatienten ein Zusammenhang zwischen dem Zeitpunkt des Epilepsiebeginns und der postoperativen sprachlichen Verschlechterung festzustellen. Patienten mit frühem Beginn zeigen eher keine sprachlichen Defizite, was andeutet, dass bei diesen Personen bereits präoperativ neuronale Reorganisationsprozesse stattgefunden haben und Funktionen des ATL von nicht betroffenen Hirnregionen übernommen wurden (Davies et al., 2005; Hamberger et al., 2007; Powell et al., 2007; Yucus & Tranel, 2007).

Verglichen mit den klassischen Spracharealen existieren nur wenige Studien mit gesunden Probanden, die für eine Beteiligung der anterioren Temporalkortizes an allgemeinen semantischen Verarbeitungsprozessen sprechen. Dies wird zum Teil darauf zurückgeführt, dass in vielen PET- und fMRT-Studien die Kontrollaufgabe nicht anspruchsvoll genug gewählt wurde, um während dieser automatische semantische Prozesse zu unterdrücken und semantische Verarbeitung während der Experimentalbedingung aufzudecken (Binder et al., 2008; Price et al., 2005a; Stark & Squire, 2001; Visser et al., 2010b). Dennoch deuten zunehmend mehr Studien darauf hin, dass der ATL in die Verarbeitung semantischer Informationen involviert ist, z. B. basierend auf repetitiver transkranieller magnetischer Stimulation (rTMS; Lambon Ralph et al., 2009; Pobric et al., 2007, 2010a) oder Magnetenzephalographie (Marinkovic et al., 2003). PET-Studien zur semantischen Verarbeitung von Wörtern, die Aktivität im ATL beschrei-

ben, fanden diese teils in ventromedialen Strukturen (Bright et al., 2004; Devlin et al., 2002b; Price et al., 1997; Vandenberghe et al., 1996), teils in lateralen Bereichen (Binney et al., 2010; Kellenbach et al., 2005; Perani et al., 1999a; Price et al., 2005a). Die Ursache für die geringe Anzahl an fMRT-Studien mit ähnlichen Ergebnissen besteht laut Visser et al. (2010b) darin, dass in dieser Region aufgrund der Nähe zu den luftgefüllten Nasennebenhöhlen starke Magnetfeldinhomogenitäten bestehen, die zu Signalverlusten führen. Nach Anwendung von Methoden zur Verzerrungskorrektur zeigte sich durch semantische Aufgaben ausgelöste neuronale Aktivität vor allem im ventromedialen ATL (Binney et al., 2010; Visser et al., 2010a; Visser & Lambon Ralph, 2011). Da dieser bei semantischer Demenz deutlich atrophisch ist und ein Zusammenhang zwischen dem Grad der Atrophie dieser Strukturen und dem Ausmaß des semantischen Defizits festzustellen war (Binney et al., 2010; Galton et al., 2001; Mion et al., 2010), wird vermutet, dass diese Region für die semantische Verarbeitung besonders wichtig ist.

Es ist jedoch nicht sicher, ob der anteriore ventromediale Kortex tatsächlich auf semantische Verarbeitungsprozesse spezialisiert ist oder ob vielleicht visuelle Aspekte bei den scheinbar semantischen Aktivierungen und Defiziten eine Rolle spielen. So lassen sich einige Fehlermuster von Patienten mit semantischer Demenz durchaus damit erklären, dass visuelle Merkmale von Konzepten defizitär verarbeitet werden (siehe Abschnitt 2.1.5, anteriorer ventraler Temporalkortex). Tatsächlich ist festzustellen, dass Aktivität im perirhinalen Kortex durch rein visuelle Verarbeitungsprozesse ausgelöst wird und Patienten mit semantischer Demenz beeinträchtigt sind, diese Aufgaben auszuführen. Barense et al. (2010a) kontrastierten das Diskriminieren von unbekanntem Gesichtern aus unterschiedlichen Perspektiven mit dem Diskriminieren der Stimuli in derselben Ansicht und identifizierten Aktivität im anterioren perirhinalen Kortex. Patienten mit semantischer Demenz absolvierten diese Aufgabe mit einer hohen Fehlerzahl (Lee et al., 2006). Daher wird vermutet, dass der ventromediale ATL in Prozesse der komplexen visuellen Verarbeitung involviert ist (Graham et al., 2010; Lee et al., 2005). Darüber hinaus konnte aber auch beobachtet werden, dass der perirhinale Kortex ähnlich wie der posteriore STS/MTG Informationen verschiedener Modalitäten integriert, indem er stärker auf die multimodale als die unimodale Präsentation von Objekten reagiert (Taylor et al., 2006). Entsprechend zeigen auch Personen mit Läsionen dieser Region eingeschränkte Fähigkeiten der multimodalen Integration von Informationen (Taylor et al., 2009). Die Funktion des ventromedialen ATL ist somit offenbar nicht auf rein visuelle Aspekte begrenzt,

sondern könnte in der multisensorischen Verarbeitung von Informationen bestehen.

Neben der eher perzeptuell ausgerichteten Funktion der ventromedialen Region deutet sich eine Beteiligung des ATL auch an allgemein semantischen Prozessen an. So beschränkt sich die Atrophie von Patienten mit semantischer Demenz nicht auf die ventromedialen Bereiche des anterioren Temporalkortex, sondern betrifft auch seine lateralen Strukturen, und zwar stärker als bei Herpes-Simplex-Enzephalitis oder Morbus Alzheimer (Galton et al., 2001; Noppeney et al., 2007). Studien mit Patienten nach Schlaganfall fanden ebenfalls einen korrelativen Zusammenhang von semantischen Defiziten und Läsionen im lateralen ATL (Schwartz et al., 2009; Walker et al., 2011). Zannino et al. (2010) variierten in einer fMRT-Studie die semantische Kategorie der präsentierten Abbildungen (natürliche vs. künstliche Objekte) sowie die semantische Distanz zwischen den Objekten (Aprikose – Kirsche vs. Nuss – Zitrone). Der ventrale okzipitotemporale Kortex differenzierte zwischen den semantischen Kategorien, der laterale ATL zeigte dagegen Aktivität in Abhängigkeit von der semantischen Distanz. Barense et al. (2010b) konnten bei Patienten mit semantischer Demenz beobachten, dass das Diskriminieren von Abbildungen durch visuelle Faktoren beeinflusst wurde, die Leistung jedoch nicht wie bei Patienten mit fokalen Läsionen des medialen Temporalkortex bei bedeutungshaltigen Stimuli anstieg, was auf ein zusätzliches semantisches Defizit hindeutet. Dieses äußert sich z. B. darin, dass die Patienten nicht nur Störungen der Objektidentifikation aufweisen, sondern darüber hinaus auch des Wissens um die Funktion von Objekten (Hodges et al., 1999), eine Fähigkeit, die in Studien mit gesunden Versuchspersonen mit dem lateralen ATL assoziiert wurde (Canessa et al., 2008; Ishibashi et al., 2011). Auch zeigen Patienten mit semantischer Demenz im Gegensatz zu Personen mit HSVE in der Regel keine Unterschiede in der Verarbeitung verschiedener Objektkategorien (Jefferies et al., 2009; Lambon Ralph et al., 1998, 2003, 2007; Moss et al., 2005). Dies wird zum einen über Unterschiede in der Pathologie der Erkrankungen erklärt (Lambon Ralph et al., 2007), zum anderen damit, dass die Atrophie bei semantischer Demenz stärker auch lateral liegende Strukturen betrifft (Graham & Hodges, 1997; Harasty et al., 1996; Moss et al., 2005; Noppeney et al., 2007). Mittels rTMS des linken lateralen ATL konnte ebenfalls gezeigt werden, dass dieser für die semantische Verarbeitung diverser Objektkategorien relevant ist, indem die Anwendung der Methode zur Störung natürlicher und künstlicher Konzepte führte (Pobric et al., 2010b). Schließlich analysiert der laterale ATL nicht nur taxonomische (Schwartz et al., 2011), sondern auch assoziative Relationen zwischen Objekten (Kellenbach et al., 2005),

eine Vernetzungsart, die als charakteristisch für abstrakte Wörter angenommen wird (Crutch & Warrington, 2005), die vorwiegend im lateralen ATL zu Aktivität führen (nächster Absatz). Somit scheinen distinkte Areale innerhalb des ATL unterschiedliche Funktionen auszuüben, indem ventromediale Bereiche perzeptuelle semantische Funktionen unterstützen und der laterale ATL allgemeine semantische Aufgaben erfüllt (Zannino et al., 2010).

Dafür, dass der anteriore Temporalkortex nicht ausschließlich perzeptuelle semantische Merkmale verarbeitet, sprechen auch diverse Aktivierungsstudien, die zeigen, dass der ATL stärker auf abstrakte als auf konkrete Konzepte reagiert (Binder et al., 2005, 2009; Kiehl et al., 1999; Mellet et al., 1998; Noppeney & Price, 2004; Perani et al., 1999a; Pexman et al., 2007; Rodríguez-Ferreiro et al., 2011; Sabsevitz et al., 2005; Tettamanti et al., 2008; Wallentin et al., 2005). Ähnlich fanden Pobric et al. (2009) einen stärkeren negativen Einfluss von rTMS der anterioren Temporalappen auf die Synonymie-Entscheidungszeit von abstrakten als von konkreten Wörtern. Diese Beobachtungen stehen jedoch im Widerspruch zu den oben genannten Fallstudien an Patienten mit semantischer Demenz, die zum Teil geringere Defizite mit abstrakten Wörtern zeigen. Jefferies et al. (2009) konnten dies in ihrer Probandengruppe nicht feststellen und vermuteten, dass die Ursache für solch ein Muster in einer untypischen Lokalisation der Atrophie besteht, indem stärker mediale und posteriore temporale Bereiche involviert sind. Für diese Argumentation spricht, dass die beschriebenen Aktivierungscluster für abstrakte Wörter in den genannten Studien im lateralen ATL zu finden waren ($x > |\pm 40|$). Wie oben beschrieben, wird der Unterschied zwischen konkreten und abstrakten Wörtern vielfach darin gesehen, dass nur Konkreta Merkmale aufweisen, die der sensomotorischen Erfahrung entspringen. Andere Autoren argumentieren jedoch dafür, dass auch abstrakte Konzepte Merkmale aufweisen, die auf Erfahrungen beruhen, nämlich emotionalen und affektiven Merkmalen (Altarriba et al., 1999; Vigliocco et al., 2009). Kousta et al. (2011) konnten zeigen, dass nach Anpassung konkreter und abstrakter Konzepte in Aspekten der Vorstellbarkeit und Menge an verfügbarer Kontextinformation statt des Vorteils konkreter Wörter ein Verarbeitungsvorteil der Abstrakta vorlag, den die Autoren auf den emotionalen Wert dieser Wörter zurückführen. Falls unterschiedliche Areale im ATL für die Verarbeitung von perzeptuellen und emotionalen Merkmalen relevant sind, lässt sich über eine unterschiedliche Lokalisation von Läsionen zum einen erklären, weshalb einige Patienten mit semantischer Demenz einen normalen (Jefferies et al., 2009), aber andere einen umgekehrten Konkretheitseffekt aufweisen (Yi et al., 2007) und bei einigen Patienten der umgekehrte

Konkretheitseffekt im Spätstadium stärker wird (Bonner et al., 2009), bei anderen dagegen abnimmt (Macoir, 2009).

2.2.2. Semantische Spezifität

Objekte werden meist am sichersten und schnellsten auf der Grundstufe (*Fisch* im Vergleich zu *Tier* oder *Karpfen*) kategorisiert und benannt, einer Spezifitätsebene, die möglichst viele Objekte zusammenfasst, die viele gemeinsame Merkmale aufweisen (Medin et al., 2000; Rogers & Patterson, 2007; Rosch et al., 1976). Neuere Studien deuten jedoch darauf hin, dass sich die Spezifität, mit der bestimmte Objekte verarbeitet werden, zwischen verschiedenen semantischen Kategorien unterscheidet. Ein deutlicher Einflussfaktor, der bestimmt, auf welcher Ebene ein Objekt erfasst wird, ist das Wissen, das jemand über ein Objekt besitzt. So zeigen Experten dieselben Reaktionen bei der Verarbeitung von untergeordneten Elementen der Objektkategorie, mit der sie besonders vertraut sind, wie sie und andere Personen sonst bei der Verarbeitung auf der Grundstufe aufweisen (Johnson & Mervis, 1997; Tanaka & Taylor, 1991). Da alle Menschen Experten für die Verarbeitung anderer Personen sind, so die Annahme, werden diese automatisch auf einer subordinierten Kategorisierungsebene verarbeitet (Gauthier et al., 1997; Tanaka, 2001).

Eine Region, die Objekte auf untergeordneter Ebene zu verarbeiten scheint, ist das FFA im lateralen Fusiformgyrus, das präferiert auf Gesichter, aber weniger stark auf andere visuelle Stimuli reagiert (FFA; Kanwisher et al., 1997a). Einige Autoren argumentieren daher für eine Spezialisierung des FFA auf die Verarbeitung von Gesichtern (Grill-Spector et al., 2004; Kanwisher & Yovel, 2006; McKone et al., 2007; Rhodes et al., 2004), andere vermuten dagegen, dass dieses Areal eine kategorieübergreifende Funktion besitzt, die jedoch erst bei der Verarbeitung von Objekten auf einer untergeordneten Ebene benötigt wird. Um dies zu zeigen, präsentierten Gauthier et al. (1997) Bilder allgemeiner Objekte, die im FFA Aktivierungen erzeugten, wenn diese auf untergeordneter Ebene verarbeitet wurden. Auch bei der Verarbeitung entsprechender Stimuli durch Experten für Vogelarten und Automarken im Vergleich zu Nichtexperten waren Aktivierungen in diesem Areal zu finden (Gauthier et al., 2000). Haist et al. (2010) konnten im direkten Vergleich zwischen Gesichtern, verschiedenen Uhren und diversen Objekten ebenfalls eine Abhängigkeit der FFA-Aktivierung von der Aufgabenstellung beobachten. Beim passiven Betrachten der Stimuli zeigte sich ein Aktivierungsvorteil für die Gesichter. Hatten die Probanden die Aufgabe, zwei nacheinander präsentierte Abbildungen dahingehend zu beurteilen, ob es sich um dasselbe Gesicht, dieselbe Uhr oder dasselbe Objekt in einer anderen Ansicht handelt oder um

eine jeweils andere Version, erzeugten die Uhren und Objekte ein gleich starkes Signal wie die Gesichter. Diese Ergebnisse sprechen dafür, dass das FFA visuelle Stimuli diverser Kategorien verarbeitet, wenn eine spezifische perzeptuelle Analyse auf individueller oder untergeordneter Ebene erforderlich ist. Dennoch ist die Frage, ob das FFA und der laterale Fusiformgyrus grundsätzlich verschiedene Objekte auf spezifischer hierarchischer Ebene verarbeiten, bisher nicht vollständig geklärt. Bei einigen Patienten mit prosopagnostischen Störungen waren zusätzlich visuelle Defizite für allgemeine Objekte festzustellen, wenn diese auf untergeordneter Ebene kategorisiert werden sollten (Gauthier et al., 1999), andere Patienten scheinen jedoch tatsächlich selektive Beeinträchtigungen in der Verarbeitung von Gesichtern aufzuweisen (Busigny et al., 2010; Duchaine et al., 2004; Farah et al., 1995; Henke et al., 1998; McNeil & Warrington, 1993).

Andere Daten deuten darauf hin, dass der Temporalkortex entlang der anterior-posterior-Achse hierarchisch organisiert ist und der anteriore Temporalkortex stärker als weiter posterior liegende Areale für die Verarbeitung von Objekten auf der untergeordneten Ebene relevant ist. So ist bei semantischer Demenz zum einen eine Ausbreitung der Atrophie von anterior nach posterior zu beobachten (Papagno & Capitani, 2001; Rohrer et al., 2009), zum anderen ein Verlust zunächst spezifischer, dann allgemeiner semantischer Merkmale (Bozeat et al., 2003; Hodges et al., 1995; Patterson et al., 2007; Rogers & Patterson, 2007). Diese Beobachtungen sprechen dafür, dass posteriore Areale Objekte zwar auf übergeordneter Ebene differenzieren können, der anteriore Temporalkortex aber benötigt wird, um Objekte auf untergeordneter Ebene zu kategorisieren und zu identifizieren. Funktionelle Bildgebungsstudien mit gesunden Versuchspersonen deuten in dieselbe Richtung. Tyler et al. (2004) ließen während einer ereigniskorrelierten fMRT-Untersuchung Abbildungen allgemeiner Objekte einmal auf übergeordneter Ebene (künstlich oder natürlich) und einmal auf untergeordneter Ebene (Benennen) klassifizieren. Beide Bedingungen führten in posterioren temporalen Bereichen zu Aktivierungen, der mediale ATL der linken Hemisphäre reagierte jedoch deutlich stärker auf die Benenn- als auf die Klassifikationsaufgabe. Zusätzlich konnten die Autoren feststellen, dass die Selektivität des Signals sukzessive von posterior nach anterior zunahm, indem posterior beide Bedingungen zu etwa gleich starken Aktivierungen führten und in weiter anterior liegenden Arealen das Signal der Klassifikationsaufgabe zunehmend geringer ausfiel. Diese Ergebnisse führten zu der Vermutung, dass der anteromediale (perirhinale) Temporalkortex für die genaue Differenzierung zwischen semantisch/perzeptuell ähnlichen Objekten wesentlich ist. In einer ähnlichen Studie zur Klassifikation von visuell präsentierten Objekten auf der

untergeordneten Ebene (als *Pelikan*) war im Vergleich zur Klassifikation der Objekte auf der Grundstufe (als *Vogel*) stärkere Aktivität im lateralen ATL zu finden (Gauthier et al., 1997). Diese ergab sich jedoch nicht aus dem direkten Vergleich der beiden Bedingungen, sondern erst durch die doppelte Subtraktion weiterer Bedingungen, was bewirkt, dass die Aktivierungen schwer zu interpretieren sind.

In der PET-Studie von Rogers et al. (2006) wurden während einer Kategorisierungsaufgabe von Fotografien (Tiere und Fahrzeuge) drei Hierarchiestufen kontrastiert: die untergeordnete Ebene (z. B. *Rotkehlchen*), die Grundstufe (*Vogel*) und die übergeordnete Ebene (*Tier*). Alle drei Bedingungen riefen Aktivität im posterioren ventralen Temporallappen hervor, die Verarbeitung auf der untergeordneten Ebene jedoch stärker als die Verarbeitung auf der übergeordneten Ebene und diese wiederum mehr als die Verarbeitung auf der Grundstufe. Im anterolateralen Temporalkortex führte dagegen nur die Kategorisierung der Abbildungen auf untergeordneter semantischer Ebene zu Aktivierungen. Aktivität, die von der Spezifität der Verarbeitung abhängig war, fanden auch van Dam et al. (2010). Diese zeigte sich lateral im anterioren STG der linken Hemisphäre bei der Verarbeitung spezifischer Verben (*wischen, schieben*) im Vergleich zu semantisch allgemeineren Verben (*säubern, bewegen*). Schließlich beobachteten Baron & Osherson (2011), dass sich die neuronale Repräsentation komplexer Konzepte (z. B. *Junge*) im linken ATL durch die Kombination der neuronalen Repräsentation ihrer Bestandteile (*Kind + männlich*) reproduzieren lässt. Insgesamt sind die Daten kompatibel mit der Annahme, dass mediale und laterale Bereiche des ATL an der Repräsentation von semantisch spezifischen Konzepten beteiligt sind.

2.2.3. Individuelle Konzepte

Bei besonders spezifischer Verarbeitung von Objekten erfolgt die Objekterkennung nicht nur auf kategorialer Ebene, sondern indem ganz bestimmte Individuen identifiziert werden. Diese werden sprachlich mit Hilfe von Eigennamen bezeichnet (*Goethe, Berlin, Titanic*), im Gegensatz zu Objekten auf kategorialer Ebene, auf die mittels Gattungsnamen referiert wird (*Mann, Stadt, Schiff*). Eigennamen bezeichnen häufig Personen, sind aber nicht auf diese beschränkt. Als Eigennamen gelten auch geographische Namen (Ortschaften, Länder, Landschaften, Straßen, Gewässer, Gebirge, Himmelskörper, Sternbilder), Namen von einzigartigen Objekten (Bauwerke, Schiffe, Flugzeuge), individuellen Tieren (Haustiere, Rennpferde), spezifischen Ereignissen (Kriege, Abkommen), sozialen Organisationen (Universitäten, Firmen, Hotels, Restaurants, religiöse Gruppen, Parteien, Musikgruppen) sowie Namen von Publikationen und künstle-

rischen Werken (Zeitschriften, Literatur, Musiktitel, Gemälde) (Allerton, 1987; Drosdowski, 1995; Valentine et al., 1996). In einer Fragebogenstudie mit Kindern und Erwachsenen zeigte sich, dass fünfjährige Kinder primär Personen, Tiere und deren Stellvertreter als Referenten von Eigennamen sehen, Erwachsene nannten häufiger als die Kinder auch andere der oben aufgeführten Kategorien. Beide Probandengruppe gaben jedoch an, dass vordergründig die Identifizierung eines bestimmten Einzelobjektes und die soziale/emotionale Bindung zu einem Objekt eine wesentliche Rolle dabei spielt, ob dieses einen Eigennamen erhält oder nicht (Hall et al., 2004). Jeshion (2009) argumentiert, dass grundsätzlich nur die Einzelobjekte einen Eigennamen erhalten, die für den Sprecher eine bestimmte Wichtigkeit besitzen. Eigennamen sind Zeichen für die Bedeutsamkeit des Referenten und dienen dazu, den Wert des Individuums hervorzuheben. So werden die Individuen mit Eigennamen benannt, von denen wir annehmen, dass ihre Individualität bedeutsam ist und diese Wert besitzen über ihren Wert hinaus, Instanz einer bestimmten Kategorie zu sein, z. B. andere Personen und Tiere, die für jemanden persönlich wichtig sind. Und funktionelle Bildgebungsstudien und Läsionsdaten deuten darauf hin, dass der anteriore Temporalkortex an der Verarbeitung von Konzepten, die solche Individuen repräsentieren, beteiligt ist.

2.2.3.1. Stimmenerkennung

Hirnregionen, die daran beteiligt sind, Personen an ihrer Stimme zu identifizieren, befinden sich zu großen Teilen in den superioren und anterioren Bereichen der lateralen Temporalkortizes. Der STG und Regionen entlang des STS übernehmen dabei vor allem Aspekte der akustischen Stimmenanalyse. Diese Bereiche reagieren stark auf die Präsentation menschlicher Stimmen, z. B. im Vergleich zu visuellen Stimuli oder zu bedeutungslosen akustischen Kontrollstimuli (siehe Abschnitt 2.1.4). In mehreren Studien wurde die Verarbeitung von Stimmen sprachlicher und nichtsprachlicher Natur mit der Verarbeitung bedeutungsvoller Geräusche kontrastiert (Belin et al., 2000, 2002; Fecteau et al., 2004; Leaver & Rauschecker, 2010). In allen Experimenten resultierten die Stimmen in Aktivierungen im STG mit Maxima entlang der oberen Bank des STS. Das stärkste Aktivierungscluster wurde im mittig-anterioren Bereich ($y = -14$) entlang der anterior-posterior-Achse des STS identifiziert, weitere Cluster waren anterior und posterior zum transversalen Temporalgyrus zu finden (Belin et al., 2000, 2002).

Der posteriore superiore Temporalkortex analysiert vermutlich elementare spektrotemporale Merkmale (Griffiths & Warren, 2002; Warren et al., 2005a) und reagiert stimmenunspezifisch auf akustische Stimuli. Von

Kriegstein & Giraud (2004) fanden neuronale Aktivität im posterioren STS ($y \approx -40$) nicht nur bei der Analyse von Sprechermerkmalen, sondern etwas schwächer auch dann, wenn die Aufmerksamkeit der Probanden auf den linguistischen Inhalt der Äußerungen gerichtet war oder akustisch komplexe Kontrollstimuli verarbeitet wurden. Die Aktivität in dieser Region steigt jedoch deutlicher an, wenn mehrere unterschiedliche Stimmen präsentiert werden als bei wiederkehrender Präsentation einer Stimme (Warren et al., 2006). Da dies unabhängig von der Menge an spektrot temporalen Details festzustellen war, könnte der posteriore Temporalkortex daran beteiligt sein, deutliche Unterschiede in der akustischen Struktur zu nutzen, um Stimmen zu differenzieren. Funktionell wird vermutet, dass bereits die elementare Verarbeitung akustischer Merkmale wie Tonhöhe hinreichend ist, um z. B. die Größe und das Geschlecht von Sprechern zu bestimmen (Hailstone et al., 2010). Dagegen scheinen anterior dazu liegende Areale detailliertere Analysen der spektralen Struktur von Stimmen vorzunehmen und über Unterschiede in der spektrot temporalen Feinstruktur zu abstrahieren. Diese Areale reagierten unabhängig davon, ob mehrfach dieselben oder unterschiedliche Stimmen präsentiert wurden, aber besonders stark, wenn die Stimuli mehr spektrot temporale Details enthielten. Da diese Details die Voraussetzung für eine Sprecheridentifikation darstellen, könnten Areale im zentralen STS ($y \approx -20$) noch stärker dafür verantwortlich sein, dass zwischen verschiedenen Stimmen differenziert werden kann und verschiedene Varianten einer Stimme als identisch wahrgenommen werden (Hailstone et al., 2010; Zatorre et al., 2004). In Übereinstimmung mit dieser Vermutung zeigte sich beim Vergleich einer Kurzzeitgedächtnisaufgabe zum Wiedererkennen von Stimmen oder Wortformen während der Testphase, nicht aber während der Erstpräsentation oder der Verzögerungsphase, stärkere Aktivität in dieser Region bei der Stimmenbedingung als bei der Wortbedingung (Relander & Rämä, 2009).

Meist wird jedoch der anteriore Temporalkortex als die wesentliche stimmenverarbeitende Region angesehen. Belin et al. (2002) beobachteten, dass die Präsentation nichtsprachlicher Vokalisationen (wie Lachen, Seufzen, Husten) ausschließlich im rechten anterioren STG ($y \geq -1$) zu einer signifikant stärkeren Aktivierung führte als akustisch komplexe Kontrollstimuli. Mehrere Studien nutzten während der Experimental- und der Kontrollaufgabe dasselbe Stimulusmaterial, um die Anforderungen an die akustische Verarbeitung identisch zu halten. Auf diese Weise identifizierten Imaizumi et al. (1997) in beiden Temporalpolen ($y \geq -1$) stärkere Aktivität durch die Aufgabe der Sprecherdetektion als durch die Bestimmung der Emotion anhand prosodischer Informationen. Rämä et al. (2004) kontrastierten das Diskriminieren von unbekanntem Stimmen mit

dem Diskriminieren des Präsentationsortes und fanden im ATL eine Tendenz zur stärkeren Aktivierung bei der Stimmendiskriminierungsaufgabe. In anderen Studien wurde die Verarbeitung der Stimme mit der Verarbeitung der im Signal ebenfalls vorhandenen linguistischen Informationen verglichen. Bei Nakamura et al. (2001) resultierte die Aufgabe der Sprecherdetektion im rechten Temporalpol in einer stärkeren Aktivierung als die Phonemdetektionsaufgabe, ähnlich erzeugte bei Stevens (2004) die Differenzierung von unbekanntem Stimmen im mittig-anterioren STG der linken Hemisphäre ein stärkeres Signal als das Diskriminieren von Reimwörtern ($y = -1$). von Kriegstein et al. (2003) präsentierten in einer fMRT-Studie Sätze, die von unbekanntem Sprechern gesprochen wurden. Die Kontrastierung der Sprecher- mit einer Satzdetektionsaufgabe führte im Temporallappen ausschließlich zu einer Aktivierung des rechten anterioren STG ($y = 12$). In einer Nachfolgestudie (von Kriegstein & Giraud, 2004) wurden die Sätze von bekannten und unbekanntem Personen gesprochen. Der rechte anteriore STS ($y = 0$) war erneut dann stärker aktiviert, wenn Probanden ihre Aufmerksamkeit auf die Identität der Sprecher richteten, als wenn sie auf den Inhalt der von unbekanntem Sprechern gesprochenen Äußerungen achteten. Bekannte Stimmen führten jedoch auch dann zu einem starken Signal, wenn der Satzinhalt analysiert wurde. Noch weiter anterior ($y = 18$) reagierte der rechte ATL jedoch nur dann auf die Präsentation von Stimmen, wenn die Aufmerksamkeit der Probanden auf den Sprechermerkmalen lag, aber nicht, wenn die verbalen Informationen fokussiert wurden. Mittels eines fMRT-Adaptationsparadigmas, das das inverse Design zu den zuletzt genannten Studien darstellt und in dem die Aktivierung durch die gleiche Silbe gesprochen von mehreren Sprechern mit der Aktivierung durch verschiedene Silben gesprochen von einem Sprecher kontrastiert wurde, identifizierten Belin & Zatorre (2003) wiederum stimmenspezifische Aktivität im rechten anterioren STG nahe des STS bei der Präsentation verschiedener Sprecher ($y = 2$). Der rechte anteriore Temporalkortex scheint somit eine besonders wichtige Funktion bei der Sprecheridentifikation anhand der Stimme zu besitzen.

Wenn jedoch die Funktion des rechten ATL darin besteht, bekannte Stimmen zu repräsentieren, dann sollte sich in diesen Arealen ein Unterschied in der Verarbeitung von bekannten und unbekanntem Stimmen zeigen. Bisher existieren jedoch nur wenige Studien, die diesen Unterschied untersucht haben und auch Aktivierungen im Temporalkortex fanden. In der Studie von Shah et al. (2001) zeigte sich nur außerhalb der Temporallappen ein stärkeres Signal für die bekannten Stimmen (im retrosplenialen Kortex), von Kriegstein & Giraud (2004) fanden bilateral im mittig-posterioren STG/STS einen Aktivierungsvorteil für die unbekannt-

ten Stimmen, von Kriegstein et al. (2005) großflächig vor allem in ventralen temporalen Bereichen einen Vorteil für die bekannten Stimmen. Birkett et al. (2007) beobachteten eine stärkere Aktivierung für bekannte Stimmen im mittig-anteriore MTG der linken Hemisphäre. In der Studie von Nakamura et al. (2001) schließlich wurden bekannte und unbekannte Stimmen zwar nicht direkt kontrastiert, im rechten Temporalpol resultierte jedoch die Aufgabe zum Familiaritätsentscheiden von Stimmen in stärkerer Aktivität als eine linguistische Aufgabe zu ausschließlich von unbekanntem Sprechern produzierten Sätzen und die Signalintensität in dieser Region korrelierte positiv mit der Anzahl der identifizierten Sprecher. Die Variabilität der Ergebnisse lässt jedoch keine klaren Rückschlüsse über mögliche Areale in den Temporallappen zu, die spezifisch an der Identifizierung bekannter Stimmen beteiligt sind.

2.2.3.2. Gesichtererkennung

Zwei Areale, die wesentlich daran beteiligt sind, Personen an ihres Gesichts zu identifizieren, befinden sich im okzipitotemporalen Kortex und reagieren deutlich stärker auf die Präsentation von Gesichtern als auf andere visuelle Stimuli. Bei einem der Areale handelt es sich um das FFA im zentralen Fusiformgyrus, bei dem anderen um das okzipitale Gesichtsareal (OFA, *occipital face area*) im lateralen Okzipitalkortex (Halgren et al., 1999; Haxby et al., 1999; Rossion et al., 2000). Vom OFA wird angenommen, dass es an der perzeptuellen Analyse von Gesichtsmerkmalen beteiligt ist. Bezüglich des FFA wird dagegen vermutet, dass es stärker zwischen individuellen Gesichtern differenziert und damit zur Gesichtererkennung beiträgt (Gobbini & Haxby, 2007; Haxby et al., 2000). So führten Aufgaben zum Differenzieren zwischen unbekanntem männlichen und weiblichen Gesichtern zu Aktivierungen im OFA, das Identifizieren bekannter Personen anhand ihrer Gesichter rief zusätzlich Aktivierungen im FFA hervor (Sergent et al., 1992). Wurden statt derselben Gesichter mehrere Gesichter mit innerkategoriellen perzeptuellen Unterschieden präsentiert, zeigte sich eine Signaländerung im OFA. Jedoch erst bei Wechsel der Identität stieg auch das Signal im FFA an (Fox et al., 2009; Rotshtein et al., 2005). Dennoch resultiert die Verarbeitung bekannter Gesichter im Vergleich zu unbekanntem Gesichtern nicht zuverlässig in einer stärkeren Aktivierung des FFA (Gobbini & Haxby, 2007). Der Einfluss der Bekanntheit scheint jedoch im fusiformen Gyrus nach anterior hin zuzunehmen (Bar et al., 2001; George et al., 1999; Pourtois et al., 2005).

Eine Hirnregion, die sehr zuverlässig auf die Präsentation bekannter Gesichter reagiert, ist der anteriore Temporalkortex. Dieser ist stärker aktiviert, wenn Gesichter berühmter Personen wahrgenommen werden statt

zerhackter Abbildungen (Gorno-Tempini et al., 1998; Ishai et al., 2002) oder Abbildungen von Tieren und anderen Objekten (Gorno-Tempini et al., 2000; Grabowski et al., 2001; Simons et al., 2001). Wiederholt ließ sich feststellen, dass Bereiche im ATL auch dann ein stärkeres Signal zeigen, wenn Gesichter bekannter Personen verarbeitet werden als wenn diese unbekannte Personen abbilden (Damasio et al., 1996; Gorno-Tempini et al., 1998; Gorno-Tempini & Price, 2001; Leveroni et al., 2000; Nakamura et al., 2000; Pourtois et al., 2005; Sergent et al., 1992). Die Aktivierungsspeaks in diesen Studien variieren zwischen dem temporopolareren Kortex, lateralen Bereichen des MTG und ventromedialen Strukturen. Meist wurden Aktivierungen in mehreren dieser Regionen beschrieben. Leveroni et al. (2000) konnten zusätzlich beobachten, dass diese Areale auch im Vergleich zu neu erlernten Gesichtern bei bekannten Personen stärker aktiviert sind. Doch bereits wenige semantische Informationen zu unbekanntem oder neu gelernten Gesichtern genügen, um ein stärkeres Signal im ATL zu erzeugen als Gesichter ohne zusätzliche Informationen (Cloutier et al., 2011; Todorov et al., 2007). Auch Identifikationsaufgaben mit bekannten und unbekanntem Gesichtern führen zu stärkerer Aktivität dieser Areale als perzeptuelle Aufgaben mit ausschließlich unbekanntem Gesichtern (Nakamura et al., 2000; Sugiura et al., 2001). Rotshtein et al. (2005) identifizierten weiterhin eine positive Korrelation zwischen der Signalintensität im ATL und der Bekanntheit der Probanden mit den abgebildeten Personen. Dementsprechend war in der Studie von Sugiura et al. (2011) das im ATL von persönlich bekannten Gesichtern ausgelöste Signal stärker als die Aktivität, die durch Gesichter berühmter Personen hervorgerufen wurde. Einige Effekte wurden gleichermaßen mit bekannten und unbekanntem Gesichtern beobachtet, so dass visuelle Verarbeitungsprozesse bei den Aktivierungen im anterioren Temporalkortex zusätzlich eine Rolle zu spielen scheinen. In zwei Studien wurde aus zwei Gesichtern ein Morphkontinuum generiert. Die Präsentation von zwei Varianten aus diesen Reihen führte nur dann zu Aktivität im ATL, wenn diese die Kategoriegrenze übersprangen, also zwei verschiedene Personen abgebildet waren. Rotshtein et al. (2005) zeigten dies für bekannte, Ramon et al. (2010) für unbekanntem Gesichter.

Störungen der Gesichterverarbeitung waren ebenfalls nach Läsionen der anterioren Temporallappen zu beobachten und ließen sich meist auf gestörte interne Repräsentationen von Gesichtern zurückführen anstatt auf eine gestörte Perzeption (Damasio et al., 1990; Barton & Cherkasova, 2003). Vor allem Personen mit rechtshemisphärischen Läsionen des anterotemporalen Kortex zeigten Defizite der Gesichterverarbeitung, die das Wiedererkennen von Gesichtern, das Identifizieren von Personen an-

hand ihres Gesichts und das Lernen neuer Gesichter betrafen, z. B. nach Resektion dieser Region aufgrund von Temporallappenepilepsie (Glosser et al., 2003; Seidenberg et al., 2002; Tippett et al., 2000) oder bei Atrophie (Evans et al., 1995; Gainotti et al., 2003, 2010; Gentileschi et al., 1999). Daher wird vermutet, dass der ATL nicht wie die Areale im okzipitotemporalen Kortex in die perzeptuelle Gesichteranalyse involviert ist, sondern bekannte Gesichter repräsentiert und diese Repräsentationen mit biographischen Informationen zu den entsprechenden Personen verknüpft (Fox et al., 2008; Gobbini & Haxby, 2007; Haxby et al., 2000).

2.2.3.3. Personenidentifikation

Patientenstudien Neben modalitätsspezifischen Störungen der Personenidentifikation (z. B. anhand des Gesichts) existieren auch supramodale Defizite der Verarbeitung von Informationen über Personen. Diese supramodalen Störungen äußern sich primär in zwei Erscheinungsformen. Bei einer Form besteht eine Zugriffsstörung auf die Namen identifizierter Personen, zu denen biographische Details angegeben werden können, was darauf schließen lässt, dass die semantische Verarbeitung der biographischen Charakteristika intakt ist. Auch werden rezeptive Tests weitgehend fehlerfrei absolviert und das Abrufproblem von Namen besteht nicht nur beim Benennen von Bildern, sondern auch nach Umschreibung oder in der Spontansprache (Carney & Temple, 1993; Fery et al., 1995; Harris & Kay, 1995; Hittmair-Delazer et al., 1994; Lucchelli & De Renzi, 1992; McKenna & Warrington, 1980; Otsuka et al., 2005; Papagno & Capitani, 1998; Pavão Martins & Farrajota, 2007; Reinkemeier et al., 1997; Shallice & Kartsounis, 1993). Zwei solche Patienten wurden von Semenza & Zettin (1988, 1989) beschrieben. Die Patienten konnten Objekte ohne Schwierigkeiten benennen, nicht aber berühmte Persönlichkeiten und nahe Bekannte. Das Verständnis für die Personen und deren Namen war dagegen erhalten. Desweiteren konnten die Patienten biographische Informationen über die Personen angeben, die sie nicht benennen konnten. Bei der zweiten Form supramodaler Personenidentifikationsstörungen lassen sich dagegen semantische Defizite als Ursache für die Probleme beim Benennen von Personen identifizieren, indem zusätzlich zu den sprachproduktiven Defiziten multimodal rezeptive Probleme im Erkennen von Personen bestehen und die Patienten nicht in der Lage sind, detaillierte biographische Informationen zu den Personen abzurufen (Busigny et al., 2009; Ellis et al., 1989; Gentileschi et al., 2001; Giovanello et al., 2003; Hanley et al., 1989; Joubert et al., 2006; Miceli et al., 2000; Miller et al., 2001; Neuner & Schweinberger, 2000; Thompson et al., 2004). Eine von Gainotti et al. (2008) beschriebene Patientin zeigte dementsprechend nicht nur De-

fizite der Personenidentifikation beim Benennen von Gesichtern, sondern auch dann, wenn Personen mit biographischen Angaben beschrieben oder deren Stimmen präsentiert wurden. Zusätzlich lag eine Beeinträchtigung darin vor, biographische Merkmale von bekannten Personen anzugeben.

Charakteristisch für die bisher genannten Fälle ist eine deutlich besser erhaltene Verarbeitung von kategoriellen Konzepten wie Tieren, Pflanzen oder Gegenständen gegenüber der Verarbeitung von Personen. Das umgekehrte Muster der erhaltenen Personenverarbeitung bei gestörter Verarbeitung von Objekten auf kategorieller Ebene wurde auch beschrieben. Insbesondere bei schwer betroffenen aphasischen Patienten ist bisweilen festzustellen, dass diese trotz ihrer Aphasie Personennamen verhältnismäßig gut verstehen (Saffran et al., 1976; Van Lancker & Klein, 1990; Warrington & McCarthy, 1987). In einer Gruppenstudie mit 20 Patienten konnten Yasuda & Ono (1998) beobachten, dass Globalaphasiker beim Wort-Bild-Zuordnen einen Vorteil in der rezeptiven Verarbeitung von Personennamen im Vergleich zu anderen Nomen zeigen, nicht jedoch Patienten mit Broca- oder Wernicke-Aphasie. Aber auch die Produktion von Personennamen kann bei ansonsten von Aphasie betroffenen Patienten besser erhalten sein als die Produktion von Gattungsnamen. So zeigte die von einer progressiven Aphasie betroffene Patientin MED eine zunehmend schlechtere Sprachverarbeitung bei konstanter Fähigkeit, Personennamen zu verstehen (McNeil et al., 1994) oder schriftlich zu produzieren (Cipolotti et al., 1993). Analog zu den zuvor aufgeführten Defiziten der Personenverarbeitung kann sich auch die aphasische Störung bei erhaltener Verarbeitung von Informationen über Personen als semantisches Defizit äußern (Kay & Hanley, 2002; Lyons et al., 2002, 2006; Thompson et al., 2004) oder in Form lexikalisch basierter Wortfindungsstörungen (Pavão Martins & Farrajota, 2007; Schmidt & Buchanan, 2004; Semenza & Sgaramella, 1993). Diese Beobachtungen der besseren Leistungen mit Personen- als mit Gattungsnamen wurden damit erklärt, dass die Verarbeitung von Stimuli mit persönlicher Relevanz für den Betroffenen wie persönlich bekannte Personen durch rechtshemisphärische Areale Unterstützung erfährt, was bei emotional neutralen Konzepten nicht der Fall ist. Diese werden primär in der linken Hirnhälfte verarbeitet, die aber bei Globalaphasikern massiv geschädigt ist (Ohnesorge & Van Lancker, 2001; Van Lancker, 1991).

Die neuronalen Strukturen zu identifizieren, die für die Verarbeitung von Informationen über Personen relevant sind, ist anhand der existierenden Läsionsdaten äußerst schwierig (Semenza et al., 1995; Yasuda et al., 2000). Die Läsionsorte sind sehr variabel oder liegen trotz unterschiedlicher Defizite in denselben Hirnstrukturen. Semenza (2006, 2009)

kommt in seiner Zusammenschau der Daten zu folgenden Schlüssen: (a) Abrufstörungen von Personennamen treten häufig bei Läsionen des linken Temporallappens auf (Harris & Kay, 1995; Papagno & Capitani, 1998), (b) die Läsion einiger Patienten mit diesem Defizit liegt dagegen eindeutig außerhalb der Temporallappen (Lucchelli & De Renzi, 1992; Semenza & Zettin, 1988), (c) auch bei Patienten mit selektiv erhaltener Personenverarbeitung ist oftmals der linke Temporalkortex geschädigt (McNeil et al., 1994; Thompson et al., 2004). Pavão Martins & Farrajota (2007) verglichen den Wortabruf von Personen- und Gattungsnamen bei zwei Patienten. Bei beiden war der Temporalkortex geschädigt, obwohl ein Patient Wortfindungsstörungen für Personennamen aufwies, der andere Patient für Gattungsnamen. Die Läsionen beider Patienten waren jedoch nicht deckungsgleich. Der Patient mit Störung der Personennamen wies eine Läsion des ventralen okzipitotemporalen Kortex auf, bei dem Patienten, der bessere Leistungen im Abruf von Personennamen zeigte, befand sich die Läsion dagegen im temporopolen Kortex der linken Hemisphäre. Folglich in exakt der Hirnregion, die als wesentlich für den Abruf von Personennamen erachtet wird (Damasio et al., 2004; Tranel, 2009). Trotz vieler widersprüchlicher Resultate liegt dennoch bei einer beachtlichen Anzahl von Patienten eine Läsion des anterioren Temporalkortex vor, wenn Defizite der Verarbeitung von Personen bestehen, häufig bei Atrophie dieser Struktur (Barbarotto et al., 1995; Evans et al., 1995; Gainotti et al., 2003; Gentileschi et al., 2001; Gorno-Tempini et al., 2004b; Joubert et al., 2004a, 2006; Papagno & Capitani, 1998; Thompson et al., 2004) oder nach Resektion (Bi et al., 2011; Drane et al., 2008; Ellis et al., 1989; Fukatsu et al., 1999; Glosser et al., 2003; Kurimoto et al., 2010; Seidenberg et al., 2002; Tsukiura et al., 2002). Andere Läsions-Defizit-Korrelationsstudien, die zum Teil auch die Daten von Schlaganfallpatienten einschlossen, identifizierten ebenfalls einen Zusammenhang zwischen Läsionen des anterioren Temporalkortex und Defiziten der semantischen Verarbeitung von Personen oder dem Namensabruf (Damasio et al., 1996, 2004; Rudrauf et al., 2008). Zusätzlich sind bei Atrophie in der Mehrzahl der Fälle semantisch basierte Defizite zu beobachten, bei Resektion dagegen Wortabrufdefizite. Dies könnte mit der Bi- oder Unilateralität der Läsionen zu tun haben oder damit, dass epileptische Prozesse, die den Resektionen vorausgingen, eine neuronale Umstrukturierung bewirkt haben (Powell et al., 2007; Yucus & Tranel, 2007) und die Resektionen daher zu leichteren Defiziten führen als der fortschreitende Verlust neuronaler Substanz (Lambon Ralph et al., 2007).

Aktivierungsstudien Weitere Hinweise auf die Beteiligung der anterioren Temporalkortizes an Aspekten der supramodalen Personeniden-

tifikation liefern funktionelle Bildgebungsstudien. Im Abschnitt 2.2.3.2 ist aufgeführt, dass der anteriore Temporalkortex stärker in die Verarbeitung menschlicher Gesichter involviert ist als in die Verarbeitung anderer visuell wahrgenommener Objekte (Damasio et al., 2004; Gorno-Tempini et al., 2000). Zusätzlich wird vermutet, dass diese Verarbeitung nicht auf rein perzeptuellen Prozessen basiert, sondern der Integration diverser Informationen über Personen dient, wie der Assoziation von Gesicht und biographischer Informationen (Gobbini & Haxby, 2007; Haxby et al., 2000). Dementsprechend konnte mehrfach beobachtet werden, dass, wenn Probanden kurz zuvor biographische Informationen und den Namen zu unbekanntem Gesichtern gelernt haben, der Abruf dieser Informationen Aktivität in den anterioren Temporalkortizes auslöst (Tsukiura et al., 2002, 2006, 2010). Darüber hinaus wird angenommen, dass die Verarbeitung dieser personenspezifischen semantischen Informationen im ATL supramodal erfolgt und nicht auf die visuelle Modalität der Gesichter beschränkt ist (Fox et al., 2008; Gobbini & Haxby, 2007). Einen ersten Hinweis darauf liefern die Studien im Abschnitt 2.2.3.1, die gezeigt haben, dass die Verarbeitung menschlicher Stimmen ebenfalls auf neuronalen Strukturen im ATL basiert (Belin & Zatorre, 2003; von Kriegstein et al., 2003). Dennoch konnten Shah et al. (2001) in ihrer fMRT-Studie keine gemeinsame Aktivierungsregion innerhalb der Temporallappen für bekannte Gesichter und Stimmen, verglichen mit entsprechenden unbekanntem Stimuli, feststellen. Zwei analog gestaltete Experimente mit entweder Gesichtern oder Stimmen fanden dagegen in beiden Modalitäten Aktivität im anterioren Temporalkortex (Temporalpol und Amygdala rechts) bei der Aufgabe zum Familiaritätsentscheiden im Vergleich zu Kontrollaufgaben mit unbekanntem Gesichtern oder Stimmen (Nakamura et al., 2001; Sugiura et al., 2001). Aktivierungen im ATL wurden auch dann hervorgerufen, wenn Probanden die Namen bekannter Personen verarbeiteten (Gorno-Tempini et al., 1998; Sergent et al., 1994) und zwar unabhängig davon, ob es sich um persönlich bekannte oder berühmte Personen handelte (Sugiura et al., 2006, 2009).

Damasio et al. (2004) vermuteten auf der Basis von Läsionsdaten von Patienten und PET-Untersuchungen an gesunden Probanden eine besondere Relevanz des linken Temporalpols beim lexikalischen Abruf von Personennamen und eine Beteiligung des rechten Temporalpols an der Repräsentation semantischer Informationen über Personen oder am Zugriff auf dieses Wissen. Um weiterhin zu untersuchen, ob die Aktivierungen in den anterioren Temporallappen durch semantische oder lexikalische Verarbeitungsprozesse hervorgerufen werden, präsentierten Brambati et al. (2010) in einer fMRT-Studie die Gesichter berühmter Persönlichkeiten

(z. B. George W. Bush) zusammen mit Informationen zu ihrem Beruf. Der Beruf wurde entweder allgemein angegeben (Politiker) oder spezifisch (Präsident). Die Aufgabe der Probanden bestand darin zu beurteilen, ob der Beruf auf die abgebildete Person zutrifft. Der Abruf des Namens wurde nicht explizit gefordert, so dass die Anforderung an lexikalische Prozesse in beiden Bedingungen identisch war. Beide Bedingungen resultierten in bilateralen Aktivierungen des anterioren MTG, der Abgleich der spezifischen Berufsbezeichnungen mit den Gesichtern jedoch in deutlich stärkerer Aktivität als die allgemeineren Angaben zum Beruf. Daraus schlussfolgerten die Autoren, dass die anterioren Temporalkortizes beider Hemisphären in erster Linie semantische Prozesse bei der Verarbeitung von Personen übernehmen.

2.2.3.4. Individuen allgemein

Ergebnisse aus funktionellen Bildgebungsstudien sprechen zusätzlich dafür, dass der ATL nicht nur an der Verarbeitung von Informationen über Personen beteiligt sind, sondern dass dort generell Objekte als Individuen identifiziert werden (siehe jedoch Simmons et al. (2010) für selektive Aktivität durch Personennamen, nicht aber durch Hämmer oder Gebäude, die als individuelle Objekte präsentiert wurden). Sahen Probanden berühmte Personen und Bauwerke/Plätze im Vergleich zu entsprechenden unbekanntem Abbildungen, zeigte sich der anteriore Temporalkortex aktiviert. Nakamura et al. (2000) ließen die Probanden die Familiarität der Stimuli beurteilen und lokalisierten den Aktivierungsspeak im rechten Temporalpol, Grabowski et al. (2001) fanden im Zusammenhang mit einer overt Benennaufgabe Aktivität bilateral im Temporalpol. Gorno-Tempini & Price (2001) nutzen eine Aufgabe zum visuellen Diskriminieren paarweise dargebotener Abbildungen und identifizierten den Aktivierungsspeak im anterioren MTG der linken Hemisphäre. In zwei der Studien wurde die Aktivität auf die Präsentation der Bauwerke getrennt von den Gesichtern ausgewertet. Der Vergleich bekannter und unbekannter Bauwerke resultierte in beiden Fällen in temporopolarer Aktivität, bei Grabowski et al. (2001) linkshemisphärisch, bei Nakamura et al. (2000) in der rechten Hirnhälfte. Aufgrund dieser Daten wurde argumentiert, dass der (linke) ATL für den Abruf von Eigennamen sämtlicher semantischer Kategorien wesentlich ist (Damasio et al., 2004; Tranel, 2009). Zu dieser Annahme passt die Beobachtung, dass die Identifikation von individuellen persönlichen Objekten, die man normalerweise nicht mit Eigennamen bezeichnet (die eigene Aktentasche, der eigene Arbeitsplatz), zu keiner spezifischen Aktivität des ATL im Vergleich zu unbekanntem Objekten und Plätzen führte (Sugiura et al., 2005).

Ist der temporopolare Kortex wesentlich für die Verarbeitung von Objekten auf Individuenebene, dann sollten Patienten, die Defizite der Personenverarbeitung aufgrund von Läsionen des ATL zeigen, auch darin gestört sein, andere individuelle Konzepte wie geographische Objekte (z. B. Städte, Flüsse oder Bauwerke), berühmte Tiere und Zeichentrickfiguren oder künstlerische Werke zu verarbeiten. Beobachtet werden konnte, dass bei einigen Patienten mit gestörter Verarbeitung von Personen, wenn auch andere Eigennamen getestet wurden, ausschließlich ein Defizit der Kategorie Personen vorlag. Dies zeigten Carney & Temple (1993) für einen Patienten mit nicht näher definierten multiplen Läsionen, Fery et al. (1995) bei links zerebraler Läsion und Läsion der linken Capsula interna, Lucchelli & De Renzi (1992) bei Läsion des linken Capsula interna und des Thalamus, Pavão Martins & Farrajota (2007) bei Läsion des linken ventralen okzipitotemporalen Kortex, Shallice & Kartsounis (1993) bei Läsion des linken medialen Temporalkortex, Miceli et al. (2000) bei linkshemisphärischer Läsion des zentralen und posterioren Bereichs des MTG, ITG und Fusiformgyrus, McKenna & Warrington (1980) bei links posteriorer Läsion, Gainotti et al. (2003) bei Läsion des rechten ATL und Saetti et al. (1999) für einen Patienten mit links frontotemporaler Läsion ohne Beteiligung des ATL und eine weitere Patientin mit ebenfalls links frontotemporaler Läsion mit Beteiligung des ATL. Isolierte Störungen der Personenverarbeitung sind somit eher seltener nach Läsionen des anterioren Temporalkortex anzutreffen. Bei Patienten, bei denen eine Störung auch anderer individueller Konzepte vorlag, ließen sich die Läsionen dagegen oftmals im (rechten) ATL lokalisieren (Barbarotto et al., 1995; Busigny et al., 2009; Ellis et al., 1989; Gainotti et al., 2008; Gentileschi et al., 2001; Giovanello et al., 2003; Gorno-Tempini et al., 2004b; Papagno & Capitani, 1998). Außer bei der Patientin von Ellis et al. (1989) resultierten die Hirnläsionen bei all diesen Patienten aus atrophischen Veränderungen. Weitere Läsionsorte bei suprakategorieller Störung individueller Konzepte befanden sich im linken STG (Otsuka et al., 2005) oder ohne genaue Spezifikation links temporal (Harris & Kay, 1995), links parieto-okzipital (Semenza & Zettin, 1988) oder links fronto-temporal (Semenza & Zettin, 1989).

2.2.4. Autobiographisches Gedächtnis

Weitere Daten lassen vermuten, dass der anteriore Temporalkortex in autobiographische Gedächtnisprozesse involviert ist und dies der Grund dafür sein könnte, weshalb Informationen über Personen in dieser Hirnregion verarbeitet werden. Das Wissen über andere Menschen besteht neben semantischem Wissen zu großen Teilen auch aus öffentlich bekanntem

Ereigniswissen und autobiographischem Fakten- und Ereigniswissen (Maguire et al., 2000). Semantisches Wissen beinhaltet Erfahrungen, Weltwissen, Konzepte oder Fakten, die abstrakt und ohne kontextuellen Bezug gespeichert sind. Episodisches Ereigniswissen besitzt dagegen neben der eigentlichen Information einen Kontextbezug, indem das Wissen zusammen mit Informationen über Ort und Zeit des Erwerbs repräsentiert ist. Bei autobiographischem Wissen besteht zusätzlich ein Zusammenhang des Fakten- oder Ereigniswissens mit dem eigenen Leben (Cabeza & St Jacques, 2007; Moscovitch et al., 2005). Im Zusammenhang mit Bildgebungsstudien ist zu beobachten, dass der Abruf autobiographischen Wissens neben anderen Hirnregionen Aktivität im medialen Temporallappen auslöst, vor allem im Hippocampus (Cabeza & St Jacques, 2007; Maguire, 2001; Moscovitch et al., 2005; Svoboda et al., 2006). Darüber hinaus kommt es in vielen Studien jedoch auch zur Aktivierung des temporopolareren Kortex und des lateralen ATL (Gilboa et al., 2004; Maguire, 2001; Piolino et al., 2004; Rekkas & Constable, 2005; Steinvorth et al., 2006; Svoboda et al., 2006). Dies könnte bedeuten, dass die im ATL stattfindenden Verarbeitungsprozesse von Informationen über Personen auf den Abruf autobiographischen Wissens zurückzuführen sind und dieser nicht, wie mehrfach angenommen wurde, semantische Merkmale verarbeitet (Lambon Ralph & Patterson, 2008; Patterson et al., 2007). Weitere Aktivierungsstudien, die direkt autobiographisches und semantisches Wissen kontrastiert haben, deuten in dieselbe Richtung. In Übereinstimmung mit den Patientendaten erzeugte der Abruf autobiographischen Wissens im medialen Temporallappen ein stärkeres Signal als der Abruf semantischen Wissens (Denkova et al., 2006; Hassabis et al., 2007; Maguire & Frith, 2003). Der laterale ATL zeigte zwar bisweilen ein stärkeres Signal durch den Abruf semantischen Wissens (Burianova & Grady, 2007; Maguire et al., 2000), in anderen Studien jedoch genauso wie der mediale Temporallappen eine größere Signalintensität bei der Verarbeitung autobiographischer Informationen (Graham et al., 2003b; Hassabis et al., 2007).

Andere Autoren argumentieren jedoch für eine neuronale getrennte Repräsentation der verschiedenen Arten von Wissen, die auf der autobiographischen Signifikanz einer Information basiert. Besitzt eine Information eine deutliche persönliche Relevanz, ist diese tendenziell stärker in medialen temporalen Hirnstrukturen repräsentiert, dominieren semantische Merkmale, kommt es eher zu einer Repräsentation der Information in lateralen Bereichen (Miller et al., 2001; Westmacott & Moscovitch, 2003; Westmacott et al., 2004). Patientenstudien entsprechen diesen Annahmen weitgehend und weisen auf eine neuronale Trennung von semantischem und autobiographischem Wissen hin. So wurden Patienten beschrieben,

deren semantisches Wissen deutlich besser erhalten war als das autobiographische Wissen, indem Wissen über berühmte Personen zuverlässiger abgerufen werden konnte als Wissen über persönlich bekannte Personen (Hodges & McCarthy, 1993; Kitchener et al., 1998; Steinvorth et al., 2005). Die Hirnläsionen der Patienten bestanden bei Hodges & McCarthy (1993) im dorsomedialen Thalamus, bei den beiden anderen Studien bilateral im medialen Temporalkortex inklusive beider Hippocampi. Bei anderen Patienten konnte dagegen autobiographisches Wissen besser abgerufen werden als semantisches Wissen (Joubert et al., 2004b; Kitchener & Hodges, 1999; Markowitsch et al., 1999). Bei diesen Patienten lagen Läsionen des anterioren Temporalkortex vor. Dennoch zeigen Patienten mit semantischer Demenz neben semantischen Defiziten auch Probleme im Abruf autobiographischer Informationen (Graham et al., 2003a; Hou et al., 2005; Snowden et al., 1996). Da jedoch ein Zusammenhang mit dem Schweregrad der Erkrankung zu beobachten ist (Ivanou et al., 2006; Maguire et al., 2010; Matuszewski et al., 2009), könnte dies mit der Ausbreitung der Atrophie des ATL in den medialen Temporallappen zusammenhängen.

2.2.5. Sprachverarbeitung

2.2.5.1. Sprachverständnis

Auch wenn im Sprachsignal Informationen über den Sprecher kodiert sind, dient gesprochene Sprache in erster Linie der Mitteilung von Gedanken. An der akustischen Analyse von Sprache sind sowohl die transversalen temporalen Gyri als auch adjazente Areale des STG beteiligt (Abschnitt 2.1.4). Für die phonetische Analyse und die Identifikation von Phonemen sind wahrscheinlich Areale entlang des superioren Temporalsulcus wesentlich, da diese stärker auf Sprachmaterial als auf andere akustische Stimuli reagieren (Binder et al., 2000; Vouloumanos et al., 2001). Es ist jedoch ungeklärt, in welchem Abschnitt des STS eine zur Phonemidentifikation führende Abstraktion des akustischen Signals erfolgt (Hickok & Poeppel, 2004, 2007; Scott & Johnsrude, 2003; Scott & Wise, 2004). Um diese Frage zu klären, wurde versucht, die Bereiche des STS zu identifizieren, die stärker auf gesprochene Sprache reagieren als auf nichtsprachliche Stimuli mit ähnlicher akustischer Struktur. Diesbezüglich ließ sich beobachten, dass die Lokalisation zwischen anterioren (Liebenthal et al., 2005; Obleser et al., 2006), zentralen (Rimol et al., 2005; Zaehle et al., 2008) und posterioren (Möttönen et al., 2006; Desai et al., 2008) Bereichen variierte. Weiterhin wurde argumentiert, dass eine Abhängigkeit des Aktivierungssignals von der phonetischen Verständlichkeit die Areale der

Phonemidentifikation aufzeigen könnte. Doch auch hier führte der Vergleich von bedeutungshaltigem, phonetisch verständlichem Material im Vergleich zu nicht verständlichen Stimuli zu Aktivierungen sowohl im anterioren als auch im posterioren STS (Crinion et al., 2003; Davis & Johnsrude, 2003; Narain et al., 2003; Okada et al., 2010; Scott et al., 2000, 2006). Schließlich wurden Studien zur kategoriellen Wahrnehmung von Sprachlauten herangezogen, um die Bereiche aufzudecken, in denen interkategorielle Unterschiede (*ga* vs. *da*) ein stärkeres Signal erzeugen als intrakategorielle Unterschiede (zwei Versionen der Silbe *ga*). Dieses Aktivierungsmuster zeigte sich bei Jacquemot et al. (2003) im zentralen dorsalen Bereich des STG und bei Joannis et al. (2007) im zentralen Bereich des STS. In vielen Untersuchungen war es jedoch eher Aktivität im Supramarginalgyrus (Celsis et al., 1999; Jacquemot et al., 2003; Dehaene-Lambertz et al., 2005; Raizada & Poldrack, 2007) oder im Frontallappen (Raizada & Poldrack, 2007; Myers et al., 2009), die die kategorielle Wahrnehmung von Sprachlauten reflektierte. Die Beobachtung, dass kategorielle Lautwahrnehmung mit dem Supramarginalgyrus verknüpft ist, wenn auch nicht mit dem posterioren STS, spricht eher für eine Relevanz posteriorer Areale für die Phonemidentifikation. Dies erscheint insbesondere deshalb plausibel, da beobachtet werden konnte, dass das posteriore Planum temporale in der perisylvischen temporoparietalen Grenzzone als auditorisch-motorische Schnittstelle fungiert und daran beteiligt ist, sensorische Lautinformationen in artikulatorische Muster umzuwandeln (Davis & Johnsrude, 2007; Hickok & Poeppel, 2007; Scott & Wise, 2004; Warren et al., 2005b). Dies ist deutlich einfacher und effizienter, wenn lediglich relevante Lautunterschiede transkodiert werden müssen, als wenn sämtliche feinen akustischen Details aufrechterhalten bleiben.

Regionen im anterioren Temporallappen werden dagegen mit Verarbeitungsprozessen assoziiert, die dazu führen, dass sprachliche Äußerungen verstanden werden (Scott & Wise, 2004). Dies scheint jedoch nicht nur für gesprochene Sprache zu gelten. Anterior liegende Bereiche der Temporallappen weisen stärker multimodale Aktivierungsmuster auf als weiter posterior liegende Regionen. In der fMRT-Studie von (Buchsbaum & D'Esposito, 2009) erzeugten gesprochene und geschriebene Wörter in einem Kurzzeitgedächtnisparadigma im linken anterioren STS ein ähnliches Aktivierungssignal, wohingegen sämtliche anderen Regionen in den untersuchten Temporal- und Parietallappen zwischen auditiven und visuellen Bedingungen unterschieden. Marinkovic et al. (2003) präsentierten in einer MEG-Untersuchung mündlich und schriftlich Einzelwörter, die sie semantisch bewerten ließen. Ab etwa 300 ms nach Stimulusbeginn zeigten sich in beiden Modalitäten starke Aktivierungen im anterior-

ren Temporallappen vorwiegend der linken Hemisphäre. Ähnlich beobachteten auch Spitsyna et al. (2006) in einer PET-Studie bei der Kontrastierung kontinuierlicher, verständlicher gesprochener und geschriebener Sprache mit unverständlichen akustischen (spektral rotierte Sprache) und visuellen Stimuli (nichtmuttersprachliche Buchstabenreihen) in beiden Modalitäten starke Aktivität bilateral im anterioren Temporalkortex mit linkshemisphärischer Dominanz. Der anteriore Temporalkortex scheint somit bei der Verarbeitung sprachlicher Informationen weniger an der phonetisch-phonologischen Analyse beteiligt zu sein, sondern unabhängig von der Modalität des Sprachinputs Bedeutungsinformationen zu extrahieren. Andererseits wird die Funktion der anterioren Areale im Temporallappen in der kurzfristigen, automatischen Repräsentation des akustisch-phonetischen Inputs in Form einer echoartigen Gedächtnisspur gesehen, die innerhalb weniger Sekunden zerfällt. Dabei handelt es sich um relativ unanalyzierte auditorische Repräsentationen, deren akustisch-phonetische Details genutzt werden, um die Bedeutung mündlicher Äußerungen zu erfassen (Buchsbaum et al., 2005; Davis & Johnsrude, 2007). Die vorübergehende Speicherung ist notwendig, da gesprochene Sprache sequentieller Natur ist und die interpretativen Funktionen ihre Arbeit erst mit einer ausreichenden Menge an akustischen Informationen ausführen können. Der hereinströmende Input wird in immer längeren auditorischen Sequenzen zu Wörtern und Sätzen zusammengebunden und zunehmend unabhängiger von der tatsächlich wahrgenommenen akustischen Form repräsentiert.

2.2.5.2. Syntaktische Verarbeitung

In zahlreichen Studien zum syntaktischen Verständnis konnte gezeigt werden, dass der laterale ATL aktiv ist, wenn Probanden auditiv oder visuell präsentierte Sätze rezeptiv verarbeiten. In der PET-Untersuchung von Mazoyer et al. (1993) hörten monolinguale Probanden zusammenhängende Sätze in einer Fremdsprache, Wortlisten der Muttersprache, Sätze, die aus Neologismen zusammengesetzt waren, semantisch inkongruente Sätze und korrekte Sätze in der Muttersprache. Bei Sprachmaterial, das erkennbare syntaktische Strukturen enthielt (also nicht bei fremdsprachlichen Sätzen oder Wortlisten), zeigten sich Aktivierungen bilateral im Temporalpol. Dies galt auch für die Bedingungen, in denen das Sprachmaterial keine oder keine sinnvolle semantische Interpretation zuließ. In anderen Studien zeigte sich Aktivität im anterioren Temporalkortex bei der Verarbeitung syntaktischer Strukturen im Kontrast zu Ruhe (Müller et al., 1997), zu unverständlicher, rückwärts präsentierte Sprache (Awad et al., 2007; Crinion et al., 2003), zu Rechenaufgaben (Binder et al., 2011), zu

Sequenzen von Geräuschen, die den Handlungen der Sätze entsprachen (Humphries et al., 2001), im Vergleich zur Präsentation einzelner Pseudowörter (Bavelier et al., 1997) oder zu Listen syntaktisch nicht zusammenhängender Wörter oder Pseudowörter (Mazoyer et al., 1993; Bottini et al., 1994; Stowe et al., 1998; Friederici et al., 2000; Rogalsky & Hickok, 2009; Snijders et al., 2009). Der ATL war weiterhin dann aktiviert, wenn grammatisch strukturierte Sequenzen von Neologismen dargeboten wurden (Mazoyer et al., 1993; Friederici et al., 2000). Auch Untersuchungen, in denen verschiedene syntaktische Strukturen miteinander kontrastiert wurden und Aktivierungen im ATL durch spezifische syntaktische Aspekte hervorgerufen wurden, sprechen dafür, dass der anteriore Temporalkortex die Analyse syntaktischer Strukturen unterstützt. In einer auditiven, ereigniskorrelierten fMRT-Studie zeigte sich stärkere Aktivität im linken anterioren STG, wenn Sätze syntaktische Phrasenstrukturverletzungen aufwiesen, als wenn korrekte Sätze oder Sätze mit semantischen Verletzungen verarbeitet wurden (Friederici et al., 2003). Brennan et al. (2012) präsentierten in einer fMRT-Untersuchung zusammenhängende Sätze, die die Probanden lediglich anhören sollten. Für jedes einzelne Wort ermittelten die Autoren dessen Komplexität für den Strukturaufbau des Satzes und stellten fest, dass die Aktivität im linken ATL mit diesem Komplexitätswert korreliert war. Weiterhin scheinen auch syntaktische Verständnisprobleme bei Aphasikern mit Läsionen des anterioren Temporalkortex zusammenzuhängen. Dronkers et al. (2004) korrelierten die sprachlichen Fähigkeiten aphasischer Patienten in verschiedenen sprachlichen Aufgaben mit ihrem Läsionsort. Defizite der syntaktischen Verarbeitung waren mit Läsionen im linken anterioren STG assoziiert.

Aufgrund dieser Ergebnisse wurde eine Beteiligung des anterioren Temporalkortex an syntaktischen Verarbeitungsprozessen angenommen. Die konkrete syntaktische Funktion dieses Areals scheint in grundlegenden Aspekten der Satzanalyse und rezeptiven morphosyntaktischen Verarbeitung zu bestehen wie im Abruf von Wortkategorieinformationen oder im Aufbau lokaler syntaktischer Strukturen (Friederici, 2004). Das wurde daraus geschlussfolgert, dass Läsionen in diesem Areal zu Defiziten mit einfachen und komplexen Satzstrukturen führen (Dronkers et al., 2004) und Aktivierungen im ATL nicht mit der syntaktischen Komplexität des Inputs variieren. Stowe et al. (1998) präsentierten in einer visuellen fMRT-Studie unterschiedlich komplexe Satzstrukturen im Vergleich zu Wortlisten und stellten fest, dass der anteriore Temporalkortex gleich stark auf einfache und komplexe Sätze, aber weniger stark auf Wortlisten reagierte. Problematisch für diese Interpretation ist jedoch, dass Läsionen des ATL nicht typischerweise zu offensichtlichen Satzverständnisproblemen füh-

ren (Vandenberghe et al., 2002; Gorno-Tempini et al., 2004a; Kho et al., 2008) und die Region in funktionellen Studien nicht auf syntaktische Manipulationen des Stimulusmaterials reagiert (Stowe et al., 1998; Hagoort et al., 1999). In der Untersuchung von Stowe et al. (1998) zeigte die Aktivierung des posterioren Temporalkortex eine Abhängigkeit von der syntaktischen Komplexität der präsentierten Sätze, der anteriore Temporalkortex reagierte aber auf sämtliche Satztypen gleich stark. Die Autoren argumentierten daher dafür, dass der ATL lexikalische Informationen auf Satzebene verarbeitet. Vandenberghe et al. (2002) vermuteten ebenfalls, dass diese Region für die Zusammensetzung der Satzbedeutung aus den einzelnen Bestandteilen relevant ist, nicht aber für die syntaktischen Operationen selbst. Indem sie in visuell präsentierten Sätzen die semantische Kongruenz und die Wortfolge variierten, konnten sie feststellen, dass der ATL auf beide Aspekte reagiert und offensichtlich daran beteiligt ist, in Kontexten wie Sätzen mehrere semantische Informationen miteinander zu kombinieren. Mit einem ähnlichen Experimentalaufbau präsentierten Humphries et al. (2006) auditiv semantisch korrekte Sätze, semantisch inkongruente Sätze oder Sätze, deren Inhaltswörter aus Neologismen bestanden. Zusätzlich wurden aus allen drei Satzarten Wortlisten erstellt, bei denen die Reihenfolge der Wörter durcheinandergewürfelt wurde. Im linken anterioren STS zeigten jeweils die Sätze stärkere Aktivität als ihre entsprechenden Wortlisten. Zusätzlich stieg in diesem Areal die Aktivierung mit der Sinnhaftigkeit der Sätze an. Dies deutet darauf hin, dass der anteriore Temporallappen wesentlich für die semantische Integration von Wörtern auf Satzebene ist.

Zusätzlich war zu beobachten, dass der ATL nicht nur auf Wort- und Satzebene stärker aktiviert ist, wenn multiple semantische Informationen integriert werden müssen. Auch wenn mehrere zusammenhängende Sätze im Vergleich zu inhaltlich nicht zusammenhängenden Sätzen verarbeitet werden, kommt es zu einer stärkeren Aktivierung in diesen Hirnbereichen (Fletcher et al., 1995; Maguire et al., 1999; Yarkoni et al., 2008). Maguire et al. (1999) folgerten daraus, dass der anteriore Temporalkortex semantische Interpretationen über die lexikalische oder semantische Analyse einzelner Wörter hinaus unterstützt, nämlich das Verständnis von Sätzen, die Texte ergeben. In einer Metastudie zur funktionellen Neuroanatomie des Textverständnisses identifizierten Ferstl et al. (2008) wiederkehrend Aktivierungen im ATL, unabhängig von der jeweiligen Baseline-Bedingung, der Modalität, dem Stimulusmaterial und der Messmethode (ähnlich auch Mar, 2004). Aus all diesen Beobachtungen lässt sich schlussfolgern, dass die Funktion des anterioren Temporalkortex in der Integration multipler semantischer Informationen besteht, wenn die syntaktische Struktur auf

Satz- oder Textebene Veranlassung dazu gibt, die Informationen miteinander in Beziehung zu setzen (Hickok & Poeppel, 2007; Jung-Beeman, 2005; Stowe et al., 2005).

Im Gegensatz zu den Aktivierungsstudien zur semantischen Verarbeitung einzelner Wörter (Abschnitt 2.2.1) beschrieben die Studien zur Satz- und Textverarbeitung die Lage der Aktivierungscluster einheitlich im lateralen ATL, meist auf Höhe des mittig-anterioren STS. Nur vereinzelt wurden zusätzlich Aktivierungen im ventromedialen ATL identifiziert (Awad et al., 2007; Binder et al., 2011; Bottini et al., 1994).

2.2.6. Soziale Kognition

In den bisherigen Abschnitten wurde dargestellt, dass die anterioren Temporallappen an der Verarbeitung allgemeiner semantischer Informationen beteiligt zu sein scheinen, an der Verarbeitung von biographischen Informationen über Personen sowie der Interpretation kohärenter Satz- und Textstrukturen. Weiterhin zeigten sich im lateralen ATL Aktivierungen bei Aufgaben zur *Theory of Mind*, weshalb vermutet wird, dass die anterioren Temporallappen zum neuronalen Netzwerk der sozialen Kognition gehören (Frith, 2007; Moll et al., 2005). Mit dem Begriff *Theory of Mind* wird die Fähigkeit beschrieben, sich in andere Personen hineinzusetzen und deren Gedanken, Gefühle, Absichten und Wünsche zu erkennen, ohne dass diese explizit mitgeteilt werden. Getestet wird diese Fähigkeit in funktionellen Bildgebungsstudien häufig mittels schriftlich präsentierter Texte oder Bildgeschichten, deren Verständnis davon abhängt, die Gedanken der Protagonisten erkennen zu können (Gallagher et al., 2000; Gobbini et al., 2007; Ross & Olson, 2010; Vogeley et al., 2001). In anderen Studien wurden die Probanden konkret aufgefordert, sich die Gedanken anderer Personen vorzustellen (Goel et al., 1995) oder sich in emotionale Situation hineinzusetzen (Partiot et al., 1995). Weitere Studien nutzten ironische und sarkastische Äußerungen (Rankin et al., 2009; Uchiyama et al., 2006; Wakusawa et al., 2007), Sätze mit emotionalem Gehalt (Ferstl & von Cramon, 2007), Aufgaben zu moralischen Entscheidungen (Moll et al., 2002) oder Videos von geometrischen Formen, deren Bewegungen sich als Ausdruck von Gefühlen und Absichten interpretieren lassen (Gobbini et al., 2007; Schultz et al., 2003; Ross & Olson, 2010; Tavares et al., 2008). Charakteristisch für diese Untersuchungen sind Aktivierungen des lateralen ATL, die besonders weit anterior im Temporalpol zu finden sind. Der temporopolare Kortex scheint somit auf die Verarbeitung von Informationen spezialisiert zu sein, die der sozialen Interaktion dienen (Frith, 2007). Darauf deutet auch die Untersuchung von Gobbini et al. (2011) hin, die gezeigt hat, dass die Interpretation menschlicher

Gesichtsausdrücke in stärkerer Aktivität des ATL resultiert als die Wahrnehmung der Mimik eines Roboters.

Mitchell et al. (2002) ließen in einer fMRT-Studie die semantische Kongruenz schriftlich präsentierter Adjektiv-Nomen-Paare bewerten. Die Nomen der Experimentalbedingung waren Vornamen, die Nomen der Kontrollbedingung Früchte und Kleidungsstücke. Adjektive waren entweder soziale Konzepte (menschliche Charaktereigenschaften wie *selbstbewusst* oder *nervös*) oder Konzepte, die ausschließlich auf Früchte oder Kleidung zutreffen können (*kernlos*, *geflickt*). Die Personenbedingung erzeugte im ATL ein positives Aktivierungssignal, die Kontrollbedingungen dagegen eine leichte Deaktivierung, was die Autoren als Hinweis auf die in dieser Region stattfindende Verarbeitung sozial relevanter Stimuli interpretierten. In zwei weiteren Studien wurden Wortpaare präsentiert, deren semantische Nähe die Probanden beurteilen sollten. Auf Wortpaare, die soziale Konzepte bezeichnen (*ehrenhaft* – *mutig*, *taktlos* – *unhöflich*) reagierten die anterioren Temporalkortizes stärker als auf Konzepte wie *nahrhaft* – *nützlich* (Ross & Olson, 2010; Zahn et al., 2007). Diese Ergebnisse wurden ebenfalls als Hinweis auf die Repräsentation sozialer semantischer Konzepte im ATL gedeutet. Ross & Olson (2010) argumentierten zudem, dass sich sämtliche oben genannten Funktionen des ATL auf eine allgemeine Funktion zurückführen lassen: der anteriore Temporalkortex ist immer dann aktiv, wenn semantische Informationen abgerufen werden, die spezifisch für soziale Kontexte sind. Diese Erklärung erscheint plausibel für Situationen, in denen der mentale Zustand anderer Personen reflektiert wird wie beim Verstehen von Sätzen und Texten oder für Situationen, in denen generell über andere Personen nachgedacht wird. Inwiefern sich die Theorie der Repräsentation allgemeiner semantischer Informationen im ATL mit diesem Ansatz vereinbaren lässt, ist jedoch unklar, da Patienten mit semantischer Demenz auch bei Wörtern wie *Ente* oder *Hubschrauber* Abrufprobleme aufweisen (Hodges et al., 1995).

Eine soziale Funktion des ATL erscheint aber auch angesichts weiterer Daten als recht wahrscheinlich. So resultieren Läsionen dieser Region in Störungen des Sozialverhaltens. Das Klüver-Bucy-Syndrom führt bei nichtmenschlichen Primaten zu sozialem Rückzug, indem keine sinnvollen Artikulationssignale mehr produziert werden und die betroffenen Affen nicht mehr adäquat auf Kommunikationssignale reagieren. Sie zeigen kaum noch Interesse an ihren Artgenossen und vernachlässigen den eigenen Nachwuchs (siehe Olson et al., 2007). Bei Menschen sind bei hirnatrophiischen Prozessen des anterioren Temporalkortex ganz ähnliche Symptome zu beobachten, insbesondere wenn die rechte Hemisphäre betroffen ist. Die Verhaltensvariante der frontotemporalen Demenz ist eine

Erkrankung, die durch die Atrophie vorwiegend frontaler Hirnbereiche zu Veränderungen der Persönlichkeit und des zwischenmenschlichen Verhaltens führt (Kipps et al., 2008; Piguet et al., 2011). Whitwell et al. (2009) konnten vier Unterformen mit unterschiedlicher Lokalisation identifizieren, worunter sich auch ein temporal-dominanter Typ befand, bei dem primär der anteriore Temporalkortex atrophisch ist (rechts > links). Neben sprachlichen Defiziten und Gedächtnisproblemen waren bei diesen Personen deutliche Verhaltensauffälligkeiten festzustellen. Auch die semantische Demenz gehört zu den frontotemporalen Demenzen. Obwohl diese Störung hauptsächlich durch sprachliche Defizite gekennzeichnet ist, weisen die betroffenen Personen zusätzlich Defizite des sozioemotionalen Verhaltens auf (Rosen et al., 2006). Insgesamt zeigen Patienten mit anterotemporaler Atrophie sozial ungeschicktes Verhalten, soziale Enthemmung und Defizite in den Fähigkeiten zur Empathie und Perspektivenübernahme (Chan et al., 2009; Edwards-Lee et al., 1997; Gorno-Tempini et al., 2004b; Rankin et al., 2003; Seeley et al., 2005; Thompson et al., 2003; Zahn et al., 2009). Außerdem konnte festgestellt werden, dass die Stärke der Atrophie in den anterotemporalen Kortex mit dem Verlust der Fähigkeit zur Empathie und Perspektivenübernahme oder dem Grad der Enthemmung korreliert (Rankin et al., 2006; Rohrer & Warren, 2010; Zamboni et al., 2008). Mittels spezifischer Testverfahren ließen sich ganz konkret Defizite in der Verarbeitung sozialer Konzepte nachweisen (Zahn et al., 2009) und Beeinträchtigungen darin, Emotionen und sarkastische Äußerungen anhand von Videosequenzen zu identifizieren (Kipps et al., 2009; Rankin et al., 2009). Lebreton et al. (2009) korrelierten bei verhaltensunauffälligen gesunden Probanden ein Verhaltensmaß der sozialen Kompetenz mit der Dichte der grauen Substanz der Probanden. Neben anderen Regionen zeigte sich in den anterioren Temporallappen bei höherer sozialer Kompetenz eine höhere kortikale Dichte.

Die anterioren Temporallappen werden daher mit Funktionen der sozialen Kognition assoziiert (Frith, 2007; Moll et al., 2005; Ross & Olson, 2010). Soziale Kognition ermöglicht es uns, während wir mit anderen Personen interagieren, deren Gedanken und Gefühle zu erkennen und vorherzusagen, was diese als nächstes tun werden. Je besser wir dazu in der Lage sind, desto effizienter kann die Interaktion gelingen. Voraussetzung dafür ist, dass wir Wissen über die Welt besitzen, über die Person, mit der wir interagieren, über den Ablauf sozialer Situationen, darüber, wie Menschen sich in bestimmten Situationen verhalten und wie Gefühle und Einstellungen das Verhalten von Personen in diesen Situationen beeinflussen (Frith & Frith, 2003; Frith, 2007; Gallagher & Frith, 2003). Die Funktion des ATL besteht somit darin, erworbenes soziales Wissen und soziale Re-

geln zu repräsentieren und für die Interaktion mit anderen Menschen zur Verfügung zu stellen.

2.3. Hemisphärenunterschiede bei der Personenverarbeitung

Bisher wurden die Daten meist ohne Hinweis auf die Hemisphäre präsentiert, in der bestimmte Stimuli und kognitive Funktionen präferiert verarbeitet und ausgeführt werden. Dennoch existieren recht eindeutige Aussagen darüber, welche Hemisphäre bevorzugt an der Verarbeitung verschiedener Informationen über Personen beteiligt ist. Die rechte Hemisphäre scheint insbesondere bei der perzeptuell basierten Verarbeitung von Personen eine Rolle zu spielen. So wurden Prosopagnosien in der Regel nach bilateralen oder rechtshemisphärischen Läsionen des okzipitotemporalen Kortex beschrieben (Barton et al., 2002; Bouvier & Engel, 2006; Damasio et al., 1990; De Renzi et al., 1994). In Übereinstimmung mit den Läsionsdaten zeigen Bildgebungsstudien bei der Perzeption von Gesichtern häufig stärkere Aktivierungen in der rechten als der linken Hirnhälfte (Haxby et al., 1999; Kanwisher et al., 1997a; Rossion et al., 2000; Sergent et al., 1992) und die Anwendung von rTMS einen stärkeren negativen Einfluss auf die Gesichterverarbeitung gesunder Probanden, wenn die Stimulation im rechten Okzipitallappen erfolgt (Pitcher et al., 2007). Doch nicht nur die posterioren Areale der Gesichterverarbeitung weisen eine Dominanz der rechten Hemisphäre auf. Auch die anterioren Temporallappen betreffend sind prosopagnostische Defizite eher bei rechtslateralen Läsionen festzustellen (Evans et al., 1995; Gainotti et al., 2010; Tippett et al., 2000). Auch an der Verarbeitung menschlicher Stimmen und der Identifikation von Sprechern ist die rechte Hemisphäre scheinbar stärker beteiligt als die linke Hirnhälfte. Phonagnosien wurden meist bei rechtsseitigen Läsionen beobachtet (Gainotti, 2011b; Hailstone et al., 2010; Lang et al., 2009; Van Lancker & Canter, 1982) und in funktionellen Bildgebungsstudien ist oftmals ein Vorteil der rechten Hemisphäre bei der Stimmenverarbeitung zu erkennen, indem diese stärker auf die Präsentation von Stimmen reagiert als die linke Hemisphäre (Belin et al., 2000; Nakamura et al., 2001; von Kriegstein et al., 2003; Meyer et al., 2005). Im Gegensatz dazu sind Aktivierungen, die aus der Verarbeitung der gesprochenen Äußerungen resultieren, eher in der linken Hirnhälfte zu lokalisieren (Crinion et al., 2003; Davis & Johnsrude, 2003; Mazoyer et al., 1993; Narain et al., 2003; Snijders et al., 2009). Im direkten Kontrast beider Informationen erzeugte die Fokussierung auf den Sprecher einer Äußerung eine rechtslaterale Aktivität des anterioren Temporalkortex, die Fokussierung auf den

geäußerten Inhalt eine linkslaterale Aktivität des posterioren Temporalkortex (von Kriegstein et al., 2003). Neben den modalitätsspezifischen Prosop- und Phonagnosien treten aber auch supramodale Personenidentifikationsstörungen eher nach rechts- als linkshemisphärischen Läsionen der anterioren Temporalkortizes auf (Barbarotto et al., 1995; Ellis et al., 1989; Gentileschi et al., 2001; Joubert et al., 2006). Bei Personen mit Atrophie der anterioren Temporallappen zeigten sich bei linksdominanten Läsionen die für die semantische Demenz charakteristischen semantischen Defizite mit Wortfindungs- und Verständnisstörungen für allgemeine Objekte, bei rechtsdominanter Atrophie dagegen Störungen der Personenidentifikation (Thompson et al., 2004) oder zusätzlich zu den allgemeinen semantischen Defiziten prosopagnostische Störungen (Josephs et al., 2008). Insgesamt deutet sich damit für die Verarbeitung von perzeptuellen und semantischen Informationen über Personen eine besondere Relevanz der rechten Hirnhälfte an.

Die Beteiligung der anterioren Temporalkortizes an der Verarbeitung von Informationen über Personen könnte aber auch damit zusammenhängen, dass personenspezifische Informationen auf autobiographischem Wissen basieren oder soziale Verarbeitungsprozesse auslösen. Der Abruf autobiographischer Informationen wurde anhand funktioneller Aktivierungsstudien vor allem mit der linken Hemisphäre assoziiert (Maguire, 2001; Svoboda et al., 2006). Besonders im anterioren Temporalkortex sind bei entsprechenden Aufgabenstellungen stärker links- als rechtshemisphärische Aktivierungen festzustellen (Gilboa et al., 2004; Piolino et al., 2004; Hassabis et al., 2007). Auch Bildgebungsstudien zur Verarbeitung sozialer Konzepte und die Ausführung sozialer Gedankengänge resultieren oftmals in linksseitig stärkerer Aktivität des ATL (Gallagher et al., 2000; Goel et al., 1995; Moll et al., 2002; Uchiyama et al., 2006; Voegeley et al., 2001). In deutlichem Gegensatz zu diesen Daten stehen die Läsionen von Patienten mit Störungen des autobiographischen Gedächtnisses, die meist rechtshemisphärisch oder bilateral zu lokalisieren sind und bei linksseitiger Läsion weniger schwer ausfallen (siehe Graham et al., 2003b). Auch Störungen der sozialen Kognition resultieren häufiger aus Läsionen der rechten Hemisphäre (Edwards-Lee et al., 1997; Kipps et al., 2009; Rohrer et al., 2008; Rosen et al., 2005; Seeley et al., 2005; Thompson et al., 2003). Graham et al. (2003b) argumentieren, dass der Abruf autobiographischer Informationen auf konzeptuellem Wissen basiert, das bilateral in den Temporallappen repräsentiert ist (siehe auch Lambon Ralph et al., 2010a; Pobric et al., 2010a). So geht das Störungsbild der semantischen Demenz zwar meist mit links stärker ausgeprägter Atrophie des ATL einher, dennoch sind immer beide Hemisphären von der Atrophie be-

troffen (Chan et al., 2001; Lehmann et al., 2010; Rohrer et al., 2009). Es ist jedoch zu vermuten, dass eine unterschiedliche Spezialisierung beider Hemisphären auf bestimmte semantische Subprozesse besteht.

Einige Studien sprechen für materialspezifische Hemisphärenunterschiede bei der Verarbeitung von Personeninformationen, indem die rechte Hemisphäre semantische Informationen vor allem aus Gesichtern extrahiert, die linke Hemisphäre entweder stärker aus Namen oder aus Namen und Gesichtern gleichermaßen (Eslinger et al., 1996; Gainotti, 2007). Snowden et al. (2004) konnten dementsprechend feststellen, dass Patienten mit semantischer Demenz und rechtsdominanter Atrophie vorwiegend darin beeinträchtigt waren, die Familiarität von Gesichtern zu beurteilen und biographische Informationen zu den abgebildeten Personen anzugeben, Patienten mit linksdominanter Atrophie dagegen, wenn die Familiarität von Personennamen beurteilt und zu diesen biographische Informationen abgerufen werden sollten. Ähnliche Ergebnisse brachten Studien an Patienten mit neurodegenerativen Erkrankungen zur Verarbeitung allgemeiner Objekte. Es wurde beobachtet, dass Patienten mit linksdominanter Atrophie die rezeptive semantische Verarbeitung von Wortmaterial größere Schwierigkeiten bereitet, Patienten mit rechtsdominanter Atrophie dagegen von Bildmaterial (Acres et al., 2009; Butler et al., 2009). Mion et al. (2010) suchten nach Arealen im Gehirn von Patienten mit semantischer Demenz, deren Grad an reduziertem Metabolismus mit den semantischen Fähigkeiten der Patienten korreliert. Der Hypometabolismus der linken Hemisphäre erwies sich als Prediktor für Defizite mit verbalen Aufgaben wie Bildbenennen und der semantischen Wortflüssigkeit, die rechte Hemisphäre als Prediktor für Störungen nichtsprachlichen assoziativen Wissens. Diese Untersuchung weist jedoch nicht nur auf eine Differenzierung von sprachlichem und nichtsprachlichem Wissen hin. Die Unterschiede in der Lokalisation könnten auch damit zu tun haben, dass expressive mit rezeptiven Aufgaben kontrastiert wurden. Für eine Differenzierung der rechten und linken Hemisphäre bezüglich rezeptiv semantischer und produktiv lexikalischer Funktionen sprechen eine Vielzahl von Studien. So lokalisierten Damasio et al. (1996) die Läsionen von Patienten mit Defiziten im Namenabruf im temporopolen Kortex der linken Hemisphäre und Tranel et al. (1997) die Läsionen von Patienten mit Defiziten im Abruf konzeptuellen Wissens über Personen im rechten Temporalpol. In Nachfolgestudien bestätigten die Autoren die Relevanz des rechten ATL für die Identifikation von Personen und des linken ATL für das Benennen der Personen (Damasio et al., 2004; Rudrauf et al., 2008). Diese Beobachtungen wurde mehrfach repliziert, indem gezeigt wurde, dass Läsionen des linken ATL trotz gelungener Identifikation zu Problemen beim Na-

menabruf führen. Patienten mit Läsionen des rechten ATL wiesen dagegen nicht nur Probleme beim Benennen der Personen auf, sondern auch beim Familiaritätsentscheiden von Gesichtern und beim Abruf biographischer Informationen (Drane et al., 2008; Gainotti, 2007; Glosser et al., 2003; Seidenberg et al., 2002; Viskontas et al., 2002). War die Identifikation jedoch erfolgreich, konnten Patienten mit rechtshemisphärischen Läsionen die Namen von Personen abrufen (Drane et al., 2008). Damit könnte die rechte Hemisphäre stärker dafür verantwortlich sein, semantisch-biographische Informationen für ein wahrgenommenes Objekt abzurufen, die linke Hemisphäre dafür, lexikalische und semantische Informationen zu verknüpfen (Coslett & Saffran, 1992; Damasio et al., 2004; Thierry & Price, 2006; Tsukiura et al., 2008).

3. Fragestellungen und Hypothesen

Das Ziel der vorliegenden Studie bestand darin, die Areale innerhalb der lateralen Temporallappen zu bestimmen, die an den verschiedenen Prozessen der auditiven Objekterkennung beteiligt sind, sowie darin, deren Funktion zu spezifizieren. Zu diesem Zweck wurden mehrere fMRT-Studien durchgeführt, in denen die Identifikation berühmter Personen anhand ihrer Stimme untersucht und die im Temporallappen auftretenden Aktivierungen denen gegenübergestellt wurden, die durch unbekannte Personenstimmen, Tierstimmen und Musikinstrumente hervorgerufen wurden. Weiterhin wurde die Verarbeitung der Personenstimmen mit der Verarbeitung visuell präsentierter Tiere, Obst- und Gemüsesorten sowie bekannter Zeichentrickfiguren kontrastiert. Der Fokus der Untersuchungen lag auf dem Schritt der Objektidentifizierung, einer Funktion, an der Bereiche im anterioren Temporalkortex beteiligt zu sein scheinen. Die Vermutungen über die spezifische Aufgabe dieser Region variieren jedoch in Abhängigkeit vom Forschungsbereich. Daher sollte die Studie dazu dienen, zwischen den verschiedenen Theorien zu differenzieren und die Theorie zu ermitteln, die die Daten am umfassendsten beschreiben kann. Dies sollte anhand der jeweiligen Vorhersagen über das Aktivierungssignal in Abhängigkeit von der Modalität, der Konzeptkategorie und dem Bekanntheitsgrad erfolgen.

Verarbeitung sprachlicher Strukturen Wenn der anteriore Temporalkortex für das Verständnis von Sprache wesentlich ist, ist folgendes Aktivierungsmuster zu erwarten:

- Modalitätsspezifische Aktivierung: auditiv > visuell (da nur die auditiv präsentierten Stimmen sprachliche Strukturen einhielten)
- Kategoriespezifische Aktivierung: menschliche Stimmen > Tiere und Musikinstrumente
- Keine familiaritätsspezifische Aktivierung: bekannte Stimmen = unbekannte Stimmen

Verarbeitung von Stimmen Wenn der anteriore Temporalkortex für die Sprecheridentifikation wesentlich ist und ein stimmenselektives Areal darstellt, ist folgendes Aktivierungsmuster zu erwarten:

- Modalitätsspezifische Aktivierung: auditiv > visuell
- Kategoriespezifische Aktivierung: menschliche Stimmen > Tiere und Musikinstrumente
- Familiaritätsspezifische Aktivierung: bekannte Sprecher > unbekannte Sprecher

Verarbeitung von Gesichtern Wenn der anteriore Temporalkortex für den Zugriff auf biographische Informationen über Personen wesentlich ist, die anhand ihres Gesichts identifiziert wurden, ist folgendes Aktivierungsmuster zu erwarten:

- Modalitätsspezifische Aktivierung: visuell > auditiv
- Kategoriespezifische Aktivierung: Comicfiguren (als Stellvertreter für Gesichter) > Tiere und Obst- und Gemüsesorten
- Familiaritätsspezifische Aktivierung: bekannte Comicfiguren > unbekannte Comicfiguren

Allgemeine semantische Verarbeitung Wenn der anteriore Temporalkortex ein wesentliches Zentrum der semantischen Verarbeitung darstellt, in dem Bedeutungsinformationen sämtlicher Konzeptkategorien zusammgeführt werden, ist folgendes Aktivierungsmuster zu erwarten:

- Supramodale Aktivierung: auditiv = visuell
- Suprakategorielle Aktivierung: Stimmen = Tiere und Musikinstrumente sowie Comicfiguren = Tiere und Obst- und Gemüsesorten
- Familiaritätsspezifische Aktivierung: bekannte Stimuli > unbekannte Stimuli

Spezifische semantische Verarbeitung Wenn der anteriore Temporalkortex (i) für die Verarbeitung von Konzepten auf untergeordneter Ebene wesentlich ist, (ii) für die Verarbeitung individueller Konzepte oder (iii) für die Verarbeitung von Bedeutungsinformationen über Personen (und ihre Stellvertreter), ist folgendes Aktivierungsmuster zu erwarten:

- Supramodale Aktivierung: auditiv = visuell
- Kategoriespezifische Aktivierung: Stimmen > Tiere und Musikinstrumente sowie Comicfiguren > Tiere und Obst- und Gemüsesorten
- Familiaritätsspezifische Aktivierung: bekannte Stimmen > unbekannte Stimmen sowie bekannte Comicfiguren > unbekannte Comicfiguren

Verarbeitung sozialer Konzepte Wenn der anteriore Temporalkortex für die Verarbeitung von Konzepten wesentlich ist, mit denen soziale, emotionale und agierende Merkmale assoziiert werden können, ist folgendes Aktivierungsmuster zu erwarten:

- Supramodale Aktivierung: auditiv = visuell
- Categoriespezifische Aktivierung: Stimmen und Comicfiguren > Tiere > Musikinstrumente und Obst- und Gemüsesorten
- Familiaritätsspezifische Aktivierung: bekannte Stimmen > unbekannte Stimmen sowie bekannte Comicfiguren > unbekannte Comicfiguren

Weiterhin sollte untersucht werden, ob sich der Verlauf des ventralen auditiven Verarbeitungsstroms durch die Temporalappen nachvollziehen lässt. Bisherige Studien konnten zwar zeigen, dass die anterioren Temporalappen an Aspekten der Objektidentifikation beteiligt sind, jedoch selten, dass entlang des Weges immer andere Verarbeitungsschritte vorgenommen werden. Daher sollte mit der vorliegenden Studie nach Hinweisen darauf gesucht werden, ob sich die Verarbeitungsprozesse entlang des Weges verändern. Wenn Objekterkennung innerhalb der Temporalappen entlang von Verarbeitungsströmen erfolgt, entlang derer die Verarbeitungskomplexität sukzessive zunimmt, ist ausgehend von den primär-sensorischen Arealen hin zum anterioren Temporalkortex eine graduelle Veränderung des Signals der verschiedenen Bedingungen zueinander zu erwarten. Dies sollte sich darin äußern, dass in frühen Strukturen die Aktivierung durch sämtliche Stimuli etwa gleich stark ist, diese sich mit zunehmender Entfernung aber immer deutlicher zwischen den verschiedenen Bedingungen unterscheidet. Am Ende des Stroms sollte sich ein maximal spezifisches Aktivierungsmuster zugunsten der präferierten Stimuli zeigen. Da sich die untersuchten Regionen auf die superioren und mittleren Temporalgyri beschränkten, galten diese Annahmen in erster Linie für auditive Stimuli.

Schließlich sollte geklärt werden, ob Hemisphärenunterschiede in der Verarbeitung der Stimuli vorliegen und in welche Richtung diese tendieren. Die Verarbeitung von Gesichtern und Stimmen und die Identifikation von Personen werden meist mit rechtshemisphärischen Strukturen assoziiert. Der Abruf biographischer Informationen über Personen könnte auf semantischen Prozessen basieren, die häufig als bilateral beschrieben werden. Das Verständnis gesprochener Äußerungen und produktive Sprachverarbeitungsprozesse wie der Abruf von Namen erfolgen primär linkshemisphärisch. Daher war nicht klar, ob das Benennen der Stimmen und Zeichentrickfiguren lateralisierte Aktivität hervorrufen würde und in wel-

che Richtung diese Unterschiede ausfallen. Diese Analyse sollte als drittes Ziel der vorliegenden Studie verfolgt werden.

4. Methode und Material

4.1. Physikalische Grundlagen der MR-Bildgebung

4.1.1. Prinzip der Magnetresonanztomographie¹

Die Magnetresonanztomographie (MRT) oder Kernspintomographie bietet die Möglichkeit, nicht-invasiv anatomische Strukturen des menschlichen Gehirns mit hoher räumlicher Auflösung abzubilden. Zur Bildgebung werden die magnetischen Eigenschaften der Kerne körpereigener Wasserstoffatome genutzt, die sich in den Wassermolekülen des Hirngewebes und des Liquors, der das Gehirn umgibt, befinden. Die Kerne von Atomen haben die Eigenschaft, kontinuierlich um ihre eigene Längsachse zu rotieren. Mit dieser Eigenrotation, dem sogenannten Kernspin, ist eine schwache Magnetisierung verbunden. Besteht ein Atomkern aus einer geraden Anzahl von Protonen und Neutronen (Nukleonen), löscht sich die unterschiedlich gerichtete Magnetisierung der einzelnen Teilchen gegenseitig aus. Atomkerne mit ungerader Nukleonenzahl besitzen dagegen einen resultierenden Spin und damit ein schwaches, aber messbares magnetisches Moment. Dies gilt somit auch für Wasserstoffatomkerne, die genau aus einem positiv geladenen Proton bestehen. Weitere MR-aktive Kerne im menschlichen Körper sind ^{13}C , ^{15}N , ^{19}F , ^{23}Na und ^{31}P . Drei Faktoren bestimmen, welche Kerne sich sinnvoll in der MR-Bildgebung einsetzen lassen, (1) die Anzahl der jeweiligen Atome im zu untersuchenden System (die biologische Häufigkeit), (2) der Anteil dieser Atome, die einen MR-sichtbaren Kern besitzt (die natürliche Häufigkeit eines bestimmten Isotops) und (3) die Stärke des Signals, die ein Atomkern zu erzeugen vermag (Sanders, 1995). Diese Sensitivität eines Atomkerns für die MR-Bildgebung hängt mit der Stärke seines magnetischen Moments μ zusammen, die bestimmt wird vom gyromagnetischen Verhältnis γ , einer für jede Kernsorte individuellen Konstante. Da der ^1H -Wasserstoffatomkern das in biologischen Systemen am häufigsten vorkommende Isotop ist² und ein

¹Alger, 2002; Beese & Kooijman, 1997; Chrysikopoulos, 2009; Cohen, 1996; Hendrix, 2004; Kreisler & Trümmeler, 1998; Kuzniecky & Jackson, 1995; Lipton, 2008; Narasimhan & Jacobs, 1996; Sanders, 1995; Stöcker & Shah, 2007; Weishaupt et al., 2009

²Ein typisches MRT-Voxel ($1 \times 1 \times 3 \text{ mm}^3$) des Gehirns enthält etwa 10^{20} Wasserstoffprotonen (Alger, 2002).

Tabelle 4.1. Häufigkeiten und MR-relevante Eigenschaften verschiedener Isotope (<http://www.webelements.com>, <http://physics.nist.gov/cuu/Constants/index.html>). Das gyromagnetische Verhältnis ist im Verhältnis zur Schwingungsdauer 2π angegeben, das magnetische Moment im Verhältnis zum Kernmagneton μ_N . Da das ^1H -Isotop genau aus einem Proton besteht, entsprechen magnetisches Moment und gyromagnetisches Verhältnis des Wasserstoffs dem einzelner Protonen.

Teilchen / Isotop	Biologische Häufigkeit im menschlichen Körper in Atomprozent	Natürliche Häufigkeit des Isotops in [%]	Magnetisches Moment μ/μ_N	Gyromagnetisches Verhältnis $\gamma/2\pi$ in [MHz/T]
Proton			2,79	42,6
Neutron			-1,91	29,2
Elektron			-1838,28	28 025,0
^1H	62	99,99	2,79	42,6
^{13}C	12	1,07	0,70	10,7
^{15}N	12	0,37	-0,28	4,3
^{19}F	0,0012	100	2,63	40,1
^{23}Na	0,038	100	2,22	11,3
^{31}P	0,22	100	1,13	17,3

stärkeres Signal als andere Kerne erzeugt, wird dieser vorwiegend für die Bildgebung am Menschen genutzt (Tabelle 4.1).

Im feldfreien Raum sind die Spins der einzelnen Wasserstoffprotonen zufällig orientiert und ihre elektromagnetischen Ladungen heben sich gegenseitig auf. Werden die Protonen in ein starkes Magnetfeld gebracht, richten sie sich entlang dieses statischen Magnetfeldes B_0 parallel und antiparallel aus. Da die parallele Ausrichtung energetisch günstiger ist und daher minimal überwiegt, kommt es zu einer schwachen Magnetisierung der gesamten Materie in Richtung des statischen Magnetfeldes (longitudinale Magnetisierung, M_z). Die Spins sind jedoch nicht starr zum äußeren Magnetfeld ausgerichtet, sondern kreiseln mit einer von der Stärke des Magnetfeldes und der Art des Teilchens abhängigen Frequenz, der Larmorfrequenz f , um seine Magnetisierungsachse (Abbildung 4.1). Diese Präzessionsbewegung erfolgt für jedes Proton individuell, d.h. es besteht eine Phaseninkohärenz der einzelnen Spins. Durch Einstrahlung eines Hochfrequenzpulses, der ein rotierendes Magnetfeld orthogonal zu B_0 erzeugt, wird die Gesamtmagnetisierung der Spins ausgelenkt (typischerweise um 90°). Dieser Puls benötigt exakt die Larmorfrequenz f , mit der

die Spins präzedieren, um mit ihnen in Resonanz treten zu können³. Während des Hochfrequenzpulses dominiert das rotierende über das statische Magnetfeld. Daher präzedieren die Spins nun um die Achse des rotierenden Magnetfeldes. Nach Abschalten des Hochfrequenzpulses beginnen die Spins, in der xy -Ebene wieder um die Längsachse des statischen Magnetfeldes zu rotieren. Da sie durch den Puls gemeinsam in eine bestimmte Richtung ausgelenkt worden sind, präzediert die Magnetisierung für kurze Zeit phasenkohärent, wodurch eine Magnetisierung in Querrichtung zum statischen Magnetfeld entsteht (transversale Magnetisierung, M_{xy}). Dieser Zustand hält aber nicht an, sondern die Spins kehren wieder in ihren Gleichgewichtszustand zurück (Relaxation).

Es werden zwei Relaxationsprozesse unterschieden, die beide einen exponentiellen zeitlichen Verlauf haben, aber ursächlich und zeitlich unabhängig voneinander sind. Der Abbau der Quermagnetisierung erfolgt schneller (graue Substanz, $T_2 = 100$ ms). Parallel dazu, aber langsamer, vollzieht sich der Wiederaufbau der Längsmagnetisierung (graue Substanz bei 1,5 T, $T_1 = 920$ ms). Bei der longitudinalen Relaxation kehren die ausgelenkten Spins unter Abgabe von Energie wieder in ihre energieärmere Ausgangsposition längs zur Magnetisierungsrichtung von B_0 zurück. Da es Wechselwirkungen mit der Umgebung (dem Gitter) sind, die zur longitudinalen Relaxation führen, wird diese auch als Spin-Gitter-Relaxation bezeichnet. Die Zeitspanne, nach welcher die Längsmagnetisierung wieder auf etwa 63% des Ausgangswertes angestiegen ist, wird T_1 -Relaxationszeit genannt. Die T_2 -Relaxationszeit gibt an, nach welcher Zeit die Phasenkohärenz der präzedierenden Spins wieder auf zirka 37% gesunken ist. Durch Einstrahlung des Hochfrequenzpulses präzedieren die Spins phasengleich. Aufgrund interagierender Einflüsse benachbarter Elemente verlieren die Spins ihre Kohärenz (Spin-Spin-Relaxation) und die Quermagnetisierung fällt ab. Lokale Magnetfeldinhomogenitäten, verursacht durch den Untersuchungskörper oder den Magneten selbst, führen zusätzlich zu einem Verlust der Phasenkohärenz und damit zu einer verglichen mit T_2 deutlich kürzeren Relaxationszeit (T_2^* -Relaxationszeit). Die Zeitabschnitte für die Rückkehr der Protonenspins in ihre Gleichgewichtslage (T_1 und T_2) sind gewebeabhängig. Ein größerer Anteil an Wasser im

³Da die Präzession der einzelnen Teilchenarten in Abhängigkeit vom gyromagnetischen Verhältnis mit unterschiedlicher Frequenz erfolgt, lässt sich über die Pulsfrequenz spezifisch der Protonenspin beeinflussen. Der Elektronenspin ist etwa tausendmal größer als der bei Protonen und Neutronen (Tabelle 4.1), so dass Elektronen mit Frequenzen etwa im Mikrowellenbereich und Protonen und Neutronen mit Frequenzen im Radiowellenbereich angeregt werden müssen. Aufgrund dessen lässt sich der Elektronenspin nicht für die klinische Bildgebung nutzen (Cohen, 1996).

Gewebe führt zu einer langsameren Relaxationszeit, so dass unterschiedliche Gewebearten als Kontrast im MR-Bild dargestellt werden können.

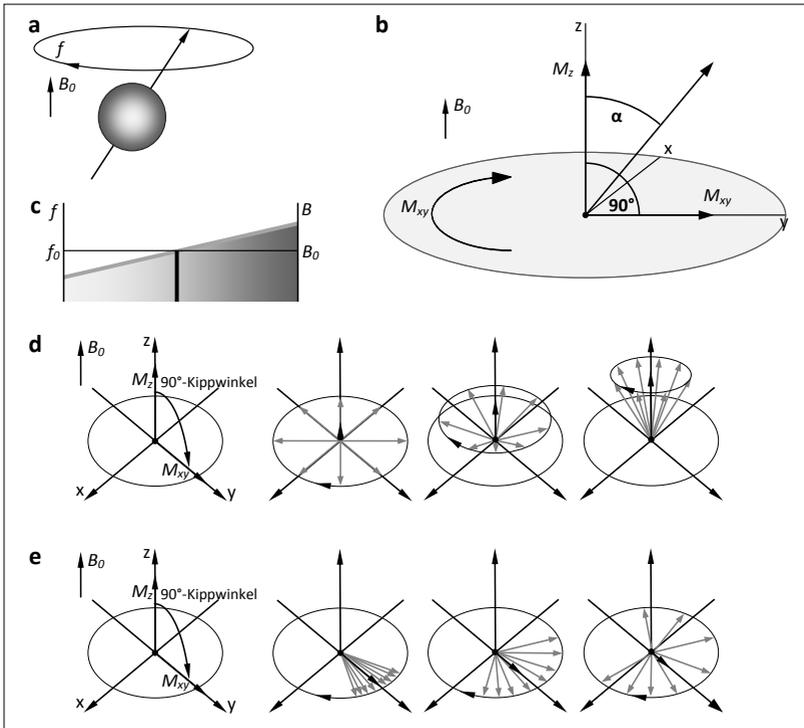


Abbildung 4.1. Prinzip der Kernspintomographie. (a) Präzession eines Protons mit der Larmorfrequenz f um die Achse des statischen Magnetfeldes B_0 . (b) Auslenkung der Längsmagnetisierung M_z um einen bestimmten Kippwinkel α (z. B. 90°). Die Quermagnetisierung M_{xy} rotiert dadurch kurzzeitig in der xy -Ebene um das statische Magnetfeld B_0 . (c) Die Stärke des äußeren Magnetfeldes B_0 wird durch Gradienten linear verändert, so dass die Spins entlang der Gradientenrichtung mit unterschiedlichen Larmorfrequenzen f präzedieren. (d) Longitudinale Relaxation. Nach Auslenkung der Längsmagnetisierung M_z kehrt die Gesamtmagnetisierung in ihren Ausgangszustand entlang des statischen Magnetfeldes B_0 zurück. (e) Transversale Relaxation. Die nach der Auslenkung phasengleich rotierenden Spins verlieren an Phase und die Quermagnetisierung M_{xy} nimmt ab.

Das Rohsignal einer MR-Messung ist das FID-Signal (*free induction decay*, freier Induktionszerfall), eine Schwingungskurve, die mit exponentiellem Verlauf innerhalb von T_2^* abklingt (Abbildung 4.2). Die Frequenz

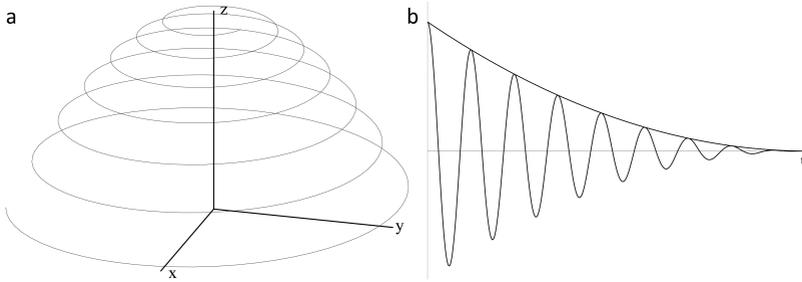


Abbildung 4.2. Entstehung des FID-Signals (free induction decay). (a) Nach Einstrahlung eines Hochfrequenzpulses präzedieren die Spins in der xy -Achse, kehren jedoch während der T_1 -Relaxationszeit in ihre Ausgangsposition entlang der z -Achse zurück. (b) Solange ein großer Teil der Spins phasengleich präzediert, wird Energie in Form einer Sinusfunktion erzeugt, deren Amplitude während der T_2^* -Relaxationszeit abnimmt.

dieser Kurve wird bestimmt durch die Larmorfrequenz der präzedierenden Spins und deren Amplitude von der Stärke der transversalen Magnetisierung M_{xy} . Die Amplitude des FID-Signals ist zum Zeitpunkt direkt nach Einstrahlung des Hochfrequenzpulses maximal, nimmt aber im Verlauf der transversalen Relaxation ab. Jeweils diejenigen Spins, die in der xy -Ebene phasengleich präzedieren, induzieren elektromagnetische Spannung in einer Empfangsspule, da sie wie ein rotierendes Magnetfeld wirken.

In der FID-Sinusfunktion, die sich durch eine bestimmte Amplitude, Frequenz und Phase (Lage des Nulldurchgangs) auszeichnet, sind jedoch viele derartige Sinusfunktionen, die durch die einzelnen Protonen im angeregten Bereich generiert werden, mit verschiedenen Frequenzen und Phasenlagen überlagert. Informationen über den Ursprungsort der einzelnen Signalbestandteile sind unkenntlich. Um ein MR-Bild generieren zu können, muss das Signal (bei vielen Sequenzen) ortskodiert werden, damit jedem Bildpunkt ein bestimmter Grauwert zugeordnet werden kann. Um selektiv Informationen über eine Schicht zu erhalten, wird das statische Magnetfeld B_0 zeitgleich zum Hochfrequenzpuls ortsspezifisch linear verändert, z. B. entlang der z -Achse (superior – inferior). Um dies zu erreichen wird ein Gradient geschaltet, der dafür sorgt, dass das Magnetfeld nur noch an einer ganz bestimmten Stelle seine ursprüngliche Stärke hat und nur dort die Spins mit der vom statischen Magnetfeld B_0 abhängigen Frequenz präzedieren. Demzufolge kann der Hochfrequenzpuls auch nur noch zu diesen Spins in Resonanz treten und nur diese in die xy -Ebene kippen. Die transversale Magnetisierung M_{xy} wird dann allein von den Spins innerhalb dieser Schicht erzeugt (Schichtselektion). Die Schichtdicke wird

durch die Wahl der Gradientenstärke (somit durch den Anstieg des Gradientenfeldes) modifiziert, die Schichtposition wird durch eine Änderung der Frequenzbandbreite des Hochfrequenzpulses verändert.

Um innerhalb der Schicht die Raumlage der einzelnen Anteile des MR-Signals zu bestimmen, werden die Ortsinformationen in eine Richtung über eine systematische Änderung der Präzessionsfrequenz und in die andere Richtung über eine systematische Änderung der Phasenlage kodiert. Bei der Frequenzkodierung wird zeitgleich zur Signalaufnahme erneut ein lineares Gradientenfeld, z. B. entlang der x-Achse (links – rechts), erzeugt. Dies hat zur Folge, dass die Spins in Abhängigkeit von ihrer Lage entlang dieser Achse mit unterschiedlichen Larmorfrequenzen präzedieren. Aus diesen unterschiedlichen Präzessionsfrequenzen entsteht ein Signalgemisch, das von der Empfangsspule mit einer bestimmten Bandbreite zur Einstellung der Auflösung in x-Richtung (Anzahl der Voxel) empfangen wird. Um den Beitrag der einzelnen Frequenzkomponenten zu bestimmen und die Messdaten von der Zeit- (FID, Amplitude über die Zeit) in die Frequenzdomäne (Spektrum, Amplitude für jede Frequenz) zu überführen, wird eine Frequenzanalyse (Fourier-Transformation) auf das Gesamtsignal angewendet. Diese mathematische Operation ist in der Lage, alle in einem Signal vorkommenden Frequenzen zu bestimmen und die zugehörige Amplitude zu identifizieren. Aus der Frequenz, die ja systematisch entlang der Frequenzkodierrichtung zu- oder abnimmt, kann dann auf die zugehörige Achsenposition geschlossen und damit die Signalamplitude einem Ort zugeordnet werden.

Die Kodierung der Ortsinformationen z. B. entlang der y-Achse (anterior – posterior) erfolgt zeitlich zwischen der Schichtanregung und dem Auslesen des Signals und basiert wiederum auf einer ortsabhängigen linearen Änderung des statischen Magnetfeldes durch einen Gradienten. Aufgrund der Magnetfeldunterschiede variieren die Präzessionsfrequenzen systematisch und die Spins dephasieren. Die Dephasierung ist einerseits abhängig von der Dauer und der Stärke des Gradienten, andererseits aber auch vom Ort jedes einzelnen Spins im Vergleich zu Protonen, die sich mittig befinden. Dieser Gradient wird jedoch nur kurzzeitig eingeschaltet. Nach Abschalten präzedieren die Spins wieder mit der vom äußeren Magnetfeld abhängigen Frequenz, unterscheiden sich in ihrer Phasenlage jedoch in wohldefinierter Abhängigkeit von der Position entlang der y-Achse. In Bereichen mit starken Unterschieden in der Phasenlage ist die transversale Magnetisierung M_{xy} schwächer als in Bereichen mit weniger starken Unterschieden (z. B. im Isozentrum). Unterschiede im gemessenen Signal reflektieren somit Unterschiede in den Phasenlagen der einzelnen Spins. Somit könnte jede Zeile innerhalb der Schicht durch ihre Phase identi-

fiziert werden. Ein einzelnes FID-Signal ist jedoch ein Summensignal, in dem die unterschiedlichen Phasenlagen überlagert sind. Im Gegensatz zur Frequenz, die eine skalare Größe mit absoluten Werten ist, können die Phasen der Spins in den einzelnen Abschnitten entlang der y-Achse nicht mit einer einzigen Messung identifiziert werden. Phasenverschiebung ist ein relativer Wert und ist nur im Vergleich mit anderen Werten erkennbar. Um eine eindeutige Beziehung zwischen Position und Phase herstellen zu können, sind so viele Messungen erforderlich, wie die Matrix entlang der Phasenrichtung Spalten haben soll. Dabei muss jedes Mal eine andere Gradientenstärke verwendet werden, um unterschiedlich starke Phasenverschiebungen zu erzeugen. Bereiche, wo es unter den verschiedenen Gradientenstärken kaum zu Unterschieden im Signal kommt, müssen folglich weiter im Isozentrum des Scanners liegen, Bereiche mit großen Unterschieden zwischen den Amplituden von Messung zu Messung liegen sehr weit anterior oder posterior. Damit ist das Signal ortskodiert, die systematischen Amplitudenunterschiede beim Vergleich mehrerer Messungen an verschiedenen Orten, die durch die Phasenverschiebungen verursacht werden, lassen sich entlang der y-Achse anordnen. Dies geschieht mit einer zweiten Fourier-Transformation, diesmal entlang der Phasenrichtung. Damit erhält man schließlich die Grauwertverteilung des MR-Bildes, in dem jedem Voxel der Bildmatrix die zugehörige Amplitude zugeordnet ist. Die Amplitude, die die Anzahl der in der xy-Ebene in Phase präzedierenden Spins reflektiert, wird dargestellt als bestimmter Grauton, der in Abhängigkeit vom Gewebe unterschiedlich hell oder dunkel ausfällt.

Durch geeignete Mess-Sequenzen, z. B. die Variation der Zeit zwischen den einzelnen Anregungen durch den Hochfrequenzpuls (Repetitionszeit, TR) und der Zeitspanne zwischen Anregung und Auslesen des Signals (Echozeit, TE), wird eine Optimierung des Bildkontrastes angestrebt. Je nach Wahl von Repetitions- und Echozeit erhält man Bilder mit unterschiedlicher Gewichtung. T_1 -gewichtete Bilder erzeugt man dadurch, dass die Repetitionszeit kurz gewählt wird und so im Bereich der gewebetypischen T_1 -Relaxationszeiten liegt (z. B. $TR < 750$ ms). Nach einem Puls sind dann Spins in manchen Gewebearten noch nicht wieder vollständig parallel zu B_0 orientiert, so dass ein erneuter Puls diese nicht mit in die xy-Ebene kippen kann. Das FID-Signal wird dann primär durch Spins in Gewebe mit kurzen T_1 -Relaxationszeiten generiert, so dass diese Bereiche signalstark dargestellt werden. Wählt man nun zusätzlich eine äußerst kurze Echozeit (z. B. $TE < 25$ ms), können die phasengleich präzedierenden Spins nicht dephasieren und T_2 -Einflüsse werden minimiert. Mit Hilfe langer Repetitionszeiten, die über der Zeitdauer für die Längsrelaxation der einzelnen Gewebearten liegen (z. B. $TR > 2000$ ms), lässt sich der

Einfluss von T_1 ausschalten, da Spins aller Gewebearten sich vollständig entlang von M_z ausrichten können und mit dem nachfolgenden Puls in die xy -Ebene gekippt werden. Werden die Echozeiten dann so lang gewählt, dass diese im Bereich der gewebetypischen T_2 -Relaxationszeiten liegen (z. B. $TE > 80$ ms), generieren nur Spins in Gewebe mit längeren Relaxationszeiten ein starkes Signal und es werden T_2 -gewichtete Bilder erzeugt.

Zusätzlich hat auch der Einsatz verschiedener Pulssequenzen Einfluss auf die Bildqualität. Bei einer Spinecho-Sequenz (SE) wird nach einer Zeit $\tau = \frac{1}{2}TE$ nach dem Kippen der Spins in die xy -Ebene ein 180° -Puls erzeugt, der die in xy -Ebene rotierenden Spins um 180° kippt, wodurch die Phasenreihenfolge der Spins umgekehrt wird. Diese präzedieren jedoch mit der gleichen Frequenz in die gleiche Richtung weiter, so dass die Spins, die aufgrund von lokalen Magnetfeldunterschieden dephasiert sind, erneut nach der Zeit τ wieder phasenkohärent rotieren. Dies führt zu einem Wiederanstieg des Signals, das als Spinecho bezeichnet wird und ausgelesen wird, wenn es seinen maximalen Wert erreicht hat. Da mit dieser Methode nur Einfluss auf die Dephasierungsprozesse durch statische Magnetfeldinhomogenitäten ausgeübt werden kann, erreicht die Quermagnetisierung nicht wieder ihre ursprüngliche Stärke, sondern fällt innerhalb der T_2 -Relaxationszeit immer weiter ab. Daher eignet sich die Methode gut zur Aufnahme T_2 -gewichteter Bilder. Eine Variante der Spinecho-Sequenz ist die Inversion-Recovery-Sequenz (IR) mit vorgeschaltetem 180° -Puls, die zur Aufnahme T_1 -gewichteter Bilder genutzt wird. Der Puls bewirkt ein Kippen der Spins um 180° antiparallel zu B_0 ohne resultierende Quermagnetisierung. Anschließend kommt es zur Längsrelaxation und die Spins bewegen sich innerhalb einer bestimmten Zeit (Inversionszeit, TI) in ihren Ausgangszustand zurück. In Abhängigkeit von der Gewebeart erfolgt dies mit einer kürzeren oder längeren T_1 -Relaxationszeit. Verglichen mit einem einfachen 90° -Puls kommt es zu einer breiteren Auffächerung der Spinzustände in den verschiedenen Gewebearten, wodurch beim nachfolgenden 90° -Puls die Quermagnetisierung je nach Gewebe unterschiedlich stark ausfällt.

Der Vorteil einer Gradientenecho-Sequenz (GE) gegenüber einer Spinecho-Sequenz besteht in einer verkürzten Bildakquisitionszeit. Zum einen werden Hochfrequenzpulse mit Kippwinkeln $< 90^\circ$ verwendet, um die Spins aus der z -Richtung auszulenken. Dadurch verkürzt sich die Rückkehrzeit der Spins in ihren Ausgangszustand, die somit schneller wieder in ausreichender Zahl für eine erneute Anregung zur Verfügung stehen. Zum zweiten wird der zeitraubende 180° -Puls zur Rephasierung der Spins durch einen Gradienten ersetzt. Dazu dient eine zusätzliche

Spule, die das statische Magnetfeld zu einer Seite hin etwas verstärkt, zur anderen Seite etwas abschwächt. Das Magnetfeld besitzt jetzt einen Gradienten, der dafür sorgt, dass das Magnetfeld linear unterschiedliche Stärken aufweist. Dies führt dazu, dass sich die Präzessionsfrequenzen f , die ja abhängig sind von der Stärke des umgebenden Magnetfeldes, entlang der Achse des Gradienten voneinander unterscheiden. Nach dem initialen Puls wird der Gradient in eine bestimmte Richtung geschaltet, so dass die Spins zusätzlich zur Querrelaxation dephasieren. Ein anschließend entgegengesetzter Gradient bringt die Spins wieder zurück in Phase. Dies führt zu einem Wiederanstieg des Signals, der als Gradientenecho bezeichnet wird. Die Gradientenecho-Sequenz ist daher kein Verfahren, um den T_2^* -Abfall des Signals zu kompensieren, vielmehr zerfällt das Signal innerhalb der T_2^* -Relaxationszeit, weshalb das Schalten der Gradienten und das Auslesen des Signals schnell erfolgen muss (kurzes TE). Zur Aufnahme von dreidimensionalen anatomischen Bildern des Gehirns eignet sich beispielsweise die MPRAGE-Sequenz (*magnetization-prepared rapid acquisition gradient echo*), mit Hilfe derer der 3D-Raum mit dünnen Schichten ohne Schichtabstand in kurzer Messzeit aufgenommen werden kann. Sie beginnt wie die Inversion-Recovery-Sequenz mit einem die Spins invertierenden 180° -Puls, wird dann aber mit einer Gradientenecho-Sequenz fortgesetzt. Der Inversionspuls bewirkt wiederum eine T_1 -Gewichtung zur besseren Kontrastierung verschiedener Gewebearten. Der nachfolgende Puls verwendet einen äußerst kleinen Kippwinkel $< 45^\circ$, so dass die Spins schnell für die nächste Messung zur Verfügung stehen (kurzes TR). Man erhält auf diese Weise 3D-Bilder mit hoher Auflösung und gutem Kontrast in relativ kurzer Zeit.

EPI-Sequenzen (*echo-planar imaging*) schließlich ermöglichen eine besonders kurze Akquisitionszeit und sind daher gut für die funktionelle Bildgebung geeignet. Da die EPI-Sequenz selbst primär für das Auslesen des Signals zuständig ist, kann sie mit verschiedenen Präparationspulsen kombiniert werden. Die Echos werden durch wiederholtes Hin- und Herschalten des Auslesegradienten mit wechselnden Vorzeichen erzeugt, so dass mit einer Anregung eine ganze Schicht gemessen werden kann. Ein Bild kann so in weniger als 100 ms generiert werden. Nach dem Hochfrequenzpuls dephasiert ein Gradient das Signal, in x-Richtung wird anschließend ein konstanter oder geblippter Gradient geschaltet und in y-Richtung ein oszillierender Gradient, der das Echosignal refokussiert. Da das Signal innerhalb der T_2^* -Zeit abnimmt, bleibt nicht viel Zeit für viele Pulse und die Bildmatrix muss daher gering gehalten werden. EPI-Sequenzen sind mit einigen Nachteilen verbunden, die zu berücksichtigen sind. Das repetitive Schalten des Gradienten sorgt z. B. für eine hohe Laut-

stärkebelastung und erzeugt zusätzliche Inhomogenitäten, die zu geometrischen Verzerrungen des MR-Bildes führen. Dieser Effekt nimmt mit der Feldstärke des Hauptmagnetfeldes zu und entsteht vorrangig an Übergängen von unterschiedlich magnetisierbaren Geweben. Durch die Spinecho-Technik werden diese Inhomogenitäten vollständig kompensiert, bei den Gradientenecho-Techniken können in den Bereichen der Feldinhomogenität sehr starke Signalverluste auftreten.

4.1.2. Prinzip der funktionellen Magnetresonanztomographie⁴

Mittels der funktionellen Magnetresonanztomographie (fMRT) werden im Gegensatz zur anatomischen MR-Bildgebung nicht Einzelaufnahmen des Gehirns gemacht, sondern ganze Serien von Bildern aufgenommen. Diese Aufnahmen sollen Aufschluss über die neuronale Aktivität des Gehirns geben. Funktionelle Beanspruchung von Neuronen ist mit einem erhöhten Energie- und damit Sauerstoffverbrauch verbunden. Zur Kompensation der angestiegenen metabolischen Aktivität wird diesen Arealen nach etwa zwei Sekunden sauerstoffreiches Blut zugeführt. Da mehr Sauerstoff zugeführt wird, als notwendig ist, enthält das Blut noch nach Vorbeifluss an den Neuronen und nach Entnahme von Sauerstoff mehr sauerstoffreiche Anteile als bei Inaktivität der Neuronen. Diese erhöhte lokale Sauerstoffkonzentration im Blut (BOLD-Effekt, *blood oxygenation level dependency*) ist somit ein Indikator für die Aktivität von Neuronenverbänden (Ogawa et al., 1992) und wird für die funktionelle MR-Bildgebung genutzt. Der notwendige Sauerstoff wird im Blut über das Hämoglobinmolekül transportiert. Dieses enthält ein Eisenatom, das im Verbund mit dem Sauerstoff die magnetischen Eigenschaften des Blutes bestimmt. Da sauerstoffarmes Blut mehr paramagnetisches Desoxyhämoglobin enthält und sauerstoffreiches Blut mehr diamagnetisches Oxyhämoglobin, unterscheidet sich die magnetische Empfindlichkeit (Suszeptibilität) in den entsprechenden Regionen. In neuronal aktiven Regionen mit mehr Oxyhämoglobin gleichen sich die magnetischen Eigenschaften des Hämoglobins denjenigen des umgebenden Blutplasmas an. Dadurch verlangsamt sich der Zerfall der Quermagnetisierung, was sich in T_2^* -gewichteten Sequenzen in einem Signalanstieg äußert.

Die Signalunterschiede sind jedoch zu gering, um einen Kontrast zum umliegenden Gewebe sichtbar zu machen. Die Differenz ist besser im Vergleich zu einem MR-Bild der gleichen Region in einer Ruhephase sichtbar. Um dies zu erreichen, muss über das experimentelle Design ein Wech-

⁴Binder & Rao, 1994; Dogil et al., 2002; Heeger & Ress, 2002; Hendrix, 2004; Rugg, 1999; Savoy, 2002; Stöcker & Shah, 2007

sel von Oxy- und Desoxyhämoglobin bewirkt werden. Dies geschieht, indem während der Untersuchung mindestens zwei funktionelle Bedingungen dargeboten werden. Um eine statistisch verifizierbare Auswertung des Sauerstoffunterschieds zu ermöglichen, werden diese beiden Bedingungen mehrfach in Alternation präsentiert. Vielfach verwendet wird das sogenannte Blockdesign, bei dem jede Aufgabe mit mehreren Stimuli über einen längeren Zeitraum (etwa 20 – 30 s) dargeboten wird, auf den dann möglicherweise eine Ruhephase etwa der gleichen Länge folgt und anschließend ein Block Stimuli der Kontrollbedingung. Alternativ können Stimuli auch einzeln angeboten werden, wobei nach jedem eine Ruhephase notwendig wird, bis der Oxyhämoglobinspiegel wieder sein normales Niveau erreicht hat. Dieses ereigniskorrelierte Design erzeugt zwar ein schwächeres Signal, erlaubt es aber, jeden Stimulus für sich (z. B. anhand des Antwortverhaltens des Probanden) auszuwerten. Die Aufgaben in den einzelnen Bedingungen werden so gewählt, dass sich beide in untersuchungsrelevanten Aspekten unterscheiden, wobei die Experimentalaufgabe mehr oder andere Verarbeitungsschritte involviert als die Kontrollaufgabe. Diese Art der Stimuluspräsentation ist Grundlage für die sogenannte Subtraktionsmethode. Die funktionellen Komponenten, die beiden Aufgaben gemeinsam sind, bewirken keine Veränderung des Oxyhämoglobinsanteils im Blut. Funktionen, die beide Bedingungen unterscheidet, verursachen dagegen optimalerweise in wenigen Hirnarealen diesen Wechsel des Sauerstoffgehalts und damit eine Änderung in der Signalintensität. Somit sollte das Resultat der funktionellen Messung im Idealfall exakt die Verarbeitungsschritte widerspiegeln, die beide Aufgaben voneinander unterscheidet. Areale, in denen sich die Signalintensität auf diese Weise ändert, lassen sich dann mit der entsprechenden (kognitiven) Funktion assoziieren.

Um die Areale zu identifizieren, in denen sich dieser Wechsel an Signalintensitäten zeigt, wird eine statistische Prozedur angewendet, die die Voxel aufdeckt, deren Signaländerung dem zeitlichen Muster der Aktivierungsaufgabe entspricht. Häufig wird dazu für jedes Voxel eine Korrelationsanalyse des gemessenen Signalverlaufs mit einer Referenzfunktion durchgeführt. In Abbildung 4.3 ist beispielhaft die Signaländerung über die Zeit im Vergleich zu einer 2-Gamma-Referenzfunktion dargestellt. Das BOLD-Signal errechnet sich als prozentuale über alle Ereignisse gemittelte Abweichung des Signals während der Experimentalbedingung vom Signal während der Ruhebedingung oder einer Kontrollaufgabe. Je größer diese Änderung ist, desto stärker ist die regionale neuronale Aktivität. Das MR-Signal beginnt typischerweise innerhalb der ersten zwei Sekunden nach Stimulusbeginn anzusteigen und erreicht sein Maximum bei

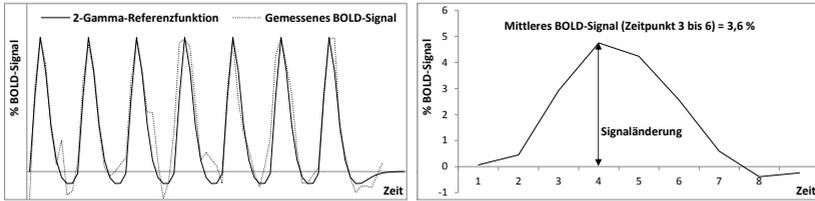


Abbildung 4.3. Beispiel eines BOLD-Signalverlaufs. Links: Die schwarze Kurve zeigt den gemessenen Signalverlauf während der Alternation von Experimentalbedingung und Ruhezeit, die gepunktete Kurve die erwartete hämodynamische Antwortfunktion in Form einer 2-Gamma-Funktion. Rechts: Die mittlere Signaländerung über sämtliche Stimuli (einer Bedingung) in einem Experiment ergibt als Vergleich zwischen Experimentalbedingung und Ruhe das prozentuale BOLD-Signal für die Auswertungsregion.

etwa vier Sekunden. Nach Abbruch der Experimentalaufgabe fällt das Signal rasch wieder ab und kehrt nach etwa zwölf Sekunden auf das Niveau der Ruhebedingung zurück, wenn sich wieder ein Gleichgewicht zwischen Anteilen von Oxy- und Desoxyhämoglobin eingestellt hat. Zuvor ist jedoch oftmals noch ein Absinken des Signals unter dieses Niveau zu erkennen, das darauf hindeutet, dass in dieser Region zu diesem Zeitpunkt weniger sauerstoffreiches Blut vorhanden ist. Dieser Verlauf wird als hämodynamische Antwortfunktion bezeichnet.

Dieser BOLD-Effekt liegt bei Magnetfeldstärken von 1,5T bei 2 – 4% des MR-Signals. Zur Abgrenzung des Signals vom Rauschsignal werden bei EPI-Sequenzen isotrope Voxel-Größen mit einer Kantenlänge von 2,0 – 3,5 mm verwendet. Diverse Faktoren spielen bei der Entstehung des Rausch- und Störsignals eine Rolle. Durch Erwärmung der Scanner-Hardware kann es zu einer kontinuierlichen Veränderung der Bildintensität kommen. Zusätzlich erzeugt der Proband selbst meist wenig beeinflussbare Störungen durch Kopfbewegungen, langsame globale Veränderungen des allgemeinen Blutsauerstoffgehalts oder physiologische Faktoren wie Herzschlag und Atmung, wodurch Änderungen der Signalintensitäten hervorgerufen werden, die das eigentliche Signal überlagern und verfälschen (Turner et al., 1998).

Weiterhin lässt sich neuronale Aktivität aber auch messen als Anzahl der Voxel, in denen sich die Signaländerung dem zeitlichen Verlauf des Stimulationsprotokolls entsprechend verhält. Je mehr Voxel diesen Verlauf aufweisen, desto stärker ist die regionale Aktivität.

4.2. Studienbeschreibung

4.2.1. Messmethode/Datenerhebung

Die Untersuchungen wurden an einem 3-Tesla-Kernspintomographen (Siemens Trio, Erlangen, Deutschland) durchgeführt, der mit einer 8-Kanal-Kopfspule ausgerüstet war. Die Präsentation der Stimuli erfolgte mit dem Programm Presentation 9.20 (Neurobehavioral Systems, Inc., Albany, USA), das zugleich die Aufzeichnung des über Knopfdruck gegebenen Antwortverhaltens ermöglichte. Die akustischen Stimuli wurden binaural in Mono über MRT-kompatible elektrodynamische Kopfhörer (MR confon, Magdeburg, Deutschland; Baumgart et al., 1998) präsentiert. An diesen Kopfhörern waren Lautsprecher befestigt, mit denen die gesprochenen Antworten der Probanden auf ein separates Notebook übertragen wurden und dort mit dem Programm Cool Edit 2000 (Syntrillium Software Corporation, Phoenix, USA) aufgezeichnet wurden. Visuelle Stimuli wurden von einem Videoprojektor auf einen Bildschirm projiziert, der innerhalb des Scanners über ein Spiegelsystem zu sehen war. Zum Schutz gegen die lauten Scannergeräusche trugen die Probanden Ohrstöpsel. Zusätzlich unterstützten auch die Kopfhörer die Reduktion des Geräuschpegels. Das Kopfhörersystem diente außerdem der Kommunikation mit dem Untersuchungsleiter. Um den Kopf der Probanden weitgehend ruhig zu lagern, wurde dieser mit Hilfe von Kissen fixiert.

Bevor die Probanden im Scanner gelagert wurden, erhielten diese eine ausführliche Instruktion mit Beispielen zur Klärung ihrer Aufgabe bei der Durchführung des Experiments. Im Scanner wurde in einer ersten Messung die exakte Kopfposition bestimmt, indem in jede der drei Raumrichtungen jeweils eine Aufnahme der Hirnanatomie aufgezeichnet wurde (Dauer = 9 s). Anschließend wurde ein hochaufgelöster, T_1 -gewichteter Datensatz mit einer MPRAGE-Sequenz (192 axial ausgerichtete Schichten, Schichtdicke = 1 mm isotrope Auflösung, Sichtfeld = $256 \times 256 \text{ mm}^2$, Voxelgröße = $1 \times 1 \times 1 \text{ mm}^3$, TR = 2500 ms, TE = 4,77 ms, TI = 1100 ms, Dauer = 9 min 20 s) aufgenommen, der das gesamte Gehirn abdeckte und der Rekonstruktion der individuellen dreidimensionalen Hirnanatomie diente. Vor den weiteren Messungen wurde die Experimentalmethode überprüft, insbesondere, auf die Funktion der Taster für die Antworten, die per Knopfdruck gegeben werden sollten und ob die akustische Präsentation der Stimuli ausreichend laut und auf beiden Ohren gleich laut erfolgte. Weiterhin wurde getestet, ob die Probanden laut genug sprachen, um die mündlichen Antworten in der späteren Analyse vom Scannergeräuschs differenzieren zu können. Danach erfolgte zunächst die Aufnahme eines ebenfalls T_1 -gewichteten, anatomischen, zweidimensionalen Da-

tensatzes mit einer IR-EPI-Sequenz (TR = 20 000 ms, TE = 34 ms, TI = 1450 ms) mit gleicher Orientierung und Geometrie wie bei den funktionellen Bildern und zum Schluss die Aufnahme der funktionellen Bilder mittels einer T_2^* -gewichteten GE-EPI-Sequenz (32 axial orientierte Schichten, Schichtdicke = 3 mm, Schichtzwischenraum = 0,3 mm, Sichtfeld = $192 \times 192 \text{ mm}^2$, Matrix = 256×256 Voxel, Voxelgröße = $3 \times 3 \times 3 \text{ mm}^3$, TR = 2000 ms, TE = 30 ms, TI = 62 ms, Pulswinkel = 80°). Beide Datensätze wurden parallel zur sylvischen Furche gemessen, wobei die Ausrichtung leicht variiert wurde von Proband zu Proband, um sicherzustellen, dass das Großhirn weitgehend erfasst wurde. Außerhalb des Messbereichs lagen jedoch äußerst superiore Schichten des Frontal- und Parietallappens, größere Bereiche des Okzipitallappens und das Kleinhirn. Um einen stabilen Magnetisierungszustand zu erreichen, begannen die funktionellen Messungen mit jeweils vier Aufnahmen, die anschließend verworfen wurden.

Vier unterschiedliche Experimente wurden durchgeführt mit leicht unterschiedlicher Dauer und folglich unterschiedlicher Anzahl an Bildern jeder Hirnschicht (Experiment 1: 532 Volumen = 17 min 44 s; Experiment 2: 734 Volumen = 24 min 28 s; Experiment 3: 644 Volumen = 21 min 28 s; Experiment 4: 610 Volumen = 20 min 20 s). Die Durchführung je einer Untersuchung betrug weniger als eine Stunde.

4.2.2. Datenvorverarbeitung

Sämtliche Verarbeitungs- und Analyseschritte der MRT-Daten erfolgten mit Hilfe des Programms BrainVoyager QX Version 1.8.6 (Brain Innovation, Maastricht, Niederlande). Nach Einlesen der anatomischen 3D-Daten wurden diese, basierend auf einer Interpolation mit sinc-Funktion, in den Talairach-Raum überführt, indem neben der anterioren und posterioren Kommissur die sechs äußersten Punkte der Gehirne markiert wurden, um die individuelle Hirnanatomie durch Streckung und Stauchung der Größe des stereotaktischen Talairach-Raums anzupassen (Talairach & Tournoux, 1988).

Die funktionellen Daten wurden sehr gründlich auf Fehler durch Scannerdefekte oder starke Grauwertschwankungen aufgrund von Kopfbewegung der Probanden untersucht. Dies erfolgte zunächst visuell, indem die Volumen als schnelle Folge von Bildern betrachtet wurden, um artefaktbehaftete Daten bei Bedarf aus der Auswertung auszuschließen. Danach folgte eine Standardsequenz von Vorverarbeitungsschritten, die eine Schichtscanzeitkorrektur (sinc-Interpolation), eine 3D-Bewegungskorrektur (trilineare/sinc-Interpolation), eine lineare Trendbereinigung sowie eine zeitliche Filterung mit einem Hochpassfilter von zwei

Zyklen pro Scan beinhaltete. Die Daten wurden nicht räumlich geglättet. Die Ergebnisse der 3D-Bewegungskorrektur (eine log-Datei mit Angaben über die Translation und Rotation des Kopfes von Volumen zu Volumen in eine der drei Raumrichtungen) wurden ausgewertet und für jeden Probanden die Stärke der Bewegung festgestellt. Datensätze, in denen die Probanden ihren Kopf mehr als 3 mm in eine Richtung bewegt oder mehr als 3° in eine Richtung rotiert haben, wurden aus der Analyse ausgeschlossen (Goebel et al., 2006). Weiterhin wurden auch Datensätze mit geringerer Bewegung ausgeschlossen, wenn die Probanden ihren Kopf zu oft sprunghaft bewegt haben, da insbesondere durch diese ruckhaften Bewegungen Signalartefakte entstehen können. Ein Sprung wurde definiert als eine Translation oder Rotation des Kopfes von einem Volumen zum nächsten um mehr als 0,5 mm oder 0,5° oder eine Bewegung von mehr als 1,0 als Summe über alle Raumrichtungen. Erfolgten derartige Sprünge mindestens zehnmals, wurde der entsprechende Datensatz aus der Analyse ausgeschlossen, kam es seltener zu diesen Sprüngen, wurden lediglich die entsprechenden Volumen im Sinne einer Ausreißerkorrektur aus der statistischen Analyse entfernt.

Da die anatomischen 2D-Daten eine sehr gute Auflösung besitzen, wurden diese dann als optische Darstellung über die funktionellen Daten gelegt. Dies ermöglichte zum einen die bessere Lokalisation von funktioneller Aktivität im 2D-Raum, zum anderen unterstützte die bessere Auflösung die Koregistrierung der 2D- mit den 3D-Daten. Beide 2D-Datensätze gemeinsam wurden anschließend in ihrer Lage dem anatomischen 3D-Datensatz automatisch angepasst (Koregistrierung) und damit ebenfalls in den 3D-Talairach-Raum überführt. Daraus resultierte schließlich ein funktioneller Datensatz, dem ein räumlich gut aufgelöster 3D-Datensatz überlagert war und anhand dessen sich funktionelle Aktivierung gut lokalisieren ließ.

4.2.3. Datenanalyse und Interesseregionen

Für jeden Probanden wurde ein individuelles Experimentalprotokoll auf der Basis des jeweiligen Antwortverhaltens erstellt. In die Analyse der Antworten ging je nach Experiment die Korrektheit und Art der mündlichen Reaktionen ein oder die Bewertung der Stimuli mittels Knopfdruck. Weiterhin wurde die Reaktionszeit sowohl für die Knopfdruckreaktionen als auch für die mündlichen Antworten ausgewertet und die Stimuli dementsprechend in zwei jeweils gleich große Gruppen (schnelle Antwort und langsame Antwort) untergliedert. Die Experimentalprotokolle waren bezüglich der Anzahl und der Klassifizierung der Bedingungen für alle Probanden eines Experiments identisch, die zeitliche Anordnung der einzel-

nen Bedingungen und die Häufigkeit, mit der eine Bedingung auftrat, variierte jedoch von Proband zu Proband in Abhängigkeit vom Antwortverhalten. Volumen, zu deren Aufnahmezeit starke Kopfbewegung erfolgt war, wurden im Protokoll extra gelistet, damit diese nicht in die Datenauswertung einfließen konnten. Auf Grundlage dieses Experimentalprotokolls war es dann möglich, die entsprechenden Bedingungen gegeneinander zu testen.

Die parametrischen Aktivierungskarten wurden innerhalb des Programms BrainVoyager QX mit Hilfe eines allgemeinen linearen Modells (eine Methode zur multiplen Korrelationsrechnung) für jedes einzelne Voxel berechnet und in allen vier Experimenten für jeden Probanden separat erstellt. Der erwartete hämodynamische Signalverlauf wurde mittels einer 2-Gamma-Funktion modelliert (Maximum, *response peak*, nach 5 s; Minimum, *undershoot peak*, nach 15 s; Verhältnis von Maximum- und Minimum-Amplitude, 6). Prädiktoren für den erwarteten Signalverlauf waren zum einen die in den Experimentalprotokollen verzeichneten Bedingungen, zum anderen die Kopfbewegungen über die Zeit in alle Raumrichtungen, um so den Einfluss auch der kleineren Kopfbewegungen auf die Signaländerung zu gewichten.

Die Auswertung der Aktivierungen erfolgte anhand von Interesseregionen (ROIs, *regions-of-interest*). Diese wurden für jeden Probanden anhand seiner individuellen Anatomie definiert und befanden sich sämtlich in den Temporallappen. Die exakte Lage der insgesamt 40 Interesseregionen orientierte sich am Anstieg der superioren Temporalsulci (STS) entlang der y-Achse des Gehirns von anterior nach posterior. Es wurden in beiden Hemisphären jeweils drei Reihen von ROIs gebildet, jede mit einer Höhe von zehn Voxeln, so dass der superiore Teil des STG (sSTG), der inferiore Teil des STG (iSTG, die obere Bank des STS) und der obere Teil des MTG (sMTG, untere Bank des STS) abgedeckt waren (Abbildung 4.4). Die obere Reihe der ROIs erstreckte sich von anterior $y = 29$ bis posterior $y = -50$ (anteriore ROIs, a: $29 \geq y \geq 10$, mittig-anteriore ROIs, ma: $9 \geq y \geq -10$, mittig-posteriore ROIs, mp: $-11 \geq y \geq -30$, posteriore ROIs, p: $-31 \geq y \geq -50$) und von lateral $x = \pm 69$ bis medial $x = \pm 34$. Die mittlere Reihe der ROIs wurde zur oberen Reihe um fünf Koordinatenpunkte nach hinten verschoben, die untere Reihe um zehn Koordinatenpunkte. Da der Anstieg des STS in Abhängigkeit von der Position entlang der x-Achse (lateral – medial) variierte, wurde der Anstieg der ROIs dem STS in vier Schritten angepasst. Er war identisch für eine Breite von neun Voxeln, mit jeweils vier Voxeln links und rechts von $x = \pm 65, \pm 56, \pm 47$ und ± 38 . Diese zwölf einzelnen ROIs jeder Hemisphäre wurden zusätzlich von anterior nach posterior zusammengefasst zu drei ROIs (sSTG, iSTG,

sMTG), von superior nach inferior zu vier ROIs (a, ma, mp, p) und insgesamt zu einem weite Teile des Temporallappens abdeckenden temporalen ROI. Die Anzahl der Voxel, aus denen die einzelnen ROIs bestanden, sowie deren Zentren sind in Tabelle 4.2 angegeben.

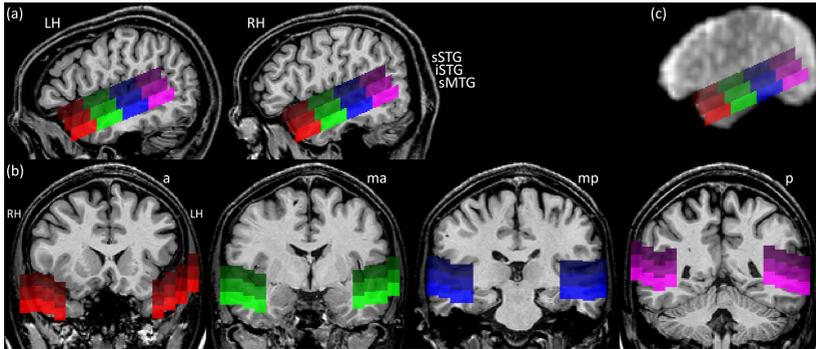


Abbildung 4.4. Beispiel der Lage der Interesseregionen. (a) Die Sagittalansichten mit $x = 50$ (RH) und $x = -50$ (LH) zeigen die Lage der ROIs entlang des superioren Temporalsulcus bei einem Probanden. Die oberste Reihe der ROIs deckt primär den superioren Teil des STG ab, die mittlere Reihe der ROIs den inferioren Teil des STG und die untere Reihe der ROIs den superioren Teil des MTG. Die roten ROIs liegen im anterioren Temporallappen, die grünen ROIs im mittig-anterioren, die blauen ROIs im mittig-posterioren und die lila ROIs im posterioren Temporallappen. (b) Darstellung der ROIs in der Koronalebene mit $y = 15$ (anterior; rot), $y = -5$ (mittig-anterior; grün), $y = -25$ (mittig-posterior; blau), $y = -45$ (posterior; lila). (c) Sagittalansicht ($x = 50$) des ersten gemessenen EPI-Volumens, das die Hirnregionen sichtbar macht (graue Farbgebung), in denen ein MR-Signal gemessen wurde. Die definierten ROIs befinden sich somit in den Bereichen des Temporallappens, die ein reliables MR-Signal erzeugten.

Die weitere statistische Analyse der Aktivierungen basierte jedoch nicht auf allen Voxeln eines ROIs, sondern nur auf den signifikant aktivierten Voxeln, wenn diese ein Aktivierungscluster bestehend aus mindestens vier Einzelvoxeln der Größe $3 \times 3 \times 3 \text{ mm}^3$ bildeten. Die Aktivierungskarten wurden mit Hilfe des entsprechenden allgemeinen linearen Modells berechnet und räumlich nicht geglättet. Das Hauptsignifikanzniveau wurde als $t \geq 4$ ($p < 0,000072$) festgesetzt, wenn eine Experimentalbedingung mit der Ruhebedingung kontrastiert wurde. Bei Testung zweier Experimentalbedingungen gegeneinander wurde $t \geq 3$ gewählt. Zur Abstufung der Selektivität der Aktivierung einer bestimmten Bedingung wurde auch der Wert $t \geq 1,65$ ($p \leq 0,05$) verwendet. Selektive Aktivierung durch einen bestimmten Stimulustyp wurde dann angenommen,

Tabelle 4.2. Definition der Interesseregionen. Angegeben sind die Namen der einzelnen ROIs und der von anterior bis posterior (letzte Spalte) und superior bis inferior (letzte Zeile) zusammengefassten ROIs sowie die Anzahl der Voxel, aus denen sich das entsprechende ROI zusammensetzt. Die über alle Probanden gemittelten Zentren der ROIs der linken und rechten Hemisphäre sind als Koordinaten im Talairach-Raum (x,y,z) angegeben.

	anterior		mittig-anterior		mittig-posterior		posterior		gesamt	
	LH	RH	LH	RH	LH	RH	LH	RH	LH	RH
superiorer STG	a sSTG	7200	ma sSTG	7200	mp sSTG	7200	p sSTG	7200	sSTG	28800
	-52; 20; -12	52; 20; -13	-52; -1; -1	52; -1; -1	-52; -20; 10	52; -20; 11	-52; -40; 22	52; -40; 24	-52; -10; 5	52; -10; 5
inferiorer STG	a iSTG	7200	ma iSTG	7200	mp iSTG	7200	p iSTG	7200	iSTG	28800
	-52; 14; -20	52; 14; -20	-52; -6; -8	52; -6; -8	-52; -26; 3	52; -26; 5	-52; -46; 15	52; -46; 17	-52; -16; -2	52; -16; -2
superiorer MTG	a sMTG	7200	ma sMTG	7200	mp sMTG	7200	p sMTG	7200	sMTG	28800
	-52; 10; -27	52; 10; -27	-52; 10; -15	52; -10; -15	-52; -30; 4	52; -30; -2	-52; -50; 8	52; -50; 10	-52; -20; -10	52; -20; -9
gesamt	a	21600	ma	21600	mp	21600	p	21600	gesamt	86400
	-52; 14; -20	52; 14; -20	-52; -6; -8	52; -6; -8	-52; -26; 3	52; -26; 5	-52; -46; 15	52; -46; 17	-52; -16; -2	52; -16; -2

wenn der entsprechende Stimulus mit $t \geq 4$ gegenüber der Ruhebedingung und den Kontrollbedingungen zur signifikanten Aktivierung eines Voxels führte und die Kontrollbedingungen nicht einmal mit $t = 1,65$ aktiviert waren. Stark sensitive Aktivierung wurde dann angenommen, wenn der entsprechende Stimulus mit $t \geq 4$ gegenüber der Ruhebedingung und den Kontrollbedingungen zur signifikanten Aktivierung eines Voxels führte, unabhängig davon, ob die Kontrollbedingungen ebenfalls in diesem Voxel eine Aktivierung verursachten. Schwach sensitive Aktivierung einer Bedingung wurde angenommen, wenn der entsprechende Stimulustyp zu einer signifikanten Aktivierung mit $t \geq 4$ gegenüber der Ruhebedingung führte und der Unterschied zwischen dem Stimulus und den Kontrollstimuli jeweils $t \geq 1,65$ betrug. Weiterhin flossen nur die Voxel in die Auswertung ein, deren funktionelles EPI-Signal (Abbildung 4.4 c) einen Grauwert von mindestens 75 aufwies, um Artefakte aus Regionen mit zu geringer Signalstärke auszuschließen.

Nach Eingrenzung der ROIs auf die signifikant und reliabel aktivierten Voxel wurden diese in jedem ROI gezählt und ein ROI-basiertes ALM gerechnet, um die geschätzten beta-Werte für jede Bedingung als Maß der Effektstärke zu bestimmen. Um die Signaländerungen über die einzelnen Probanden hinweg vergleichen zu können, wurden die Daten einer z-Transformation unterzogen, anhand derer die Grauwerte jedes Datensatzes auf einen Mittelwert von 0 und eine Streuung von 1 umgerechnet wurden. Weiterhin wurde das ereigniskorrelierte Mittel des BOLD-Signals für jede Bedingung berechnet. Dieses zeigt die prozentualen Signalschwankungen an, die von einem Stimulustyp ausgelöst werden, und ist somit ein Ausdruck für die Aktivierungsstärke, die ein Stimulus in einem bestimmten Areal auslöst. Die Länge der Mittelung über das BOLD-Signal variierte in Abhängigkeit von der Dauer der Ruhebedingung jedes Experiments (Unterabschnitt 4.2.5, Seite 80), wurde allgemein jedoch beginnend jeweils ein Volumen vor Stimulusbeginn und endend ein Volumen nach dem darauf folgenden Stimulusbeginn definiert. Zur Berechnung des Baseline-Grauwerts während der Ruhebedingung wurden die drei aufeinanderfolgenden Volumen vor Signalanstieg genutzt (= 6 s). Dabei handelte es sich um die zwei Volumen vor jedem Stimulusbeginn und dem Volumen während der Stimuluspräsentation. Da das BOLD-Signal üblicherweise frühestens 2 s nach Stimulusbeginn anfängt zu steigen und die Stimulusdauer genau 2 s betrug, wurde dieser Zeitpunkt mit als Baseline-Zeitpunkt bestimmt. Aus diesem Signalverlauf wurde dann für jede Bedingung ein Einzelwert extrahiert, der ähnlich zum beta-Wert die Effektstärke reflektiert und die Grundlage für die weitere statistische Analyse des BOLD-Signals darstellte. Dieser Einzelwert wurde definiert als der Mit-

telwert des prozentualen BOLD-Signals der Volumen drei bis sechs nach Beginn der Stimuluspräsentation. Diese Volumen stellten über alle Experimente die Zeiten dar, zu denen das Signal maximal war. Der Signalpeak wurde in allen Experimenten in fast allen Regionen zum Zeitpunkt der Aufnahme des vierten Volumens nach Stimulusbeginn gemessen.

Außerdem wurden für jedes ROI zwei Selektivitätsindizes (SEL) berechnet, die den Unterschied in der Aktivierungsstärke zwischen der Experimental- und den jeweiligen zwei Kontrollbedingungen angeben. Einer der Selektivitätsindizes basierte dabei auf den BOLD-, der andere auf den beta-Werten. Folgende Formel wurde zur Berechnung der Selektivitätsindizes verwendet:

$$SEL = 100 - \frac{\text{Mittelwert}(\text{Wert}_{\text{Kontrollbedingung1}}; \text{Wert}_{\text{Kontrollbedingung2}})}{\text{Wert}_{\text{Experimentalbedingung}}} \cdot 100$$

Der Selektivitätsindex bewegt sich damit zwischen 0 und 100. Je größer der prozentuale Unterschied in der Aktivierung zwischen Kontroll- und Experimentalbedingung ist, desto größer ist der Index⁵. Der Wert ist klein, wenn alle Stimuli eine etwa gleich starke Aktivierung hervorrufen. Falls die Kontrollbedingungen zu einer Deaktivierung führen (was sich in negativen BOLD- oder beta-Werten äußert), nimmt der Selektivitätsindex Werte über 100 an.

Um die Veränderung der Signalstärke einer Bedingung von einem ROI zum anderen quantifizieren zu können, wurde für jede der drei Bedingungen, aus denen die Selektivitätsindizes berechnet wurden, in jedem ROI der prozentuale Wert im Vergleich zum Signal des ROIs mit dem maximalen Wert ermittelt. Zum einen fand der Vergleich der Werte einer Bedingung entlang der superior-inferior-Achse statt. Dazu wurde für das Signal in einem ROI der prozentuale Wert im Vergleich zum Signal des in der gleichen superior-inferior-Ebene liegenden ROIs mit dem maximalen Signal bestimmt (% SI). Zum anderen fand der Vergleich der Werte entlang der anterior-posterior-Achse statt. Dazu wurde für das Signal in dem ROI der prozentuale Wert im Vergleich zum Signal des in der gleichen anterior-posterior-Ebene liegenden ROIs mit dem maximalen Signal bestimmt (% AP). Die Berechnungen erfolgten auch hier einmal anhand der BOLD- und einmal anhand der beta-Werten mittels der folgenden Formeln:

$$\%SI = \frac{\text{Wert}_{\text{max(superior-inferior)}} - \text{Wert}}{\text{Wert}_{\text{max(superior-inferior)}}} \cdot 100$$

⁵Der Selektivitätsindex reflektiert den prozentualen Signalunterschied zwischen Bedingungen, nicht jedoch die Stärke der Aktivierung. Ein hoher Selektivitätsindex kann auch dann entstehen, wenn die Experimentalbedingung nur schwache Aktivität hervorruft und die Kontrollbedingungen Aktivierungen nahe des Nullwertes. Um dies zu verhindern, wurden nur die Voxel in die Analyse einbezogen, die sich durch eine signifikante ($t \geq 4$) Aktivierung der Experimentalbedingung auszeichneten.

$$\%AP = \frac{Wert_{max(anterior-posterior)} - Wert}{Wert_{max(anterior-posterior)}} \cdot 100$$

Je kleiner der resultierende prozentuale Wert war, desto geringer war die Signalreduktion verglichen mit dem Maximalwert entlang der entsprechenden Achse. Je größer der resultierende Wert ausfiel, desto stärker unterschied sich das Signal in dem untersuchten ROI vom Signal in dem ROI mit dem maximalen Wert.

Damit lagen für alle vier Experimente für jedes der 40 ROIs Angaben über die Anzahl aktivierter Voxel, die beta- und BOLD-Werte für jede einzelne Bedingung, zwei Selektivitätsindizes und die Signalvergleichswerte entlang der zwei Raumrichtungen vor. Die extrahierten Werte wurden zwei Arten von statistischen Vergleichen unterzogen. Zum einen wurden die einzelnen ROIs auf Aktivierungsunterschiede zwischen den einzelnen Bedingungen hin untersucht, zum anderen für jede Bedingung, die Selektivitätsindizes und die Anzahl aktivierter Voxel ein Vergleich zwischen den ROIs vorgenommen. Dabei wurden einerseits die jeweils homologen ROIs beider Hemisphären miteinander verglichen, andererseits die ROIs entlang der y- (anterior – posterior) und der z-Achse (superior – inferior). Die statistische Analyse dieser Werte erfolgte mit Hilfe des Programms SPSS 8.0.0 (SPSS Inc., Chicago, USA). Zunächst wurden die Daten auf Normalverteilung überprüft. Da eine Vielzahl von Datenreihen anhand des Shapiro-Wilk-Tests keine Normalverteilung aufwies, wurden nicht-parametrische Tests zur Auswertung verwendet. Sämtliche p-Werte in dieser Arbeit sind für die zweiseitige Testung angegeben. Fehlerbalken in Abbildungen zeigen die Standardfehler (SE, *standard error*) des Mittelwertes an. Im Text und in den Tabellen im Anhang wurden die Ergebnisse ebenfalls als Mittelwert \pm Standardfehlern angegeben.

4.2.4. Probanden

Untersucht wurden gesunde, deutschsprachige Personen mit normaler Hörfähigkeit und normaler oder korrigierter Sehschärfe. Die Probanden wurden über die Methode der Kernspintomographie und deren mögliche Risiken aufgeklärt und mussten vor der Teilnahme am Experiment ihre Einwilligung dazu schriftlich erklären. Die Durchführung der Studie wurde zuvor vom Ethikkomitee der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg bewilligt. Die vier Experimente wurden mit unterschiedlichen Probanden durchgeführt.

4.2.5. Experimentelle Designs

4.2.5.1. Experiment 1

Probanden. Die Auswertung des Experiments 1 erfolgte anhand von 13 Datensätzen. Die fMRT-Messung wurde insgesamt mit 16 Personen durchgeführt. Drei Datensätze wurden jedoch nicht analysiert, da das Antwortverhalten der Probanden nicht entsprechend der Instruktion erfolgt war und daher die Aufteilung der Stimuli in die einzelnen Bedingungen nicht möglich war. Das Durchschnittsalter der 13 Probanden (8 weiblich, 5 männlich) betrug $23,7 \pm 1,7$ Jahre (Mittelwert \pm SD). Alle Probanden waren laut eigener Angabe Rechtshänder, wobei von 11 Probanden ein Händigkeitsindex erhoben wurde (Oldfield, 1971), der diese Probanden auch als rechtshändig einstuft. Weiterhin nahmen 8 Probanden an einer fMRT-Untersuchung zur Sprachlateralisierung teil (Bethmann et al., 2007), die bei allen eine Dominanz der linken Hemisphäre ergab.

Material. Präsentiert wurden 75 akustische Stimuli (wav-Dateiformat, 44100 Hz, 16 bit, mono), die als Ausschnitt spontanen mündlichen Äußerungen von 50 berühmten (davon 16 Frauen) und 25 unbekanntem deutsch sprechenden Personen (8 Frauen) entnommen worden waren. Diese Ausschnitte hatten jeweils eine Länge von zwei Sekunden und bestanden aus mehreren syntaktisch zusammenhängenden Wörtern (Phrasen, kurze Sätze), deren Inhalt jedoch keinen Aufschluss über die Identität des Sprechers gab (Hans-Dietrich Genscher: *... hängt wohl damit zusammen, je länger man lebt. . .*, Nena: *... ich bin davon überzeugt, dass man. . .*). Die Äußerungen stammen aus Videos, die der Öffentlichkeit auf den Webseiten der öffentlich-rechtlichen deutschen Rundfunkanstalten ARD (Arbeitsgemeinschaft der öffentlich-rechtlichen Rundfunkanstalten der Bundesrepublik Deutschland, <http://www.ard.de>) and ZDF (Zweites Deutsches Fernsehen, <http://www.zdf.de>) zur Verfügung gestellten wurden. Diese wurden mit Hilfe des Programms Cool Edit 2000 (Syntrillium Software Corporation, Phoenix, USA) aufgenommen, geschnitten, in Mono umgewandelt und in der Lautstärke normalisiert.

Methode. Die Stimuli wurden in Form eines langsamen ereigniskorrelierten fMRT-Designs präsentiert. Die Probanden hörten die Stimuli für 2 Sekunden, denen dann jeweils eine Pause von 12 Sekunden folgte. In dieser Zeit hatten die Probanden die Aufgabe, per Knopfdruck auf die Stimuli zu reagieren. Zunächst sollten sie angeben, ob ihnen die Stimme bekannt vorkam (bekannt = Zeigefinger, unbekannt = Mittelfinger). Falls ihnen die Stimme unbekannt war, sollten sie anschließend bestimmen, ob

es sich um einen männlichen (Zeigefinger) oder weiblichen (Mittelfinger) Sprecher handelte. Falls Sie angegeben hatten, dass ihnen die Stimme vertraut war, sollte eine Differenzierung zwischen Stimmen, zu denen den Probanden der Name einfiel (Zeigefinger) und Stimmen, zu denen ihnen der Name nicht einfiel (Mittelfinger), vorgenommen werden. Die Unterscheidung zwischen männlichen und weiblichen Stimmen wurde deshalb gefordert, um die Anzahl der Knopfdruckreaktionen für jeden Stimulus identisch zu halten. Auf diese Weise musste jeder Stimulus mit zweimal Knopfdruck beantwortet werden.

Analyse. Bei keinem der 13 Probanden, die in die Auswertung eingingen, war es nötig, Volumen aufgrund von starker Kopfbewegung aus der Analyse zu entfernen.

Entsprechend der Knopfdruckreaktionen wurden für jeden Probanden die Stimuli in drei Kategorien eingeteilt. Als unbekannte Stimmen (U) wurden die Stimmen klassifiziert, bei denen die Probanden anzeigten, die Sprecher nicht identifizieren zu können. Als bekannte Stimmen (B) wurden die Stimmen eingestuft, bei denen die Probanden anzeigten, die Stimmen wiedererkannt zu haben, aber den Namen des Sprechers nicht zu wissen oder die von unbekannt Personen stammten, bei denen die Probanden jedoch anzeigten, den Namen der Person nennen zu können. Benannten Stimmen (N) wurden die Stimmen zugeordnet, die von berühmten Sprechern stammen und bei denen die Probanden anzeigten, den Sprecher zu kennen und benennen zu können.

Die benannten Stimmen wurden als Experimentalbedingung definiert, so dass die Selektivitätsindizes dieses Experiments anhand folgender Formel berechnet wurden:

$$\text{Selektivitätsindex} = 100 - \frac{\text{Mittelwert}(U, B)}{N} \cdot 100$$

Durch Einstellen verschiedener Kombinationen von Prädiktoren auf das allgemeine lineare Modell wurden für alle Probanden drei Aktivierungskarten erstellt. Die erste Aktivierungskarte identifizierte die Voxel, die bei allen Stimmen unabhängig von ihrer Bekanntheit eine signifikant ($t \geq 4$) stärkere Aktivierung verglichen mit der Ruhezeit zeigten (UBN). Die zweite Aktivierungskarte identifizierte die Voxel, die spezifisch bei benannten Stimmen eine signifikant ($t \geq 4$) stärkere Aktivierung verglichen mit der Ruhezeit zeigten (N). In der dritten Aktivierungskarte wurden die Voxel identifiziert, die verglichen mit der Ruhezeit eine signifikante ($t \geq 4$) Aktivierung der benannten Stimmen zeigten und konjunktiv eine signifikant ($t \geq 3$) stärkere Aktivierung von benannten über unbekannte Stimmen (N & N > U).

4.2.5.2. Experiment 2

Probanden. Die Auswertung des Experiments 2 erfolgte anhand von 22 Datensätzen. Die fMRT-Messung wurde insgesamt mit 24 Personen durchgeführt. Zwei Datensätze wurden jedoch aufgrund zu starker Kopfbewegung der beiden Probanden nicht analysiert. Das Durchschnittsalter der 22 Probanden (14 weiblich, 8 männlich) betrug $26,2 \pm 3,1$ Jahre (Mittelwert \pm SD). Alle Probanden waren laut eigener Angabe Rechtshänder. Von 21 Probanden wurde ein Händigkeitsexindex erhoben, der die Probanden entsprechend als rechtshändig einstuft. Weiterhin nahmen 17 Probanden an der fMRT-Untersuchung zur Sprachlateralisierung teil, die bei 15 Probanden eine Dominanz der linken Hemisphäre ergab und bei 2 Probanden eine bilateral annähernd gleich starke Verarbeitung der sprachlichen Stimuli.

Material. Präsentiert wurden 80 Äußerungen von 70 berühmten (davon 27 Frauen) und 10 unbekanntem deutsch sprechenden Personen (4 Frauen). Weitere Angaben zum Stimulusmaterial sind im Unterunterabschnitt 4.2.5.1 auf Seite 80 zu finden.

Methode. Die Stimuli wurden in Form eines langsamen ereigniskorrelierten fMRT-Designs präsentiert. Die Probanden hörten die Stimuli für 2 Sekunden, denen dann jeweils eine Pause von 16 Sekunden folgte. In dieser Zeit hatten die Probanden die Aufgabe, mündlich und per Knopfdruck ihre Bekanntheit mit den Stimuli anzugeben. Nach Beendigung des Stimulus hatten die Probanden vier Sekunden Zeit, mündlich zu antworten. Die möglichen Antworten waren ihnen vor dem Experiment vorgegeben worden. Wenn ihnen die Stimme völlig unbekannt war, sollten sie *kenne ich nicht* sagen, kam ihnen die Stimme vertraut vor, ohne weitere Informationen zu der Person abrufen zu können, sollten sie *kommt mir bekannt vor* sagen. Wenn sie die Person identifiziert hatten, sollten sie entweder den Namen nennen oder, falls ihnen dieser nicht einfiel, die Person so akkurat wie möglich beschreiben, indem sie den Beruf, äußere Erscheinungsmerkmale oder andere charakterisierende Merkmale nannten. Die mündlichen Antworten wurden über ein Mikrofon aufgezeichnet. Das Ende der vier Sekunden wurde durch einen Sinuston (100 ms, 300 Hz, Ein- und Ausblenden über jeweils 10 ms) angezeigt. Danach sollten die Probanden nicht mehr sprechen und eigentlich auch nicht mehr über die wahrgenommene Stimme nachdenken. Da sich dies jedoch nicht verhindern lässt, wurde den Probanden die Möglichkeit eingeräumt, bei spontan einschließenden Ideen mittels Knopfdruck anzuzeigen, ob ihnen im

Gegensatz zur vorausgehenden mündlichen Äußerung noch die Identität der Person bewusst geworden (Mittelfinger) oder der Name eingefallen (Zeigefinger) ist.

Analyse. Bei vier der 22 Probanden, die in die Auswertung eingingen, wurden Volumen aufgrund von starker Kopfbewegung von der Analyse ausgenommen. Im Mittel kam es zu $4,3 \pm 3,3$ (SD, min = 1, max = 8) Zeitpunkten zu einer ruckhaften Kopfbewegung, wobei im Mittel $1,4 \pm 0,7$ (SD, min = 1, max = 3) aufeinanderfolgende Volumen entfernt wurden.

Entsprechend des verbalen Antwortverhaltens und der Knopfdruckreaktionen wurden für jeden Probanden die Stimuli in vier Kategorien eingeteilt. Als unbekannte Stimmen (U) wurden die Stimmen klassifiziert, bei denen die Probanden angaben, die Sprecher nicht identifizieren zu können. Als bekannte Stimmen (B) wurden die Stimmen eingestuft, bei denen die Probanden angaben, dass diese ihnen bekannt vorkamen, sie aber keine Beschreibung des Sprechers liefern konnten. Stimmen, die zu einer semantischen Beschreibung des Sprechers führten (unabhängig von deren Korrektheit), die mit einem falschen Namen benannt wurden oder bei denen die Probanden mittels Knopfdruck angaben, noch weitere Informationen abrufen zu können, nachdem die Zeitspanne zur overtten Äußerung abgelaufen war, wurden als Stimmen bewertet, die zu einem semantischen Abruf führten (S). Benannte Stimmen (N) waren all die, die overt korrekt benannt worden sind. Die benannten Stimmen wurden weiterhin untergliedert in langsam (N_L) und schnell (N_S) benannte Stimmen. Dazu wurden die Reaktionszeiten von Stimulusbeginn bis Beginn der korrekten overtten Antwort gemessen und eine Zweiteilung der benannten Stimmen anhand des Medians der Reaktionszeiten vorgenommen.

Die benannten Stimmen wurden als Experimentalbedingung definiert, so dass die Selektivitätsindizes dieses Experiments anhand folgender Formel berechnet wurden:

$$\text{Selektivitätsindex} = 100 - \frac{\text{Mittelwert (U,B)}}{N} \cdot 100$$

Für alle Probanden wurden drei Aktivierungskarten erstellt. Die erste Aktivierungskarte identifizierte die Voxel, die bei allen Stimmen unabhängig von ihrer Bekanntheit eine signifikant ($t \geq 4$) stärkere Aktivierung verglichen mit der Ruhezeit zeigten (UBN). Die zweite Aktivierungskarte identifizierte die Voxel, die spezifisch bei benannten Stimmen eine signifikant ($t \geq 4$) stärkere Aktivierung verglichen mit der Ruhezeit zeigten (N). In der dritten Aktivierungskarte wurden die Voxel identifiziert, die verglichen mit der Ruhezeit eine signifikante ($t \geq 4$) Aktivierung der be-

nannten Stimmen zeigten und konjunktiv eine signifikant ($t \geq 3$) stärkere Aktivierung von benannten über unbekannte Stimmen ($N \& N > U$).

4.2.5.3. Experiment 3

Probanden. An Experiment 3 nahmen 12 Probanden teil, deren Datensätze auch in die Analyse eingingen. Das Durchschnittsalter der 12 Probanden (8 weiblich, 4 männlich) betrug $25,3 \pm 3,2$ Jahre (Mittelwert \pm SD). 11 Probanden waren laut eigener Angabe Rechtshänder. Von 10 Probanden wurde ein Händigkeitindex erhoben, der 9 Probanden als rechtshändig einstufte. Ein Proband gab eine Linkshändigkeit an und wurde auch per Test so beurteilt. Weiterhin nahmen 11 Probanden an der fMRT-Untersuchung zur Sprachlateralisierung teil, die bei 9 Probanden eine Dominanz der linken Hemisphäre ergab, bei einer Probandin eine Bilateralität und bei einer weiteren Probandin eine rechtshemisphärische Dominanz. Beide Probandinnen waren mit dem Händigkeitstest als rechtshändig klassifiziert worden. Bei dem Linkshänder wurde eine linkshemisphärische Sprachdominanz festgestellt.

Material. Präsentiert wurden 90 akustische Stimuli (wav-Dateiformat, 44100Hz, 16 bit, mono), die drei verschiedenen Objektkategorien angehörten. Zum einen wurden analog zu den beiden ersten Experimenten Äußerungen von 20 berühmten und 10 unbekanntem deutsch sprechenden Personen vorgespielt. Weiterhin wurden 20 charakteristische Geräusche präsentiert, die von Tieren produziert wurden (Kuh, Hahn, Frosch), und 10 Tierlaute, von denen angenommen wurde, dass sie nicht eindeutig einem bestimmten Tier zuzuordnen sind. Schließlich beinhalteten die Stimuli auch 20 Melodien oder Klänge, die von verschiedenen Musikinstrumenten erzeugt worden waren (Violine, Klavier, Kastagnetten) und 10 Melodien, die synthetischen Ursprungs sind und von denen angenommen wurde, dass sie sich keinem Instrument zuordnen lassen. Abgesehen von den künstlichen Melodien handelte es sich bei allen Stimuli um natürliche akustische Ereignisse, so dass *per se* Unterschiede in der akustischen Komplexität zwischen den Objektkategorien bestanden. Die tierischen und instrumentalen Stimuli wurden diversen Webseiten entnommen, die das kostenlose Abspielen der Geräusche erlaubten (z. B. <http://www.audiosparx.com>, <http://www.findsounds.com>, <http://www.freesound.org>). Diese wurden dann mit Hilfe des Programms Cool Edit 2000 (Syntrillium Software Corporation, Phoenix, USA) aufgenommen, geschnitten, in Mono umgewandelt und in der Lautstärke normalisiert.

Methode. Die Stimuli wurden in Form eines langsamen ereigniskorrelierten fMRT-Designs präsentiert. Die Probanden hörten die Stimuli für 2 Sekunden, denen dann jeweils eine Pause von 12 Sekunden folgte. In dieser Zeit hatten die Probanden die Aufgabe, per Knopfdruck anzugeben, ob sie die Personen, Tiere oder Musikinstrumente so eindeutig identifiziert hatten, dass sie sie mündlich benennen könnten (Benennen möglich = Zeigefinger, Benennen nicht möglich = Mittelfinger).

Analyse. Bei zwei der zwölf Probanden wurden Volumen aufgrund von starker Kopfbewegung aus der Analyse entfernt. Bei einer Probandin kam es an vier Zeitpunkten zu einer stärkeren Kopfbewegung, die sich jeweils über ein Volumen erstreckte, bei der anderen Probandin kam es zu einem Zeitpunkt zu einer Bewegung, die sich über zwei Volumen erstreckte.

Zusätzlich zu den inhärenten Unterschieden zwischen den drei Stimulusgruppen (Personen P, Tiere T, Musikinstrumente M) wurden die Stimuli entsprechend der Knopfdruckreaktionen für jeden Probanden in unbekannt und bekannte Items untergliedert. Als bekannte Stimuli (PB, TB, MB) wurden die Items eingestuft, die von berühmten Sprechern oder eindeutig zu identifizierenden Tieren und Musikinstrumenten stammten und bei denen die Probanden angegeben hatten, diese wiedererkannt zu haben. Alle unbekannt Personen und nicht eindeutig zu identifizierenden Tiere und Musikinstrumente sowie bekannte Stimuli, die zu Nullreaktionen oder nicht zu einer Wiedererkennung führten, wurden als unbekannt Stimuli (PU, TU, MU) klassifiziert. Die bekannten Stimuli wurden weiterhin untergliedert in Stimuli mit langsamen (PB_L, TB_L, MB_L) und schnellen (PB_S, TB_S, MB_S) Reaktionen. Dazu wurden die Reaktionszeiten von Stimulusbeginn bis zum Zeitpunkt des Knopfdrucks, der anzeigte, dass die Probanden den Stimulus wiedererkannt hatten, gemessen und eine Zweiteilung der Stimuli jeder der drei Bedingungen anhand des Medians der jeweiligen Reaktionszeiten vorgenommen.

Die Personenstimmen wurden als Experimentalbedingung definiert, so dass die Selektivitätsindizes dieses Experiments anhand folgender Formel berechnet wurden:

$$\text{Selektivitätsindex} = 100 - \frac{\text{Mittelwert}(T, M)}{P} \cdot 100$$

Für alle Probanden wurden drei Aktivierungskarten erstellt. Die erste Aktivierungskarte identifizierte die Voxel, die bei allen bekannten Stimuli eine signifikant ($t \geq 4$) stärkere Aktivierung verglichen mit der Ruhezeit zeigten (PB+TB+MB). Die zweite Aktivierungskarte identifizierte die Voxel, die spezifisch bei Personenstimmen eine signifikant ($t \geq 4$) stärkere Aktivierung verglichen mit der Ruhezeit zeigten (P). In der dritten Aktivie-

rungskarte wurden die Voxel identifiziert, die verglichen mit der Ruhezeit eine signifikante ($t \geq 4$) Aktivierung der Personenstimmen zeigten und konjunktiv eine signifikant ($t \geq 3$) stärkere Aktivierung von Personen gegenüber Tieren und Musikinstrumenten ($P \& P > TM$).

4.2.5.4. Experiment 4

Probanden. An Experiment 4 nahmen 17 Probanden teil, deren Datensätze auch in die Analyse eingingen. Das Durchschnittsalter der 17 Probanden (8 weiblich, 9 männlich) betrug $27,4 \pm 4,7$ Jahre (Mittelwert \pm SD). Alle Probanden waren laut eigener Angabe Rechtshänder und wurden auch mittels des Händigkeitstests entsprechend klassifiziert. Weiterhin nahmen 15 Probanden an der fMRT-Untersuchung zur Sprachlateralisierung teil, die bei 13 Probanden eine Dominanz der linken Hemisphäre ergab, bei 2 Probanden eine Bilateralität.

Material. Präsentiert wurden 100 farbige Grafiken (jpg-Dateiformat, $10 \times 10 \text{ cm}^2$, vor schwarzem Hintergrund), die drei verschiedenen Objektkategorien angehörten. Zum einen wurden Zeichnungen von 25 Comicfiguren mit tierischem Grundcharakter gezeigt (Garfield (Katze), Donald Duck (Ente), Dumbo (Elefant)), dann naturgetreuere Zeichnungen von 50 Tieren (Pelikan, Löwe, Hai) und schließlich Zeichnungen von 25 Obst- und Gemüsesorten (Kartoffel, Birne, Zitrone). Die Zeichentrickfiguren wurden als visuelles Pendant zu den menschlichen Stimmen der vorausgehend beschriebenen Experimente eingesetzt. Sie sollten wie die Personen auf individueller Ebene identifiziert und mittels Eigennamen benannt werden, boten aber gleichzeitig die Möglichkeit, das Identifizieren und Benennen von Objekten derselben semantischen Kategorie (Tiere) auf kategorieller und individueller Ebene gegenüberstellen zu können. Die Abbildungen wurde von diversen Webseiten geladen, stammen insbesondere jedoch aus dem Clipart-Archiv der Microsoft Corporation, USA (<http://office.microsoft.com/en-us/images>) und aus der kolorierten Version des Bilddatensatzes von Snodgrass und Vanderwart (Rossion & Pourtois, 2004).

Methode. Die Stimuli wurden in Form eines langsamen ereigniskorrelierten fMRT-Designs präsentiert. Die Probanden sahen die Grafiken für 1 Sekunde, der dann jeweils eine Pause von 11 Sekunden folgte. In dieser Zeit hatten die Probanden die Aufgabe, die Stimuli entweder mündlich zu benennen oder zu beschreiben. Die mündlichen Antworten wurden über ein Mikrofon aufgezeichnet.

Analyse. Bei fünf der 17 Probanden wurden Volumen aufgrund von starker Kopfbewegung von der Analyse ausgenommen. Bei einer Probandin kam es zu fünf Zeitpunkten zu einer deutlichen Kopfbewegung, bei den anderen vier Probanden zu einem Zeitpunkt. An den entsprechenden Stellen wurde jeweils ein Volumen entfernt.

Zusätzlich zu den inhärenten Unterschieden zwischen den drei Stimulusgruppen (Comicfiguren *C*, Tiere *T*, Obst/Gemüse *O*) wurden die Stimuli entsprechend des verbalen Antwortverhaltens für jeden Probanden in umschriebene und benannte Items untergliedert. Als benannte Stimuli (*CN*, *TN*, *ON*) wurden die Items eingestuft, die korrekt benannt wurden. Bei allen anderen Stimuli wurde angenommen, dass eine semantische Suche oder ein semantischer Abruf stattgefunden hat (*CS*, *TS*, *OS*). Die benannten Stimuli wurden weiterhin untergliedert in Stimuli mit langsamen (*CN_L*, *TN_L*, *ON_L*) und schnellen (*CN_S*, *TN_S*, *ON_S*) Reaktionen. Dazu wurden die Reaktionszeiten von Stimulusbeginn bis zum Beginn der korrekten overtten Antwort gemessen und eine Zweiteilung der Stimuli jeder der drei Bedingungen anhand des Medians der jeweiligen Reaktionszeiten vorgenommen.

Die Comicfiguren wurden als Experimentalbedingung definiert, so dass die Selektivitätsindizes dieses Experiments anhand folgender Formel berechnet wurden:

$$\text{Selektivitätsindex} = 100 - \frac{\text{Mittelwert}(T, O)}{C} \cdot 100$$

Für alle Probanden wurden drei Aktivierungskarten erstellt. Die erste Aktivierungskarte identifizierte die Voxel, die bei allen benannten Stimuli eine signifikant ($t \geq 4$) stärkere Aktivierung verglichen mit der Ruhezeit zeigten ($CN+TN+ON$). Die zweite Aktivierungskarte identifizierte die Voxel, die spezifisch bei Comicfiguren eine signifikant ($t \geq 4$) stärkere Aktivierung verglichen mit der Ruhezeit zeigten (C). In der dritten Aktivierungskarte wurden die Voxel identifiziert, die verglichen mit der Ruhezeit eine signifikante ($t \geq 4$) Aktivierung der Comicfiguren zeigten und konjunktiv eine signifikant ($t \geq 3$) stärkere Aktivierung von Comicfiguren gegenüber Tieren und Obst- und Gemüsesorten ($C \ \& \ C > TO$).

5. Ergebnisse

Wie im Abschnitt 4.2.5 ab Seite 80 beschrieben, wurden bei allen vier Experimenten bei jedem Probanden jeweils mehrere Aktivierungskarten berechnet. Dies erfolgte durch das Setzen unterschiedlich spezifischer Kontraste. So wurde bei den Experimenten 1 und 2 zum einen nach Voxeln gesucht, die auf alle Stimmen im Vergleich zu den Ruhezeiten reagierten (Kontrast 1). Zum anderen wurde nach Voxeln gesucht, die auf benannte Stimmen im Vergleich zur Ruhe reagierten (Kontrast 2) und schließlich wurden die Voxel identifiziert, die auf benannte Stimmen und zusätzlich stärker auf benannte als auf nicht benannte Stimmen reagierten (Kontrast 3). Bei den Experimenten 3 und 4 wurde zunächst nach Voxeln gesucht, die auf bekannte (Experiment 3) oder benannte Stimuli (Experiment 4) im Vergleich zu den Ruhezeiten reagierten (Kontrast 1). Weiterhin wurde nach Voxeln gesucht, die auf Stimuli mit individueller Referenz im Vergleich zur Ruhe reagierten (Kontrast 2) und schließlich wurden die Voxel identifiziert, die auf Stimuli mit individueller Referenz und zusätzlich stärker auf diese als auf Stimuli mit kategorieller Referenz reagierten (Kontrast 3). Tabelle 5.1 zeigt die Anzahl der signifikant aktivierten Voxel im linken und rechten Temporallappen, wobei zu sehen ist, dass die beiden ersten Kontraste zu einer deutlich größeren Anzahl Voxel führten als der dritte Kontrast.

Ziel der vorliegenden Untersuchungen war es, die Regionen zu identifizieren, die für den Abruf von Eigennamen relevant sind, also die, die spezifisch auf benannte Individuen reagierten. Diese Voxel wurden am sichersten durch Kontrast 3 aufgedeckt. Dieser strikte Kontrast führte jedoch dazu, dass bei den einzelnen Probanden jeweils nur sehr wenige oder auch keine Voxel als signifikant aktiviert aufgedeckt wurden. Dadurch beruhte die statistische Analyse auf zu wenigen Datenpunkten, um Unterschiede zwischen den Bedingungen im Rauschsignal detektieren zu können. Kontrast 1 lieferte zwar eine große Anzahl aktivierter Voxel, war jedoch für das Untersuchungsziel zu allgemein formuliert, da er neben den für benannte Individuen spezifischen Voxeln zu viele Voxel einschloss, die auf nicht benannte (Experiment 1 und 2) oder auf kategorielle Stimuli (Experiment 3 und 4) reagierten. Die im weiteren Text dargestellten Ergebnisse basieren daher auf den aktivierten Voxeln des Kontrastes 2.

Tabelle 5.1. Anzahl aktivierter Voxel (Mittelwert \pm Standardfehler) der vier Experimente für jeden berechneten Kontrast. Abkürzungen: B bekannt ohne weitere Angaben, C Comicfigur, M Musikinstrument, N Name abgerufen, O Obst/Gemüse, P Person, S semantische Angaben, T Tier, U unbekannt.

	Experiment 1		Experiment 2		Experiment 3		Experiment 4	
	LH	RH	LH	RH	LH	RH	LH	RH
Kontrast 1	UBN		UBSN		P _B T _B M _B		C _N T _N O _N	
	16959	18814	25984	28512	12680	14135	15123	17302
	1103	1449	1392	1326	1903	2224	977	1147
Kontrast 2	N		N		P		C	
	12724	14680	16970	18799	16753	18320	11859	13310
	1051	1434	1539	1588	896	1085	1130	1194
Kontrast 3	N & N>UB		N & N>UB		P & P>TM		C & C>TO	
	852	670	3732	2989	5644	5967	721	580
	363	254	775	654	612	524	306	263

Für alle Bedingungen wurden sowohl die BOLD-Intensität als auch die geschätzten beta-Gewichte berechnet. Innerhalb der einzelnen Experimente verhielten sich BOLD- und beta-Werte homogen, indem ein höherer beta-Wert einem höheren BOLD-Signal entsprach. Im Experiment 3 wies die linke Hemisphäre für die Bedingung der Personen ein mittleres BOLD-Signal von 0,97% und einen beta-Wert von 6,00 auf, Tiere erzeugten ein BOLD-Signal von nur 0,59% und einen beta-Wert von 3,86. Auch weitere Berechnungen aus diesen Werten verhielten sich homogen. Der Selektivitätsindex der linken Hemisphäre, berechnet aus dem BOLD-Signal, betrug im Mittel 35, berechnet aus den beta-Werten, 31. Deutlich unterschiedlich verhielten sich BOLD- und beta-Werte über die Experimente hinweg. Im Experiment 1 erzeugten benannte Stimmen in der linken Hemisphäre ein BOLD-Signal von 1,09% und einen beta-Wert von 6,04. Im Experiment 2 hatte das BOLD-Signal einen fast doppelt so hohen Wert von 1,90%, der beta-Wert war mit 6,67 jedoch recht ähnlich zu Experiment 1. Abweichungen zeigten sich auch beim Vergleich der Experimente 3 und 4. Im Experiment 3 erzeugten die Personen in der linken Hemisphäre ein BOLD-Signal von 0,97% und einen beta-Wert von 6,00. Die Comicfiguren im Experiment 4 provozierten dagegen ein etwas geringeres BOLD-Signal von 0,68%, aber einen sehr viel höheren beta-Wert von 10,10. Die Ursache für die Unterschiede liegt in der Anzahl der unabhängigen Variablen, die aufgrund unterschiedlicher Stimulusanzahl und Stimuluslänge zwischen den Experimenten variierte und die die Berechnung des allgemeinen li-

nearen Modells beeinflusste. Da die BOLD-Werte somit sehr viel direkter die tatsächliche Aktivierung widerspiegeln, wurden diese Daten genutzt, um die Ergebnisse der Experimente zu beschreiben.

5.1. Experiment 1

5.1.1. Verhaltensdaten

Die Analyse des Antwortverhaltens zeigte, dass die Probanden deutliche Schwierigkeiten hatten, Sprecher ($n = 75$) anhand ihrer Stimme zu identifizieren. Die Probanden gaben mittels Knopfdruck an, lediglich 16 ± 1 der 50 bekannten Personen benennen zu können (N). Weitere 18 ± 2 wurden als bekannt eingestuft (B). Zu diesen gehörten die Stimmen, die von unbekanntem oder berühmten Personen stammten und die die Probanden als bekannt klassifizierten, aber nicht hätten benennen können. Weiterhin wurden auch die Stimuli zu den bekannten Stimmen gerechnet, die von unbekanntem Sprechern stammten, zu denen die Probanden aber angaben, die Personen benennen zu können. Die meisten Stimmen (41 ± 3) wurden als völlig unbekannt klassifiziert (U) (Abbildung 5.1). Die Anzahl bekannter und benannter Stimmen unterschied sich in der Gruppe nicht signifikant voneinander ($z = 1,08$, $p = 0,299$), beide Antwortmuster traten jedoch signifikant seltener auf als die Klassifikation der Stimuli als unbekanntem Sprecher ($z = 3,18$, $p = 0,000$). Die drei Reaktionsarten U, B und N wurden in der folgenden fMRT-Analyse als Stimulusbedingungen betrachtet.

5.1.2. Funktionelle Bildgebung

Die Verarbeitung der präsentierten Stimmen führte bei allen Probanden zu einer großflächigen Aktivierung beider Temporallappen, die sich aus einer Vielzahl einzelner Aktivierungscluster zusammensetzte (Abbildung 5.2). In den ROIs der linken Hemisphäre ergab die Berechnung eines allgemeinen linearen Modells mit dem Kontrast benannte Stimmen > Ruhe im Mittel 12 724 aktivierte Voxel, in der rechten Hemisphäre 14 680 Voxel (Abbildung 5.3a, letzter Block). Dieser Kontrast führte jedoch nicht bei allen 13 Probanden auf dem Signifikanzniveau von $t \geq 4$ zu einer Aktivierung in allen ROIs. ROIs, in denen weniger als 12 Probanden signifikant aktivierte Voxel aufwiesen, waren *a-sSTG-RH* (12 Probanden), *p-sSTG-RH* (12), *a-iSTG-LH* (12), *a-sMTG-LH* (11), *a-sMTG-RH* (12), *ma-sMTG-LH* (12) und *p-sMTG-LH* (12). Das prozentuale BOLD-Signal betrug im linken Temporallappen für unbekannte Stimmen 0,884%, für bekannte Stimmen 0,900% und für benannte Stimmen 1,095%. Im rechten Temporallappen

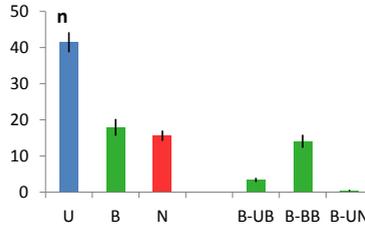


Abbildung 5.1. Experiment 1 – Verhaltensdaten. Anzahl (Mittelwert \pm Standardfehler) der Reaktionsarten auf die präsentierten Stimmen. U unbekannt, B bekannt, N benannt. Die bekannten Stimmen setzten sich aus drei Antwortarten zusammen: B-UB unbekannte Sprecher wurden als bekannt klassifiziert, B-BB bekannte Sprecher wurden als bekannt klassifiziert, B-UN zu unbekanntem Sprechern gaben die Probanden an, den Namen nennen zu können.

betragen die Werte für unbekannte Stimmen 0,895 %, für bekannte Stimmen 0,903 % und für benannte Stimmen 1,068 % (Abbildung 5.3c, letzter Block). Im Anhang sind in der Tabelle A.1 auf Seite 225 die Mittelwerte und Standardfehler dieser Daten für sämtliche einzelne und zusammengefasste ROIs aufgeführt, in Zeile a die Anzahl aktivierter Voxel, in den Zeilen b–d die Intensität des BOLD-Signals der aufgeführten Bedingungen.

5.1.2.1. Unterschiede zwischen Bedingungen

Das BOLD-Signal der verschiedenen Bedingungen unterschied sich in den Temporallappen voneinander. Stimmen, bei denen die Probanden angeben, den Sprecher benennen zu können (N), führten in sämtlichen ROIs zu einer stärkeren Aktivierung als unbekannte (U) oder bekannt erscheinende Stimmen, die nicht benannt werden konnten (B) (Abbildung 5.3c).

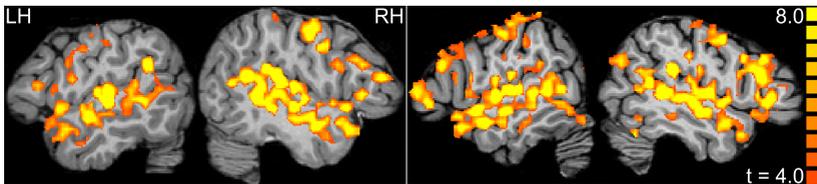
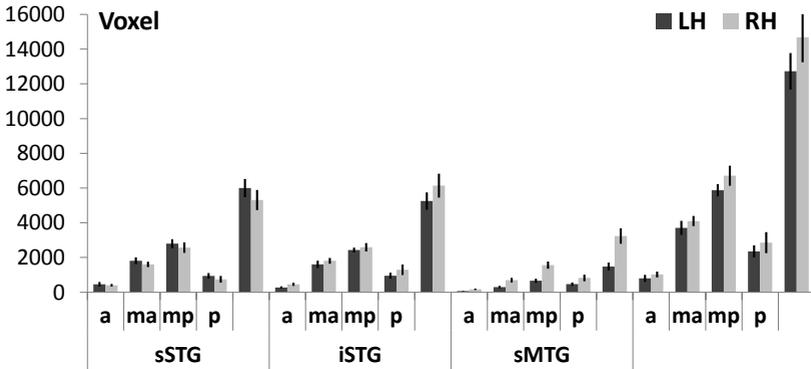
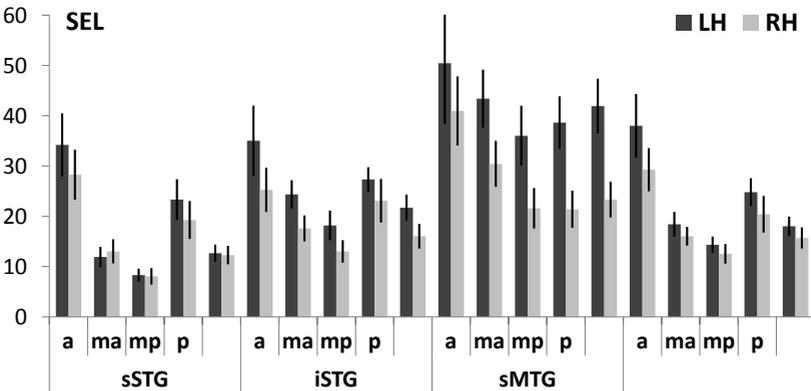


Abbildung 5.2. Experiment 1 – Aktivierungsbeispiele. Aktivierungskarten von zwei Probanden in der Sagittalebene mit $|\pm 47| \leq x \leq |\pm 54|$ auf dem Signifikanzniveau von $t \geq 4$ ($p < 0,0001$) für den Kontrast Benannte Stimmen > Ruhe.

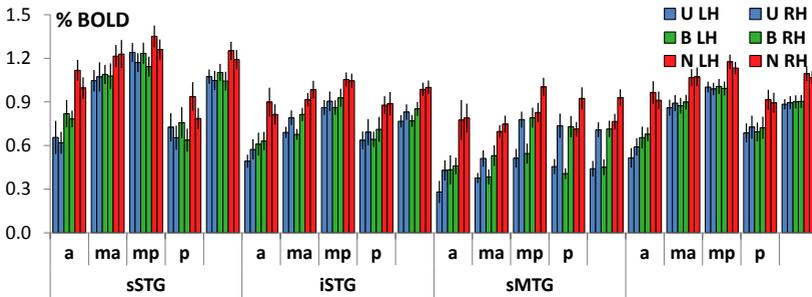


(a) Anzahl aktivierter Voxel. Es zeigte sich ein Vorteil der rechten Hemisphäre. In mehreren ROIs waren rechts mehr Voxel aktiviert als links, nur in einem ROI (sSTG) war ein links-hemisphärischer Vorteil festzustellen (Tabelle A.5a).



(b) Selektivitätsindex. Es zeigte sich ein Vorteil der linken Hemisphäre. In mehreren ROIs waren die Selektivitätsindizes linkshemisphärisch größer als in der rechten Hemisphäre (Tabelle A.5h).

Abbildung 5.3. Experiment 1 – Werte in sämtlichen ROIs beider Hemisphären. Balken mit fehlenden Bezeichnungen stehen für zusammengefasste ROIs, wie die Balken ganz rechts, die die Daten der gesamten temporalen Interesseregion abbilden. Zur Bezeichnung und Lage der Areale siehe Tabelle 4.2.



(c) BOLD-Signal. Benannte Stimmen (N), führten in sämtlichen ROIs zu einer stärkeren Aktivierung als unbekannte (U) oder bekannte Stimmen (B). Dagegen bestanden kaum Unterschiede zwischen unbekanntem und bekannten Stimmen (Tabelle A.2). Weiterhin zeigte sich ein Vorteil der rechten Hemisphäre. In einigen ROIs war rechts eine stärkere Signalintensität festzustellen als links, bei benannten Stimmen (N) jedoch in weniger ROIs als bei unbekanntem (U) oder bekannten Stimmen (B) (Tabelle A.5b–d).

Abbildung 5.3. Experiment 1 – Werte (Fortsetzung).

Über den gesamten Temporallappen betrug die Differenz für $N > U$ in der linken Hemisphäre 0,211 % und in der rechten Hemisphäre 0,173 % und für $N > B$ linkshemisphärisch 0,194 % und rechtshemisphärisch 0,165 %. Es bestanden dagegen kaum Unterschiede zwischen unbekanntem und bekannten Stimmen. Die Differenz betrug für $B > U$ im linken Temporallappen 0,016 % und im rechten Temporallappen 0,008 %. Die Daten und statistischen Werte zu diesen Angaben sind im Anhang tabellarisiert. Die Größe des Signalunterschieds zwischen den einzelnen Bedingungen ist in den Zeilen e–g der Tabelle A.1 ab Seite 225 aufgeführt. In Tabelle A.2 auf Seite 228 ist mit einem großen Pluszeichen vermerkt, in welchen ROIs sich das BOLD-Signal zweier Bedingungen signifikant voneinander unterscheidet ($p < 0,05$, Wilcoxon, zweiseitig).

5.1.2.2. Unterschiede zwischen Regionen

Variation der Signalkontraste Wie im vorausgehenden Abschnitt beschrieben, erzeugten Stimmen, bei denen die Probanden angeben, den Sprecher benennen zu können, ein stärkeres BOLD-Signal als Stimmen, die den Probanden unbekannt waren oder die ihnen nur bekannt vorkamen. Die Signaldifferenz zwischen den Bedingungen war jedoch nicht in allen ROIs gleich groß. Wie sehr sich das BOLD-Signal der Bedingungen voneinander unterschied, hing mit dem Ursprungsort des Signals zusammen. Im zentralen STG fielen die Unterschiede geringer aus als in weiter anterior, posterior und inferior liegenden ROIs (Abbildungen 5.4 und 5.5).

Ein Selektivitätsindex erfasste die Größe des Signalunterschieds zwischen den unbekanntem und bekannten Stimmen auf der einen Seite und den benannten Stimmen auf der anderen Seite. Bei diesem Index stehen niedrige Werte für ein ähnlich starkes BOLD-Signal aller Bedingungen und hohe Werte für eine deutlich größere Signalintensität durch die benannten Stimmen. Die niedrigsten Selektivitätsindizes befanden sich bilateral im ROI *mp-sSTG*. Von dort aus nahm der Selektivitätsindex nach anterior, posterior und inferior zu (Tabelle A.1h, Abbildung 5.3b). Entlang der superior-inferior-Achse waren die Werte in den *sSTG*-ROIs kleiner als in den weiter inferior liegenden Regionen und in den *iSTG*-ROIs wiederum kleiner als in den *sMTG*-ROIs. In keinem Bereich der Temporallappen zeigte ein weiter superior liegendes ROI einen signifikant größeren Selektivitätsindex als ein weiter inferior liegendes ROI. Entlang der anterior-posterior-Achse waren die Selektivitätsindizes in den *mp*-ROIs am kleinsten, gefolgt von den *ma*-ROIs, deren Werte wiederum kleiner waren als die der *p*-ROIs. Die größten Selektivitätsindizes wiesen die *a*-ROIs auf. In keinem Bereich der Temporallappen zeigte sich eine umgekehrte Reihenfolge. Die direkte Differenz des BOLD-Signals zweier Bedingungen variierte ebenfalls zwischen den verschiedenen ROIs. Die Signaldifferenz war im zentralen STG geringer als in weiter anterior, posterior und inferior liegenden Arealen der Temporallappen. Dies gilt nicht für den Vergleich der bekannten mit den unbekanntem Stimmen ($B > U$), deren Signalintensität sich im gesamten Temporallappen kaum voneinander unterschied (Tabelle A.2a). Die Signaldifferenz zwischen den benannten und unbekanntem Stimmen ($N > U$) sowie den benannten und bekannten Stimmen ($N > B$) nahm jedoch analog zum Selektivitätsindex, wenn auch weniger deutlich, von superior nach inferior und von den *mp*-ROIs nach anterior und posterior zu (Tabelle A.1e–g). Nur vereinzelt war eine Abnahme der Signaldifferenzen in diese Richtungen festzustellen.

In den Tabellen A.3 und A.4 sind mit einem großen Pluszeichen die Regionen gekennzeichnet, zwischen denen der Selektivitätsindex (Zeile g) oder die Differenz des BOLD-Signals zweier Bedingungen (Zeilen d–f) entsprechend der mit Pfeilen angegebenen Richtung signifikant ($p < 0,05$, Wilcoxon, zweiseitig) zunahm. Minuszeichen stehen für eine Verringerung der Werte. In Klammern aufgeführte Zeichen sagen wie nicht eingeklammerte Zeichen, dass die Differenz zweier Signale (z. B. $B > U$) von ROI₁ zu ROI₂ ab- oder zugenommen hat. Im Gegensatz zu anderen Regionen führte jedoch im ROI₁ die zweite Bedingung (U) zu dem stärkeren Signal, wobei die absolute Differenz im ROI₁ größer ausfiel als im ROI₂.

Variation der Signalintensität Auch das BOLD-Signal selbst variierte in seiner Stärke in Abhängigkeit von seinem Quellort in den Temporal-

lappen. Es verhielt sich jedoch den Selektivitätsindizes entgegengesetzt, indem es im zentralen STG am stärksten war und schwächer, je weiter entfernt sich ein ROI von dieser Region befand. Die Signalintensität war bei allen drei Bedingungen bilateral im ROI *mp-sSTG* am stärksten und fiel in weiter anterior, posterior oder inferior liegenden ROIs zunehmend geringer aus (Tabelle A.1b–d, Abbildungen 5.4 und 5.5). Entlang der superior-inferior-Achse stellten sich die Signalunterschiede zwischen den ROIs derart dar, dass die Werte in den *sSTG*-ROIs größer waren als in den weiter inferior liegenden Regionen und in den *iSTG*-ROIs wiederum größer als in den *sMTG*-ROIs. Lediglich bei den benannten Stimmen wies einmal ein weiter inferior liegendes ROI ein stärkeres Signal auf als ein weiter superior liegendes ROI (Trend). Entlang der anterior-posterior-Achse war das BOLD-Signal in den *mp*-ROIs am größten, gefolgt von den *ma*-ROIs, deren Werte wiederum größer waren als die der *p*-ROIs. Die kleinsten BOLD-Werte wiesen die *a*-ROIs auf. Vereinzelt kam es aber auch mal zu einer Zunahme des Signals von *ma* nach *p* oder von *p* nach *a*. In den Zeilen a–c der Tabellen A.3 und A.4 sind mit einem großen Minuszeichen die Regionen gekennzeichnet, zwischen denen die Signalintensität entsprechend der mit Pfeilen angegebenen Richtung signifikant ($p < 0,05$, Wilcoxon, zweiseitig) abnahm. Pluszeichen stehen für eine Signalzunahme.

Der Selektivitätsindex, der sich aus dem Verhältnis des BOLD-Signals der Experimentalbedingung (benannte Stimmen) zu den Kontrollbedingungen (unbekannte und bekannte Stimmen) berechnete, nahm also entlang der Achsen zu, entlang derer das BOLD-Signal dieser Bedingungen abnahm. Bei einer gleichmäßigen Signalreduktion der drei Bedingungen hätte der Selektivitätsindex in allen ROIs ähnlich große Werte angenommen. Da das BOLD-Signal der Kontrollbedingungen jedoch im Vergleich zum Signal der Experimentalbedingung deutlich stärker abnahm, stiegen die Selektivitätswerte mit zunehmender Distanz vom zentralen STG in weiter anterior, posterior und inferior liegenden ROIs an. In Tabelle A.1 ist für jede der drei Bedingungen die prozentuale Signalreduktion verglichen mit dem Signal im signalstärksten ROI angegeben, einmal als Vergleich entlang der superior-inferior-Achse (Zeilen i–k) und einmal entlang der anterior-posterior-Achse (Zeilen l–n). Der geringste Wert entlang der superior-inferior-Achse war in beiden Hemisphären im *sSTG* festzustellen, entlang der anterior-posterior-Achse im Bereich *mp* (als Hinweis auf eine geringe Signalreduktion und damit ein starkes BOLD-Signal)¹. Beim superior-inferior-Vergleich ist zu erkennen, dass in den *iSTG*- und *sMTG*-ROIs beider Hemisphären die Werte beider Kontrollbedingungen (U, B)

¹Da bei einzelnen Probanden auch mal die angrenzenden Areale ein stärkeres Signal aufwiesen, betragen die Minimalwerte nicht exakt Null, sondern liegen leicht darüber.

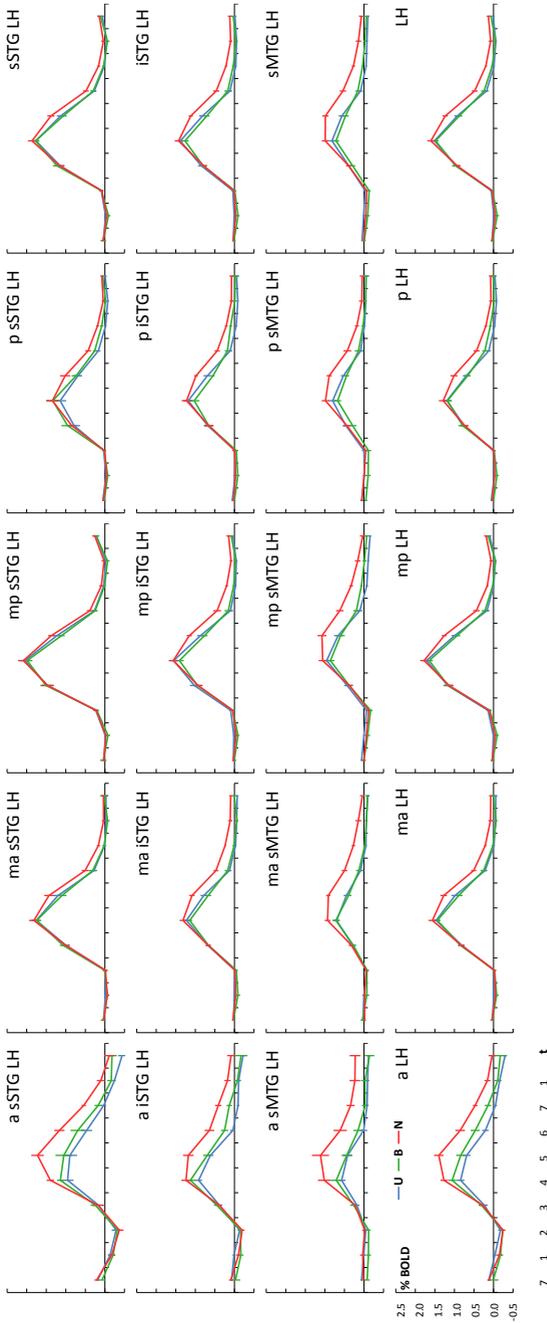


Abbildung 5.4. Experiment 1 – BOLD-Kurven LH. Abgebildet ist der Signalverlauf der einzelnen Bedingungen in jedem ROI der linken Hemisphäre. Zur Bezeichnung und Lage der Areale siehe Tabelle 4.2. In den Grafiken ist die Intensität des BOLD-Signals (y-Achse) über die Zeit (x-Achse) dargestellt, die als die Dauer zur Messung eines Hirnvolumens abgetragen ist (je 2 s). Die Stimuluspräsentation erfolgte zwischen den Zeitpunkten 1 und 2. Das BOLD-Signal aller Bedingungen war im ROI mp-sSTG am stärksten, der Signalunterschied zwischen benannten und nicht benannten Stimmen jedoch am kleinsten. Ausgehend von diesem ROI war eine Signalabnahme nach anterior, posterior und inferior zu beobachten, bei gleichzeitiger Zunahme der Signaldifferenz zwischen benannten und nicht benannten Stimmen (Tabellen A.3, A.4).

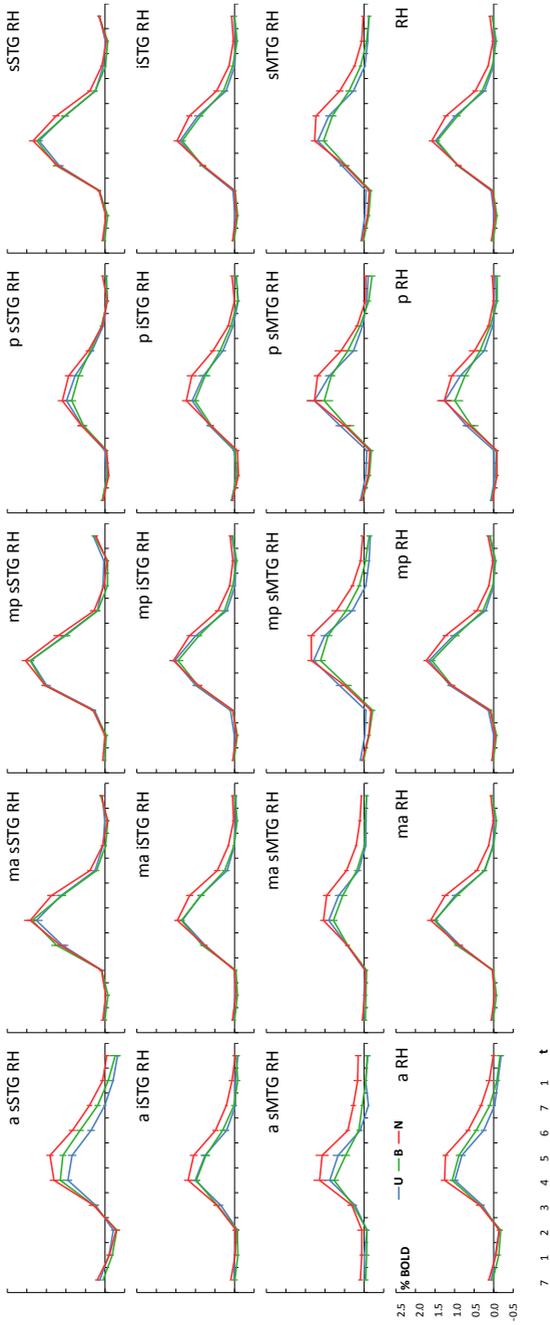


Abbildung 5.5. Experiment 1 – BOLD-Kurven RH. Abgebildet ist für jedes ROI der rechten Hemisphäre der Signalverlauf der einzelnen Bedingungen. Erklärungen, Abkürzungen und Ergebnisse siehe Abbildung 5.4.

größer sind als die Werte der Experimentalbedingung (N). Dies zeigt die größere Signalreduktion verglichen mit den Maximalwerten in den *sSTG*-ROIs an, die bei den Kontrollbedingungen deutlicher ausfiel als bei der Experimentalbedingung (für *iSTG-LH*, *iSTG-RH*, *sMTG-LH* und *sMTG-RH* $z \geq 2,12$, $p \leq 0,034$). Beim anterior-posterior-Vergleich ist zu erkennen, dass in den *a*- und *p*-ROIs die Werte der Kontrollbedingungen größer sind als die Werte der Experimentalbedingung. Dies zeigt die größere Signalreduktion verglichen mit den Maximalwerten in den *mp*-ROIs an, die bei den Kontrollbedingungen deutlicher ausfiel als bei der Experimentalbedingung (für *a-LH*, *a-RH* und *p-LH* $z \geq 2,48$, $p \leq 0,010$).

5.1.2.3. Hemisphärenunterschiede

Beide Hirnhälften zeigten ein äußerst ähnliches Aktivierungsmuster, indem sie deutlich auf die Präsentation der menschlichen Stimmen reagierten und zwischen benannten und nicht benannten Stimmen unterschieden. Dennoch konnten auch Unterschiede zwischen den Hemisphären festgestellt werden. Die rechte Hemisphäre wies eine stärkere Aktivierung auf als die linke Hemisphäre, die dagegen deutlicher als die rechte Hirnhälfte zwischen den verschiedenen Bedingungen unterschied.

Die stärkere Aktivierung der rechten verglichen mit der linken Hemisphäre äußerte sich zum einen in mehreren Arealen in einer größeren Anzahl aktivierter Voxel (Abbildung 5.3a). Lediglich in einem ROI (*sSTG*) lag ein Vorteil zugunsten der linken Hirnhälfte vor. Zum anderen zeigte sich die rechtslateral stärkere Aktivierung darin, dass das BOLD-Signal der drei Bedingungen in mehreren ROIs dieser Hemisphäre größer war als in der linken Hirnhälfte (Abbildung 5.3c). Die benannten Stimmen riefen jedoch in weniger Regionen als die unbekanntes und bekannten Stimmen diese rechtsgerichteten Hemisphärenunterschiede hervor. In keinem ROI kam es linkshemisphärisch zu einem stärkeren BOLD-Signal. Im Gegensatz zum rechtsgerichteten Vorteil, die Aktivierungsstärke betreffend, waren die Unterschiede zwischen den Bedingungen linksseitig stärker ausgeprägt. Der Selektivitätsindex, der das Verhältnis der benannten zu den unbekanntes und bekannten Stimmen angibt, war in mehreren ROIs der linken Hemisphäre signifikant höher als in ROIs der rechten Hirnhälfte (Abbildung 5.3b). Der umgekehrte Fall, dass die rechte Hemisphäre stärker zwischen den benannten Stimmen und den beiden anderen Bedingungen unterschied, traf auf kein ROI zu. Auch in der direkten Differenz des BOLD-Signals zweier Bedingungen zeigten sich Hemisphärenunterschiede ausschließlich zugunsten der linken Hirnhälfte, vor allem bei $N > U$ und $N > B$, weniger bei $B > U$.

Mittelwerte und Standardfehler dieser Daten sind für sämtliche ROIs in Tabelle A.1 auf Seite 225 aufgeführt. In Tabelle A.5 auf Seite 231 ist mit einem R für rechte Hemisphäre oder einem L für linke Hemisphäre vermerkt, in welchen ROIs und in welche Richtung signifikante ($p < 0,05$, Wilcoxon, zweiseitig) Hemisphärenunterschiede festzustellen waren. In Zeile a gilt dies für die Anzahl aktivierter Voxel, in den Zeilen b–d für das BOLD-Signal, in Zeile h für den Selektivitätsindex und in den Zeilen e–g für die Differenz des BOLD-Signals zweier Bedingungen.

5.2. Experiment 2

5.2.1. Verhaltensdaten

Auch das zweite Experiment zeigte, dass die Sprecheridentifizierung anhand der Stimme für die Probanden eine schwierige Aufgabe darstellte. Obwohl 70 der 80 präsentierten Stimmen von berühmten Personen stammten, wurden lediglich 11 ± 1 Sprecher korrekt benannt (N, benannt). Im Gegensatz dazu gaben die Probanden bei 41 ± 2 Stimmen an, den Sprecher gar nicht zu kennen (U, unbekannt). 13 ± 1 Stimmen kamen den Probanden bekannt vor, ohne dass sie eine nähere Erläuterung zu der Person geben konnten (B, bekannt) und 14 ± 2 Stimmen assoziierten die Probanden semantisch mit einem bestimmten Sprecher, ohne diesen (korrekt) benennen zu können (S, semantische Angaben). Bei einem Teil der Stimmen, zu denen semantischen Angaben gemacht wurden, äußerten sich die Probanden zu Erkennungsmerkmalen der Sprecher oder gaben den Kontext an, woher sie den Sprecher kannten. Diese Beschreibungen fielen unterschiedlich präzise aus. Sehr vereinzelt wurden die Sprecher nur äußerst vage beschrieben (*Kenne ich aus dem Fernsehen.*), manchmal falsch, manchmal richtig (*Politiker*) oder auch so präzise, dass anhand der Beschreibung eine Wiedererkennung der Person möglich gewesen wäre (*Bundeskanzlerin*). In einigen Fällen kam es zu einer Fehlbenennung und bei einigen Stimmen fielen den Probanden noch nach der Zeit für das overte Benennen der Stimmen Informationen zu den Sprechern ein, was sie per Knopfdruck anzeigten (Abbildung 5.6a). Die Anzahl bekannter, semantisch erfasster und korrekt benannter Stimmen unterschied sich in der Gruppe nicht signifikant voneinander ($z \leq 1,46$, $p \geq 0,148$), alle drei Antwortmuster traten jedoch signifikant seltener auf als die Klassifikation der Stimuli als von unbekanntem Sprecher stammend ($z \geq 3,98$, $p = 0,000$). Die vier Reaktionsarten U, B, S und N wurden in der folgenden fMRT-Analyse als Stimulusbedingungen betrachtet.

Tabelle 5.2. Experiment 2 – Reaktionszeitunterschiede. Angegeben ist das Signifikanzniveau, auf dem sich die Reaktionszeiten der verschiedenen Reaktionsarten unterscheiden mit *** für $p < 0,001$, ** für $p < 0,01$, * für $p < 0,05$, * für $p < 0,10$ (Trend) und n.s. für einen nicht signifikanten Unterschied. Weitere Abkürzungen siehe Abbildung 5.6.

	B	S	N	S-F	S-R	S-NF	S-K	N-L	N-S
U	***	***	*	**	**	n.s.	***	**	***
B		**	***	**	*	*	**	n.s.	***
S			***					n.s.	***
N				**	**	n.s.	***		
S-F					**	*	*	**	**
S-R						*	n.s.	n.s.	**
S-NF							**	*	***
S-K								*	***
N-L									***

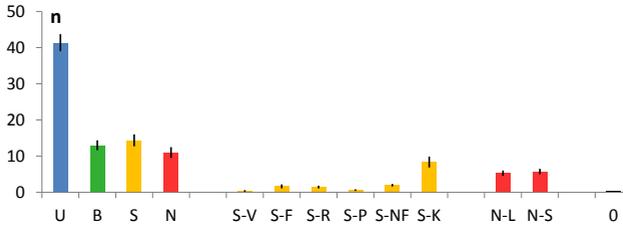
Bei den overten Reaktionen wurde die Antwortzeit vom Stimulus- bis zum Antwortbeginn gemessen und auf dieser Grundlage eine Reaktionszeitanalyse durchgeführt. Die Reaktionszeiten sind in Abbildung 5.6b dargestellt, Tabelle 5.2 gibt die statistischen Daten des Vergleichs der Antwortzeiten an. Die Reaktionszeiten für unbekannte ($3,7 \pm 0,1$ s) und benannte Stimmen ($3,6 \pm 0,1$ s) waren signifikant kürzer als die für bekannte Stimmen ($4,1 \pm 0,1$ s) und für Stimmen, die zu semantischen Beschreibungen führten ($4,4 \pm 0,1$ s). Semantische Beschreibungen wiederum erfolgten signifikant langsamer als die Angabe, dass den Probanden eine Stimme bekannt vorkam. Unbekannte und benannte Stimmen unterschieden sich in ihrer Reaktionszeit nicht signifikant voneinander, jedoch nur dann nicht, wenn alle korrekt benannten Stimmen zusammengefasst waren. Nach Aufteilung der benannten Stimmen in langsame und schnelle Reaktionen zeigte sich, dass langsam benannte Stimmen ($4,2 \pm 0,1$ s) einer längeren Reaktionszeit bedurften als unbekannte Stimmen, schnell benannte Stimmen ($3,0 \pm 0,0$ s) wurden dagegen signifikant schneller benannt als die Entscheidung getroffen wurde, dass eine Stimme unbekannt war. Obwohl benannte Stimmen insgesamt schneller benannt wurden als die Reaktion bei bekannten und semantisch beschriebenen Stimmen erfolgte, konnte dies nur für die schnell benannten Stimmen bestätigt werden. Langsam benannte Stimmen unterschieden sich in ihrer Reaktionszeit nicht signifikant von den bekannten und semantisch umschriebenen

Stimmen. Schließlich zeigten auch die langsam und schnell benannten Stimmen deutlich unterschiedliche Reaktionszeiten.

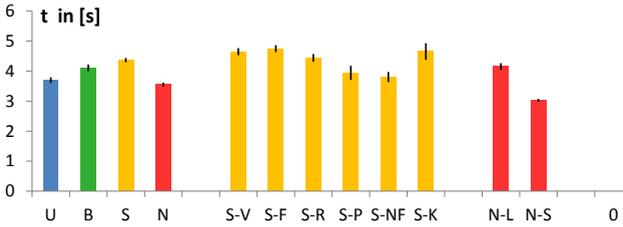
Weiterhin variierten die Reaktionszeiten der Stimmen, zu denen die Probanden semantische Angaben machten oder die falsch benannt wurden. Die falschen Benennungen ($3,8 \pm 0,2$ s) erfolgten signifikant schneller als sämtliche Arten der semantischen Umschreibung. Richtige Umschreibungen ($4,4 \pm 0,1$ s) wurden schneller gegeben als falsche Umschreibungen ($4,8 \pm 0,1$ s). Dazwischen lagen die mündlichen Reaktionszeiten der Stimmen, bei denen die Probanden später nochmals per Knopfdruck reagierten ($4,7 \pm 0,3$ s). Diese hoben sich nicht signifikant von den falschen und richtigen Umschreibungen ab. Vage und präzise semantische Antworten wurden so selten gegeben, dass keine statistische Analyse ihrer Reaktionszeiten möglich war. Insgesamt variierten die Reaktionszeiten nicht in Abhängigkeit von der Bekanntheit der Stimmen, sondern im Zusammenhang mit der Eindeutigkeit ihrer Klassifikation. Die Reaktionszeiten eindeutig unbekannter und (korrekt oder falsch) benannter Stimmen waren daher am kürzesten. Etwas länger waren die Antwortzeiten der als bekannt eingestuft und der korrekt beschriebenen Stimmen. Die längsten Reaktionszeiten waren bei den falsch beschriebenen Stimmen zu verzeichnen und bei den Stimmen, bei denen die Probanden anschließend noch per Knopfdruck den Abruf weiterer Informationen anzeigten.

5.2.2. Funktionelle Bildgebung

Die Verarbeitung der präsentierten Stimmen führte bei allen Probanden zu einer großflächigen Aktivierung beider Temporallappen, die sich aus einer Vielzahl einzelner Aktivierungscluster zusammensetzte (Abbildung 5.7). In den ROIs der linken Hemisphäre ergab die Berechnung eines allgemeinen linearen Modells mit dem Kontrast benannte Stimmen > Ruhe im Mittel 16 970 aktivierte Voxel, in der rechten Hemisphäre 18 799 Voxel (Abbildung 5.8a, letzter Block). Dieser Kontrast führte bei allen 22 Probanden auf dem Signifikanzniveau von $t \geq 4$ zu einer Aktivierung in allen ROIs. Das prozentuale BOLD-Signal betrug im linken Temporallappen für unbekannte Stimmen 1,409%, für bekannte Stimmen 1,554%, für Stimmen mit semantischen Angaben 1,707% und für benannte Stimmen 1,904%. Im rechten Temporallappen betrugen die Werte für unbekannte Stimmen 1,567%, für bekannte Stimmen 1,725%, für Stimmen mit semantischen Angaben 1,866% und für benannte Stimmen 1,994% (Abbildung 5.8c, letzter Block). Im Anhang sind in der Tabelle A.6 auf Seite 232 die Mittelwerte und Standardfehler dieser Daten für sämtliche einzelne und zusammengefasste ROIs aufgeführt, in Zeile a die Anzahl aktivierter Voxel, in den Zeilen b–e die Intensität des BOLD-Signals der aufgeführten



(a) Anzahl der Reaktionsarten auf die präsentierten Stimmen.



(b) Reaktionszeiten der einzelnen Reaktionsarten.

Abbildung 5.6. Experiment 2 – Verhaltensdaten. Dargestellt sind Mittelwerte \pm Standardfehler. U unbekannt, B bekannt, S semantische Angaben, N benannt. Die Stimmen mit semantischen Angaben setzten sich aus sechs Reaktionsmustern zusammen: S-V vage Beschreibung, S-F falsche Beschreibung, S-R richtige Beschreibung, S-P präzise Beschreibung, S-NF falscher Name genannt, S-K Knopfdruck um anzuzeigen, dass noch eine Information zum Sprecher verfügbar wurde, nachdem die Zeitspanne zum overtten Benennen abgelaufen war. Die korrekt benannten Stimmen wurden in langsam (N-L) und schnell benannte Stimmen (N-S) unterteilt. Vereinzelt kam es zu Nullreaktionen (0).

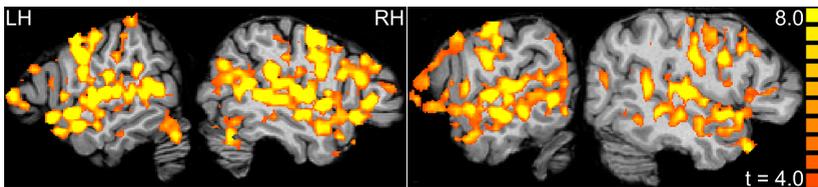


Abbildung 5.7. Experiment 2 – Aktivierungsbeispiele. Aktivierungskarten von zwei Probanden in der Sagittalebene mit $|\pm 47| \leq x \leq |\pm 55|$ auf dem Signifikanzniveau von $t \geq 4$ ($p < 0,0001$) für den Kontrast Benannte Stimmen > Ruhe.

Bedingungen und in den Zeilen f–g das BOLD-Signal weiterer Bedingungen.

5.2.2.1. Unterschiede zwischen Bedingungen

Das BOLD-Signal der verschiedenen Bedingungen unterschied sich in den Temporallappen voneinander. Unbekannte Stimmen (U) resultierten in einer geringeren Aktivierung als bekannt erscheinende Stimmen (B), beide wiederum in einer geringeren Aktivierung als Stimmen, zu denen semantischen Angaben gemacht wurden (S), und alle drei als die benannten Stimmen (N). In keinem ROI war eine Abweichung von dieser Reihenfolge $U < B < S < N$ festzustellen, die zudem in fast allen ROIs beobachtet werden konnte (Abbildung 5.8c). Daher fiel die Signaldifferenz umso deutlicher aus, je unterschiedlicher der Bekanntheitsgrad der zu vergleichenden Stimmen war. Die Differenz betrug für $S > U$ über den gesamten linken Temporallappen 0,298% und über den rechten Temporallappen 0,300%, für $N > B$ linkshemisphärisch 0,350% und rechtshemisphärisch 0,270% und für $N > U$ links 0,495% und rechts 0,428%. Der Unterschied zwischen Stimmen ähnlicher Bekanntheitsgrade fiel geringer aus, für $B > U$ im linken Temporallappen 0,145% und im rechten Temporallappen 0,158%, für $S > B$ links 0,153% und rechts 0,141% und für $N > S$ links 0,197% und rechts 0,128%. Auch die Reaktionszeit erwies sich als Einflussfaktor auf die Stärke des BOLD-Signals, indem langsam benannte Stimmen (N_L) in vielen ROIs eine größere Signalintensität als schnell benannte Stimmen (N_S) erzeugten (Abbildung 5.9). Der Signalunterschied für $N_L > N_S$ betrug im linken Temporallappen 0,146% und im rechten Temporallappen 0,126%. Die Daten und statistischen Werte zu diesen Angaben sind im Anhang tabellarisiert. Die Größe des Signalunterschieds zwischen den einzelnen Bedingungen ist in den Zeilen h–t der Tabelle A.6 ab Seite 232 aufgeführt. In Tabelle A.7 auf Seite 238 ist mit einem großen Pluszeichen vermerkt, in welchen ROIs sich das BOLD-Signal zweier Bedingungen signifikant voneinander unterscheidet ($p < 0,05$, Wilcoxon, zweiseitig).

5.2.2.2. Unterschiede zwischen Regionen

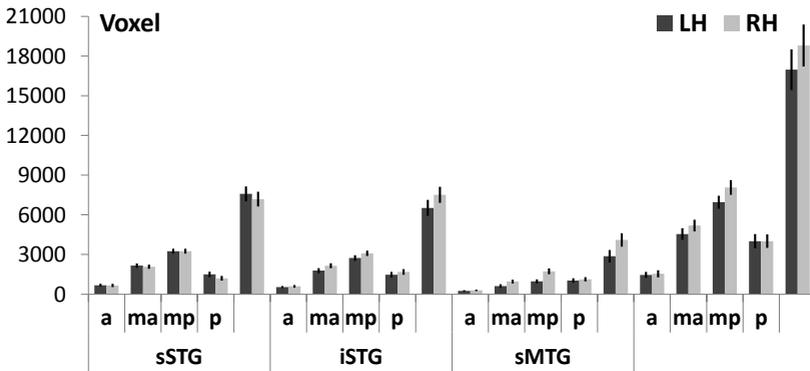
Variation der Signalkontraste Wie im vorausgehenden Abschnitt beschrieben, erzeugten Stimmen, die von den Probanden korrekt benannt wurden, ein stärkeres BOLD-Signal als Stimmen, die sie nicht benennen konnten. Die Signaldifferenz zwischen den Bedingungen war jedoch nicht in allen ROIs gleich groß. Wie sehr sich das BOLD-Signal der Bedingungen voneinander unterschied, hing mit dem Ursprungsort des Signals

zusammen. Im zentralen STG fielen die Unterschiede geringer aus als in weiter anterior, posterior und inferior liegenden ROIs (Abbildungen 5.10 und 5.11).

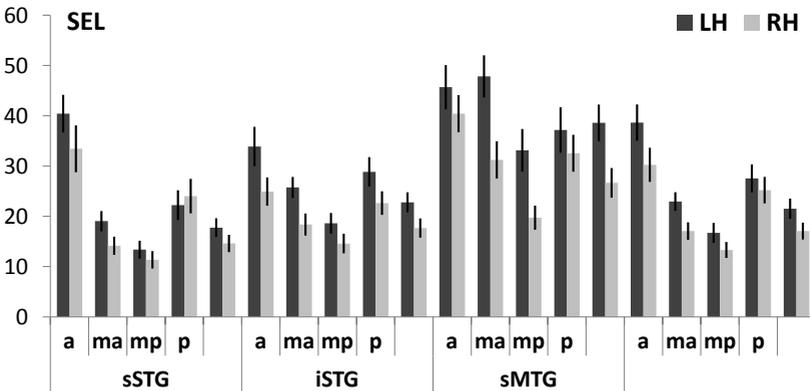
Ein Selektivitätsindex erfasste die Größe des Signalunterschieds zwischen den unbekanntem und bekannten Stimmen auf der einen Seite und den benannten Stimmen auf der anderen Seite. Bei diesem Index stehen niedrige Werte für ein ähnlich starkes BOLD-Signal aller Bedingungen und hohe Werte für eine deutlich größere Signalintensität durch die benannten Stimmen. Die niedrigsten Selektivitätsindizes befanden sich bilateral im ROI *mp-sSTG*. Von dort aus nahm der Selektivitätsindex nach anterior, posterior und inferior zu (Tabelle A.6u, Abbildung 5.8b). Entlang der superior-inferior-Achse waren die Werte in den *sSTG*-ROIs kleiner als in den weiter inferior liegenden Regionen und bis auf eine Ausnahme in den *iSTG*-ROIs wiederum kleiner als in den *sMTG*-ROIs. Entlang der anterior-posterior-Achse waren die Selektivitätsindizes in den *mp*-ROIs am kleinsten, gefolgt von den *ma*-ROIs, deren Werte wiederum kleiner waren als die der *p*-ROIs. Die größten Selektivitätsindizes wiesen die *a*-ROIs auf. Lediglich einmal kam es zu einer Abweichung von dieser Regel, indem ein *ma*-ROI einen größeren Wert aufwies als ein *p*-ROI. Die direkte Differenz des BOLD-Signals zweier Bedingungen variierte ebenfalls zwischen den ROIs (Tabelle A.1h–t). In welche Richtung die Zu- oder Abnahme der Signalunterschiede verlief, war von der Bekanntheit der Stimmen abhängig. Entlang der superior-inferior-Achse wurden Signalunterschiede zwischen unbekannteren Stimmen von superior nach inferior geringer ($B > U$, $S > U$), Signalunterschiede zwischen unbekanntem und bekannten Stimmen nahmen dagegen zu ($N > U$, $N > B$, $N > S$). Entlang der anterior-posterior-Achse war, ausgehend von den *mp*-ROIs, bei allen Signalunterschieden eine mehr oder weniger ausgeprägte Zunahme nach anterior festzustellen. Nach posterior wurden Signalunterschiede zwischen unbekannteren Stimmen eher geringer, Unterschiede zwischen unbekanntem und bekannten Stimmen nahmen zu. Die Signaldifferenz zwischen schnell und langsam benannten Stimmen blieb dagegen entlang beider Achsen weitgehend konstant.

In den Tabellen A.8 und A.9 sind mit einem großen Pluszeichen die Regionen gekennzeichnet, zwischen denen der Selektivitätsindex (Zeile n) oder die Differenz des BOLD-Signals zweier Bedingungen (Zeilen g–m) entsprechend der mit Pfeilen angegebenen Richtung signifikant ($p < 0,05$, Wilcoxon, zweiseitig) zunahm. Minuszeichen stehen für eine Verringerung der Werte.

Variation der Signalintensität Auch das BOLD-Signal selbst variierte in seiner Stärke in Abhängigkeit von seinem Quellort in den Temporal-

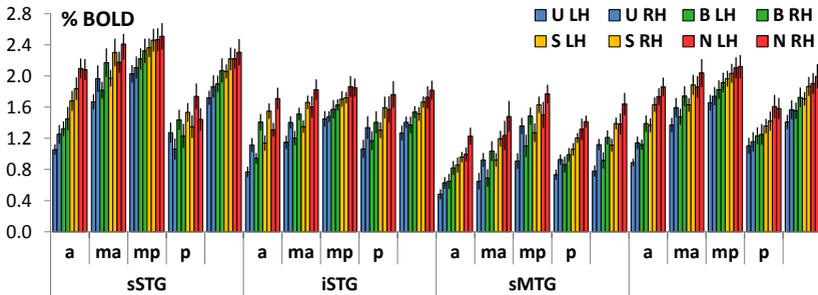


(a) Anzahl aktivierter Voxel. Hier zeigte sich ein Vorteil der rechten Hemisphäre. In mehreren ROIs waren rechts mehr Voxel aktiviert als links, nur in zwei ROIs (*p*-sSTG und sSTG) war ein linkshemisphärischer Trend festzustellen (Tabelle A.10a).



(b) Selektivitätsindex. Es zeigte sich ein Vorteil der linken Hemisphäre. In mehreren ROIs waren die Selektivitätsindizes linkshemisphärisch größer als in der rechten Hemisphäre (Tabelle A.10o).

Abbildung 5.8. Experiment 2 – Werte in sämtlichen ROIs beider Hemisphären. Balken mit fehlenden Bezeichnungen stehen für zusammengefasste ROIs, wie die Balken ganz rechts, die die Daten der gesamten temporalen Interesseregion abbilden. Zur Bezeichnung und Lage der Areale siehe Tabelle 4.2.



(c) BOLD-Signal. In fast allen ROIs resultierten benannte Stimmen (N) in einer stärkeren Aktivierung als Stimmen, zu denen semantischen Angaben gemacht wurden (S), beide wiederum in einer stärkeren Aktivierung als bekannte Stimmen (B) und alle drei als die unbekanntes Stimmen (U) (Tabelle A.7a–c, f–g, j). Weiterhin zeigte sich ein Vorteil der rechten Hemisphäre. In einigen ROIs war rechts eine stärkere Signalintensität festzustellen als links, bei benannten Stimmen (N) jedoch in weniger ROIs als bei unbekanntes (U), bekannten (B) oder semantisch umschriebenen Stimmen (S). Stattdessen erzeugten die benannten Stimmen in einer Region (*p-sSTG*) linkshemisphärisch das stärkere Signal (Tabelle A.10b–e).

Abbildung 5.8. Experiment 2 – Werte (Fortsetzung).

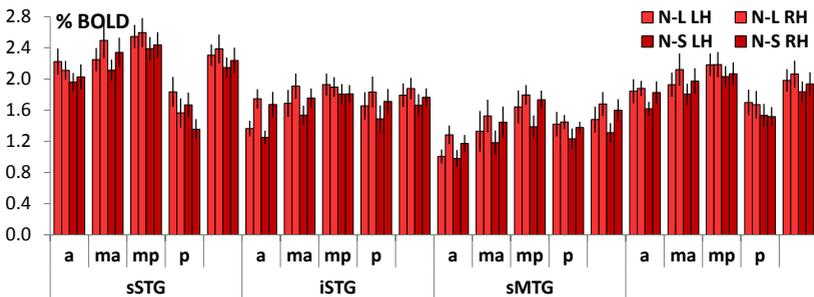


Abbildung 5.9. Experiment 2 – BOLD-Signal der langsam und schnell benannten Stimmen in sämtlichen ROIs beider Hemisphären. Langsam benannte Stimmen (N-L) erzeugten in vielen ROIs eine größere Signalintensität als schnell benannte Stimmen (N-S) (Tabelle A.7 m). Weiterhin zeigte sich ein Vorteil der rechten Hemisphäre. In einigen ROIs war rechts eine stärkere Signalintensität festzustellen als links, in einer Region (*p-sSTG*) aber auch links (Tabelle A.10f–g). Der jeweils linke Balken einer Farbe steht für die linke Hemisphäre, der jeweils rechte Balken für die rechte Hirnhälfte. Balken mit fehlenden Bezeichnungen stehen für zusammengefasste ROIs. Zur Bezeichnung und Lage der Areale siehe Tabelle 4.2.

lappen. Es verhielt sich jedoch den Selektivitätsindizes entgegengesetzt, indem es im zentralen STG am stärksten war und schwächer wurde, je weiter entfernt sich ein ROI von dieser Region befand. Die Signalintensität war bei den vier Hauptbedingungen bilateral im ROI *mp-sSTG* am stärksten und fiel in weiter anterior, posterior oder inferior liegenden ROIs zunehmend geringer aus (Tabelle A.6b–e, Abbildungen 5.10 und 5.11). Entlang der superior-inferior-Achse stellten sich die Signalunterschiede zwischen den ROIs derart dar, dass die Werte in den *sSTG*-ROIs größer waren als in den weiter inferior liegenden Regionen und in den *iSTG*-ROIs wiederum größer als in den *sMTG*-ROIs. Lediglich beim Vergleich des BOLD-Signals der ROIs *p-sSTG-RH* und *p-iSTG-RH* wies das weiter inferior liegende ROI bei allen Bedingungen ein stärkeres Signal auf als das weiter superior liegende ROI. Entlang der anterior-posterior-Achse war das BOLD-Signal in den *mp*-ROIs am größten, gefolgt von den *ma*-ROIs, deren Werte wiederum größer waren als die der *p*- und der *a*-ROIs, deren Werte im *sSTG* von *p* nach *a* zunahmen und im *sMTG* abnahmen. Dasselbe Muster zeigte sich, wenn die benannten Stimmen aufgeteilt und langsam und schnell benannte Stimmen separat betrachtet wurden (Tabelle A.6f–g, Abbildung 5.9). In den Zeilen a–f der Tabellen A.8 und A.9 sind mit einem großen Minuszeichen die Regionen gekennzeichnet, zwischen denen die Signalintensität entsprechend der mit Pfeilen angegebenen Richtung signifikant ($p < 0,05$, Wilcoxon, zweiseitig) abnahm. Pluszeichen stehen für eine Signalzunahme.

Der Selektivitätsindex, der sich aus dem Verhältnis des BOLD-Signals der Experimentalbedingung (benannte Stimmen) zu den Kontrollbedingungen (unbekannte und bekannte Stimmen) berechnete, nahm also entlang der Achsen zu, entlang derer das BOLD-Signal dieser Bedingungen abnahm. Bei einer gleichmäßigen Signalreduktion der drei Bedingungen hätte der Selektivitätsindex in allen ROIs ähnlich große Werte angenommen. Da das BOLD-Signal der Kontrollbedingungen jedoch im Vergleich zum Signal der Experimentalbedingung deutlich stärker abnahm, stiegen die Selektivitätswerte mit zunehmender Distanz vom primärauditorischen Kortex in weiter anterior, posterior und inferior liegenden ROIs an. In Tabelle A.6 ist für jede der drei Bedingungen die prozentuale Signalreduktion verglichen mit dem Signal im signalstärksten ROI angegeben, einmal als Vergleich entlang der superior-inferior-Achse (Zeilen v–x) und einmal entlang der anterior-posterior-Achse (Zeilen y–aa). Der geringste Wert entlang der superior-inferior-Achse war in beiden Hemisphären im *sSTG* festzustellen, entlang der anterior-posterior-Achse im Bereich *mp* (als Hinweis auf eine geringe Signalreduktion und damit ein starkes BOLD-Signal)¹. Beim superior-inferior-Vergleich ist zu erkennen, dass in

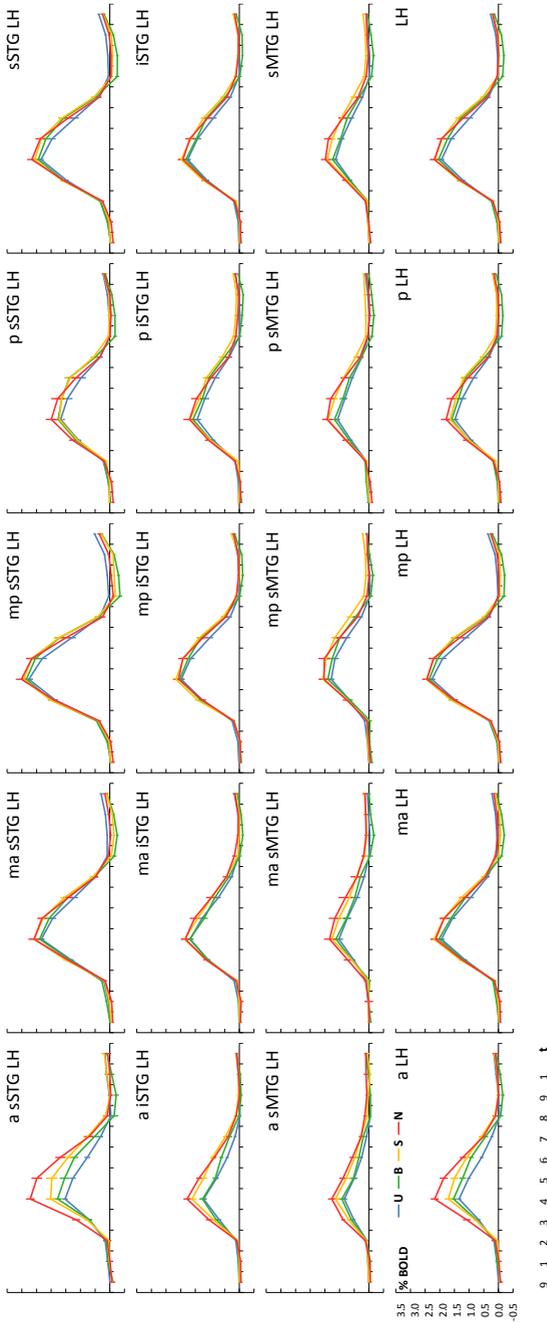


Abbildung 5.10. Experiment 2 – BOLD-Kurven LH. Abgebildet ist der Signabverlauf der einzelnen Bedingungen in jedem ROI der linken Hemisphäre. Zur Bezeichnung und Lage der Areale siehe Tabelle 4.2. In den Grafiken ist die Intensität des BOLD-Signals (y-Achse) über die Zeit (x-Achse) dargestellt, die als die Dauer zur Messung eines Hirnvolumens abgetragen ist (je 2 s). Die Stimuluspräsentation erfolgte zwischen den Zeitpunkten 1 und 2. Das BOLD-Signal aller Bedingungen war im ROI mp-sSTG am stärksten, der Signalunterschied zwischen benannten und nicht benannten Stimmen jedoch am kleinsten. Ausgehend von diesem ROI war eine Signalabnahme nach anterior, posterior und inferior zu beobachten, bei gleichzeitiger Zunahme des Signalunterschieds zwischen benannten und nicht benannten Stimmen (Tabellen A.8, A.9).

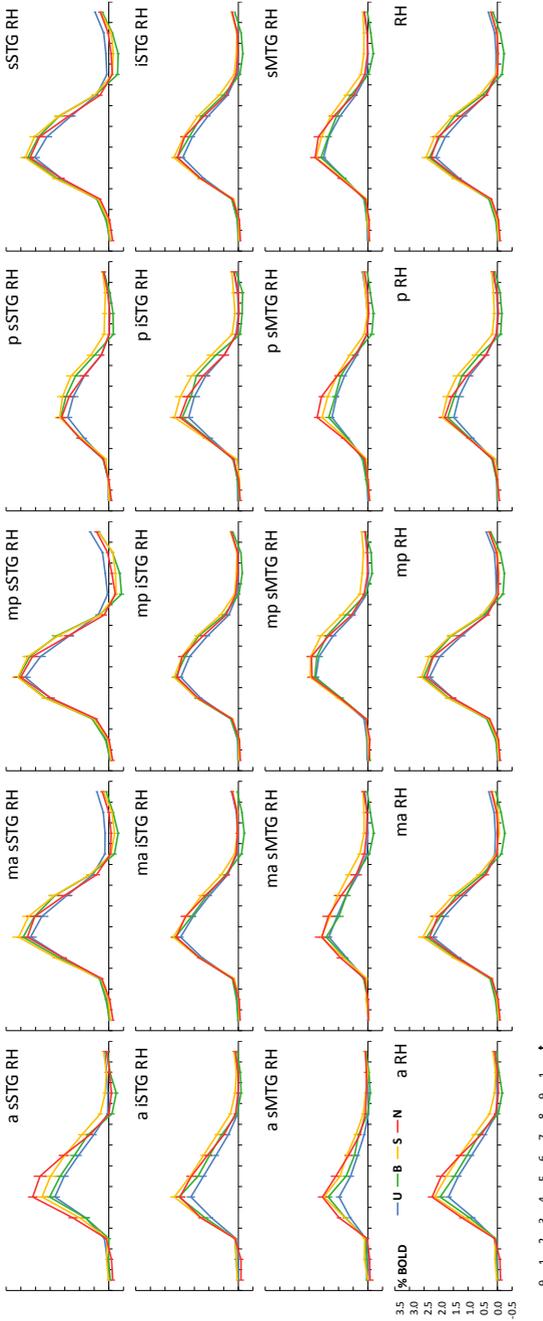


Abbildung 5.11. Experiment 2 – BOLD-Kurven RH. Abgebildet ist für jedes ROI der rechten Hemisphäre der Signalverlauf der einzelnen Bedingungen. Erklärungen, Abkürzungen und Ergebnisse siehe Abbildung 5.10. Hemisphärenunterschiede in den Unterschieden zwischen den Bedingungen: In der linken Hemisphäre war die Signaldifferenz zwischen benannten und nicht benannten Stimmen ($N > U$, $N > B$, $N > S$) in einigen ROIs größer als in der rechten Hemisphäre, die Differenz zwischen den unbekannteren Stimmen ($B > U$, $S > U$) war dagegen rechtshemisphärisch vereinzelt größer. Die rechte Hemisphäre scheint somit stärker zwischen verschiedenen Arten unbekannter Stimmen zu differenzieren, die linke Hemisphäre dagegen stärker zwischen sehr vertrauten (N) und weniger vertrauten Stimmen (U , B , S).

den *iSTG*- und *sMTG*-ROIs beider Hemisphären die Werte beider Kontrollbedingungen (U, B) größer sind als die Werte der Experimentalbedingung (N). Dies zeigt die größere Signalreduktion, verglichen mit den Maximalwerten in den *sSTG*-ROIs, an, die bei den Kontrollbedingungen deutlicher ausfiel als bei der Experimentalbedingung (für *iSTG-LH*, *sMTG-LH* und *sMTG-RH* $z \geq 3,15$, $p \leq 0,001$). Beim anterior-posterior-Vergleich ist zu erkennen, dass in den *a*-, *ma*- und *p*-ROIs die Werte der Kontrollbedingungen größer sind als die Werte der Experimentalbedingung. Dies zeigt die größere Signalreduktion, verglichen mit den Maximalwerten in den *mp*-ROIs, an, die bei den Kontrollbedingungen deutlicher ausfiel als bei der Experimentalbedingung (für *a-LH*, *a-RH*, *ma-LH*, *p-LH* und *p-RH* $z \geq 2,62$, $p \leq 0,007$).

5.2.2.3. Hemisphärenunterschiede

Beide Hirnhälften zeigten ein äußerst ähnliches Aktivierungsmuster, indem sie deutlich auf die Präsentation der menschlichen Stimmen reagierten und zwischen unbekanntem, bekanntem, semantisch umschriebenem und benanntem Stimmen unterschieden. Dennoch konnten auch Unterschiede zwischen den Hemisphären festgestellt werden. Die rechte Hemisphäre wies eine stärkere Aktivierung auf als die linke Hemisphäre, die dagegen deutlicher als die rechte Hirnhälfte zwischen den verschiedenen Bedingungen unterschied.

Die stärkere Aktivierung der rechten verglichen mit der linken Hemisphäre äußerte sich zum einen in mehreren Arealen in einer größeren Anzahl aktivierter Voxel (Abbildung 5.8a). Lediglich in zwei ROIs (*p-sSTG* und *sSTG*) lag ein Vorteil zugunsten der linken Hemisphäre vor. Zum anderen zeigte sich die rechtshemisphärisch stärkere Aktivierung darin, dass das BOLD-Signal aller Bedingungen in mehreren ROIs dieser Hemisphäre größer war als in der linken Hirnhälfte (Abbildung 5.8c). Die benannten Stimmen riefen jedoch in weniger Regionen als die nicht benannten Stimmen diese rechtsgerichteten Hemisphärenunterschiede hervor. Stattdessen war bei den benannten Stimmen in einem ROI (*p-sSTG*) ein links-hemisphärischer Vorteil festzustellen. Bei den anderen Bedingungen war das BOLD-Signal ausschließlich rechtshemisphärisch stärker. Alle Hemisphärenunterschiede, die sich bei den benannten Stimmen finden ließen, waren auch bei Aufteilung dieser in langsam und schnell benannte Stimmen zu erkennen (Abbildung 5.9). Im Gegensatz zum rechtshemisphärischen Vorteil die Aktivierungsstärke betreffend, waren die Unterschiede zwischen den Bedingungen meist linksseitig stärker ausgeprägt. Der Selektivitätsindex, der das Verhältnis der benannten zu den unbekanntem und bekanntem Stimmen angibt, war in mehreren ROIs der linken Hemi-

sphäre signifikant höher als in ROIs der rechten Hirnhälfte (Abbildung 5.8b). Der umgekehrte Fall, dass die rechte Hemisphäre stärker zwischen den benannten Stimmen und den beiden anderen Bedingungen unterschied, traf auf kein ROI zu. Auch in der direkten Differenz des BOLD-Signals zweier Bedingungen zeigten sich Hemisphärenunterschiede meist zugunsten der linken Hirnhälfte. Beim Vergleich benannter und nicht benannter Stimmen ($N > U$, $N > B$, $N > S$) war die Signaldifferenz ausschließlich linkshemisphärisch größer. Somit differenzierte die linke Hemisphäre deutlicher als die rechte Hirnhälfte zwischen sehr vertrauten und weniger bekannten Stimmen. Die rechte Hemisphäre schien dagegen tendenziell stärker zwischen verschiedenen Arten unbekannter Stimmen zu unterscheiden. Die Differenz zwischen den unbekannteren Stimmen ($B > U$, $S > U$) war vereinzelt rechtshemisphärisch größer. Bei den Vergleichen $S > B$ und $N_L > N_S$ bestanden keine Hemisphärenunterschiede.

Mittelwerte und Standardfehler dieser Daten sind für sämtliche ROIs in Tabelle A.6 auf Seite 232 aufgeführt. In Tabelle A.10 auf Seite 244 ist mit einem R für rechte Hemisphäre oder einem L für linke Hemisphäre vermerkt, in welchen ROIs und in welche Richtung signifikante ($p < 0,05$, Wilcoxon, zweiseitig) Hemisphärenunterschiede festzustellen waren. In Zeile a gilt dies für die Anzahl aktivierter Voxel, in den Zeilen b–g für das BOLD-Signal, in Zeile o für den Selektivitätsindex und in den Zeilen h–n für die Differenz des BOLD-Signals zweier Bedingungen.

5.3. Experiment 3

5.3.1. Verhaltensdaten

Die Präsentation der Personenstimmen (P), Tierstimmen (T) und Musikinstrumente (M) sollte von den Probanden mittels Tastendruck beantwortet und darüber die Bekanntheit der Stimuli angegeben werden. In jeder Kategorie wurden 20 bekannte und 10 unbekannte Stimuli präsentiert. Bei einem Probanden erfolgte die Knopfdruckreaktion nicht entsprechend der Instruktion und konnte daher nicht ausgewertet werden. Die anderen elf Probanden bewerteten die Personenstimmen signifikant häufiger als unbekannt (U) denn als bekannt (B) ($P_U 21 \pm 1$, $P_B 9 \pm 1$, $z = 2,95$, $p = 0,001$). Bei den Tierstimmen und den Musikinstrumenten wurden mehr Stimuli als bekannt denn als unbekannt klassifiziert, was sich statistisch jedoch nur für die Musikinstrumente verifizieren ließ ($T_U 14 \pm 1$, $T_B 16 \pm 1$, $z = 1,74$, $p = 0,098$; $M_U 13 \pm 1$, $M_B 17 \pm 1$, $z = 2,20$, $p = 0,039$). Die Anzahl der bekannten Stimuli unterschied sich damit signifikant zwischen den Personen auf der einen Seite und den Tieren und Musikinstrumenten

auf der anderen Seite ($z \geq 2,81$, $p \leq 0,002$). Tiere und Musikinstrumente wurden gleich häufig als bekannt bewertet ($z = 0,42$, $p = 0,703$). Zu den unbekanntem Stimuli wurden neben denjenigen, die von den Probanden als unbekannt bewertet worden waren, auch die gerechnet, die zu einer Nullreaktion führten oder die als unbekannt Stimuli geplant worden waren, bei denen die Probanden jedoch eine Bekanntheit der Stimuli angaben. Beide Reaktionsarten kamen bei allen drei Kategorien äußerst selten vor. Bei den Personenstimmen entschieden die Probanden signifikant häufiger als bei den beiden anderen Kategorien, dass ihnen die bekannten Stimuli unbekannt waren ($P_{BU} 10 \pm 1$, $T_{BU} 3 \pm 1$, $M_{BU} 3 \pm 1$; P_{BU} vs. T_{BU} und M_{BU} $z \geq 2,81$, $p \leq 0,002$) (Abbildung 5.12a).

Anhand der Tastendruckreaktionen wurde eine Reaktionszeitanalyse für die verschiedenen semantischen Kategorien und die Antworttypen vorgenommen und die Stimuli jeder Kategorie in langsam (L) und schnell (S) erkannte Stimuli unterteilt (Abbildung 5.12b). Für alle Stimuli gemeinsam betrug die Zeit von Beginn der Stimuluspräsentation bis zum Tastendruck $3,4 \pm 0,3$ s, für Personenstimmen $3,8 \pm 0,3$ s, für Tierstimmen $3,1 \pm 0,2$ s und für die Musikinstrumente $3,4 \pm 0,3$ s. Damit erfolgten die Reaktionen auf die Tiere signifikant schneller als auf die Personen und Musikinstrumente ($z \geq 2,22$, $p \leq 0,024$) und die Reaktionen auf die Musikinstrumente ebenfalls schneller als auf die Personen ($z = 2,13$, $p = 0,032$). Dies zeigte sich nicht so sehr innerhalb der unbekanntem Stimuli, wo nur die Tiere zu einer signifikant schnelleren Reaktion verglichen mit den Personen führten (P_U vs. T_U $z = 2,40$, $p = 0,014$; P_U vs. M_U $z = 0,80$, $p = 0,465$; T_U vs. M_U $z = 1,16$, $p = 0,278$), sondern wurde eher bei den bekannten Stimuli deutlich (P_B vs. T_B $z = 2,40$, $p = 0,014$; P_B vs. M_B $z = 1,87$, $p = 0,067$; T_B vs. M_B $z = 2,49$, $p = 0,010$). Innerhalb der bekannten Stimuli zeigte sich der Unterschied nicht bei den schnell erkannten Stimuli (P_{B_s} vs. T_{B_s} $z = 1,69$, $p = 0,102$; P_{B_s} vs. M_{B_s} $z = 1,60$, $p = 0,123$; T_{B_s} vs. M_{B_s} $z = 0,89$, $p = 0,413$), aber bei den langsam erkannten Stimuli (P_{B_l} vs. T_{B_l} $z = 2,49$, $p = 0,010$; P_{B_l} vs. M_{B_l} $z = 1,87$, $p = 0,067$; T_{B_l} vs. M_{B_l} $z = 2,58$, $p = 0,007$).

Beim Vergleich der unbekanntem und bekannten Stimuli innerhalb jeder semantischen Kategorie (P_U $4,0 \pm 0,3$ s, P_B $3,5 \pm 0,3$ s; T_U $3,5 \pm 0,2$ s, T_B $2,9 \pm 0,2$ s; M_U $3,8 \pm 0,4$ s, M_B $3,1 \pm 0,2$ s) zeigte sich bei Tieren und Musikinstrumenten eine signifikant schnellere Reaktion auf die bekannten Stimuli ($z \geq 2,67$, $p \leq 0,005$). Bei den Personen ließ sich lediglich ein Trend zu einem derartigen Unterschied feststellen ($z = 1,78$, $p = 0,083$). Nach Aufteilung der bekannten Stimuli in langsame und schnelle Reaktionen (P_{B_l} $4,5 \pm 0,6$ s, P_{B_s} $2,8 \pm 0,2$ s; T_{B_l} $3,3 \pm 0,3$ s, T_{B_s} $2,4 \pm 0,2$ s; M_{B_l} $3,8 \pm 0,3$ s, M_{B_s} $2,5 \pm 0,2$ s) zeigte sich zudem, dass die lang-

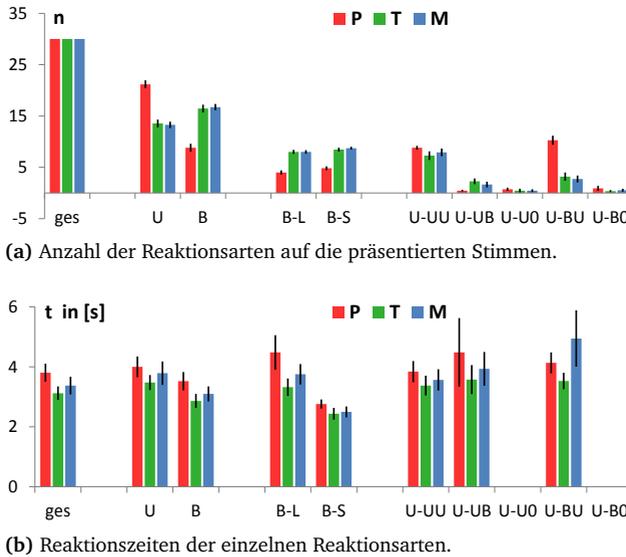


Abbildung 5.12. Experiment 3 – Verhaltensdaten. Dargestellt sind Mittelwerte \pm Standardfehler. P Personenstimmen, T Tierstimmen, M Musikinstrumente, U unbekannt, B bekannt, ges gesamt, alle Stimuli einer Kategorie. Die bekannten Stimuli wurden entsprechend ihrer Reaktionszeiten in Stimuli mit langsamen (B-L) und schnellen (B-S) Antwortzeiten unterteilt. Als unbekannte Stimuli wurden diejenigen gruppiert, die als unbekannte Stimuli geplant worden waren und auch dementsprechend entschieden wurden (U-UU), die als unbekannte Stimuli geplant worden waren, aber von den Probanden als bekannt klassifiziert wurden (U-UB), bekannte Stimuli, die als unbekannt bewertet wurden (U-BU) und Stimuli, auf die keine Reaktion folgte (U-U0 und U-B0).

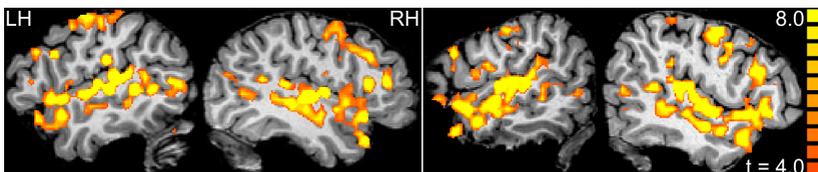


Abbildung 5.13. Experiment 3 – Aktivierungsbeispiele. Aktivierungskarten von zwei Probanden in der Sagittalebene mit $|\pm 46| \leq x \leq |\pm 55|$ auf dem Signifikanzniveau von $t \geq 4$ ($p < 0,0001$) für den Kontrast Menschliche Stimmen > Ruhe.

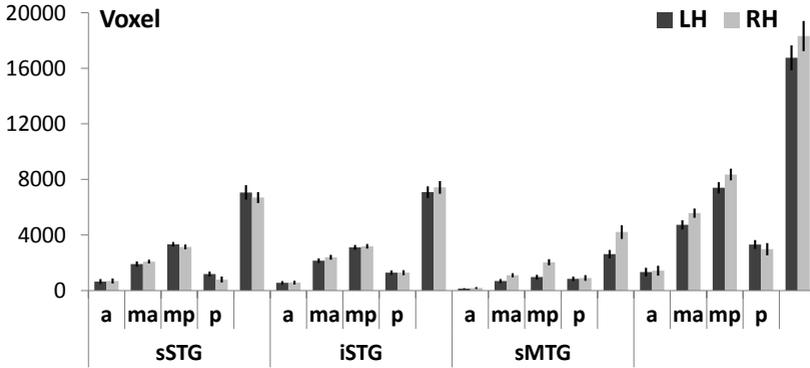
sam erkannten Stimuli einer ähnlich langen Reaktionszeit bedurften wie die unbekanntes Stimuli ($z \leq 0,98$, $p \geq 0,365$). Schnell erkannte Stimuli führten dagegen jeweils zu einer signifikant schnelleren Entscheidung als die unbekanntes Stimuli ($z \geq 2,93$, $p \leq 0,001$).

5.3.2. Funktionelle Bildgebung

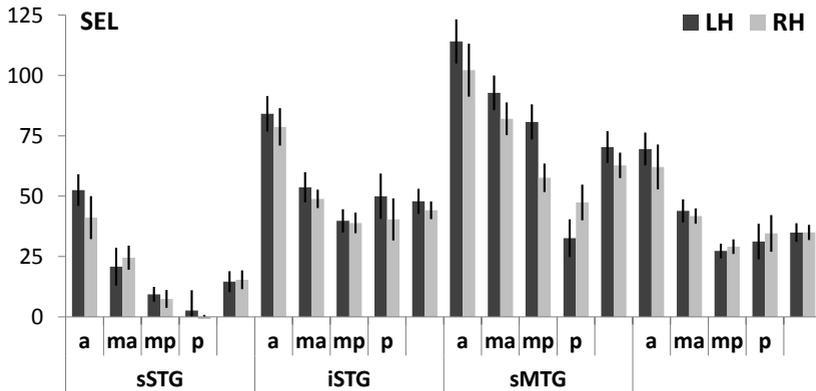
Die Verarbeitung der präsentierten Stimmen führte bei allen Probanden zu einer großflächigen Aktivierung beider Temporallappen, die sich aus einer Vielzahl einzelner Aktivierungscluster zusammensetzte (Abbildung 5.13). In den ROIs der linken Hemisphäre ergab die Berechnung eines allgemeinen linearen Modells mit dem Kontrast menschliche Stimmen > Ruhe im Mittel 16 753 aktivierte Voxel, in der rechten Hemisphäre 18 320 Voxel (Abbildung 5.14a, letzter Block). Dieser Kontrast führte jedoch nicht bei allen 12 Probanden auf dem Signifikanzniveau von $t \geq 4$ zu einer Aktivierung in allen ROIs. ROIs, in denen weniger als 12 Probanden signifikant aktivierte Voxel aufwiesen, waren *a-ISTG-LH* (11 Probanden), *a-sMTG-LH* (9) und *a-sMTG-RH* (11). Das prozentuale BOLD-Signal betrug im linken Temporallappen für Personen 0,968%, für Tiere 0,586% und für Musikinstrumente 0,671% und im rechten Temporallappen für Personen 0,979%, für Tiere 0,602% und für Musikinstrumente 0,673% (Abbildung 5.14c, letzter Block). Im Anhang sind in der Tabelle A.11 auf Seite 246 die Mittelwerte und Standardfehler dieser Daten für sämtliche einzelne und zusammengefasste ROIs aufgeführt, in Zeile a die Anzahl aktivierter Voxel, in den Zeilen b–d die Intensität des BOLD-Signals der aufgeführten Bedingungen und in den Zeilen e–p das BOLD-Signal aller weiteren Bedingungen.

5.3.2.1. Unterschiede zwischen Bedingungen

Das BOLD-Signal der verschiedenen Bedingungen unterschied sich in den Temporallappen voneinander. Personenstimmen (P) erzeugten in fast allen ROIs eine stärkere Aktivierung als Tierstimmen (T) oder Musikinstrumente (M). In keinem ROI war eine schwächere Aktivierung durch die Personen im Vergleich zu den beiden anderen Kategorien festzustellen (Abbildung 5.14c). Über den gesamten Temporallappen betrug die Differenz zwischen $P > T$ in der linken Hemisphäre 0,382% und in der rechten Hemisphäre 0,377% und zwischen $P > M$ links 0,297% und rechts 0,307%. Zwischen dem Signal der Tiere und der Musikinstrumente bestanden nur in einigen ROIs Unterschiede, die zudem deutlich geringer ausfielen, aber konsistent zugunsten der Musikinstrumente. Die Differenz betrug für $M > T$ im linken Temporallappen 0,085% und im rechten Temporallappen

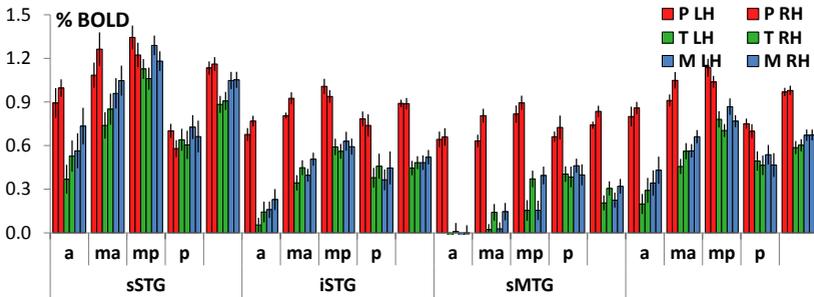


(a) Anzahl aktivierter Voxel. Hier zeigte sich ein Vorteil der rechten Hemisphäre. In wenigen ROIs waren rechts mehr Voxel aktiviert als links (Tabelle A.15a).



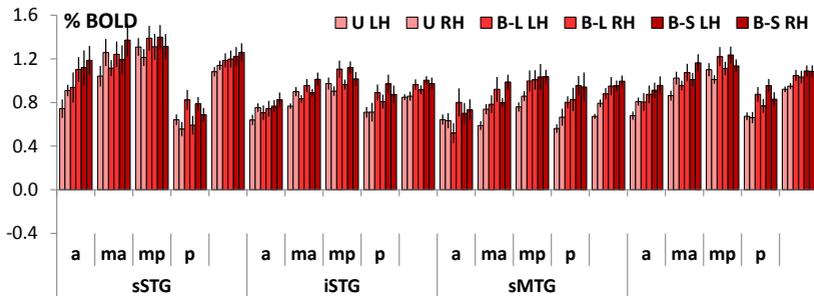
(b) Selektivitätsindex. Hier zeigte sich ein Vorteil der linken Hemisphäre. In den ROIs *a-sSTG* und *mp-sMTG* waren die Selektivitätsindizes linkshemisphärisch größer als in der rechten Hemisphäre (Tabelle A.15af). Außerdem war der Index in den ROIs *a-sMTG-LH* und *a-sMTG-RH* größer als 100, was auf eine tatsächlich selektive Aktivierung durch die menschlichen Stimmen hinweist.

Abbildung 5.14. Experiment 3 – Werte in sämtlichen ROIs beider Hemisphären. Balken mit fehlenden Bezeichnungen stehen für zusammengefasste ROIs, wie die Balken ganz rechts, die die Daten der gesamten temporalen Interesseregion abbilden. Zur Bezeichnung und Lage der Areale siehe Tabelle 4.2.



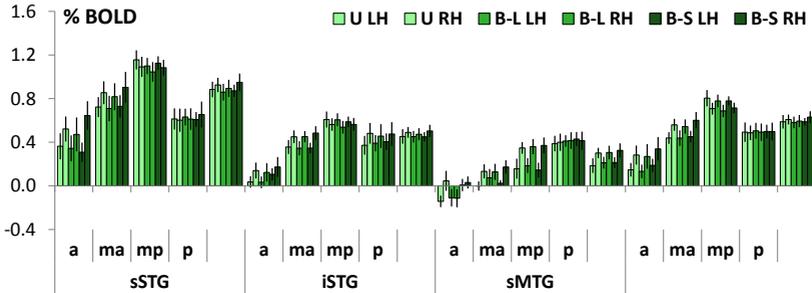
(c) BOLD-Signal. Personenstimmen (P) erzeugten eine stärkere Aktivierung als Tierstimmen (T) oder Musikinstrumente (M). Weniger deutliche Unterschiede bestanden im STG, wo jedoch die Musikinstrumente ein leicht stärkeres Signal als die Tiere hervorriefen (Tabelle A.12a–c). Weiterhin zeigte sich ein Vorteil der rechten Hemisphäre. In wenigen ROIs war rechts eine stärkere Signalintensität festzustellen als links, bei Tieren und Musikinstrumenten seltener als bei Personen (Tabelle A.15b–d). In den ROIs *a-sMTG-LH*, *a-sMTG-RH* und *ma-sMTG-LH* ist zudem eine selektive Aktivierung nur der Personenstimmen zu erkennen.

Abbildung 5.14. Experiment 3 – Werte (Fortsetzung).

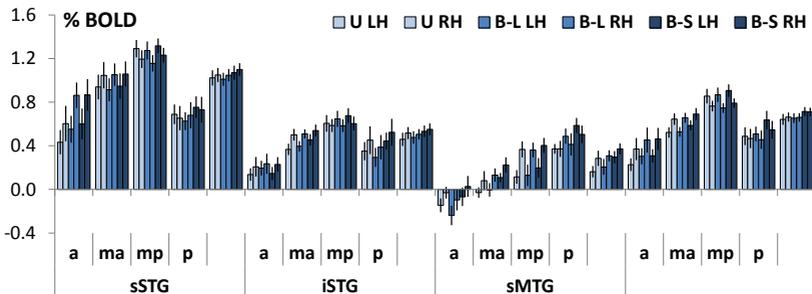


(a) Menschliche Stimmen. Bekannte Stimmen verursachten in vielen ROIs eine stärkere Aktivierung als unbekannte Stimmen. Das Signal der bekannten Stimmen mit kurzer und langer Reaktionszeit unterschied sich dagegen nicht voneinander (Tabelle A.12j–m). Weiterhin zeigte sich ein Vorteil der rechten Hemisphäre, stärker bei den unbekannt als den bekannten Stimmen und stärker bei den schnell als den langsam erkannten Stimmen. Bei den (langsam) erkannten Stimmen war das Signal im ROI *p-sSTG* links stärker als rechts (Tabelle A.15e, h, k, n).

Abbildung 5.15. Experiment 3 – BOLD-Signal in Abhängigkeit von Bekanntheit und Reaktionstempo in sämtlichen ROIs beider Hemisphären. Der jeweils linke Balken einer Farbe steht für die linke Hemisphäre, der jeweils rechte Balken für die rechte Hirnhälfte. Balken mit fehlenden Bezeichnungen stehen für zusammengefasste ROIs. Zur Bezeichnung und Lage der Areale siehe Tabelle 4.2. Abkürzungen: U unbekannt/nicht erkannt, B-L bekannt mit langer Reaktionszeit, B-S bekannt mit kurzer/schneller Reaktionszeit.



(b) Tierstimmen. Das Signal der erkannten und nicht erkannten Tiere unterschied sich nicht voneinander, ebenso wenig das Signal der schnell und langsam erkannten Tiere (Tabelle A.12n–q). Weiterhin zeigte sich ein Vorteil der rechten Hemisphäre, ohne offensichtlichen Unterschied zwischen bekannten und nicht erkannten oder schnell und langsam erkannten Tieren (Tabelle A.15f, i, l, o).



(c) Musikinstrumente. Bekannte Musikinstrumente verursachten in einigen ROIs eine stärkere Aktivierung als nicht erkannte Instrumente, ebenso erzeugten schnell erkannte Instrumente ein stärkeres Signal als langsam erkannte Instrumente (Tabelle A.12r–u). Weiterhin zeigte sich ein Vorteil der rechten Hemisphäre, ohne offensichtlichen Unterschied zwischen bekannten und nicht erkannten oder schnell und langsam erkannten Instrumenten (Tabelle A.15g, j, m, p).

Abbildung 5.15. Experiment 3 – BOLD-Signal in Abhängigkeit von Bekanntheit und Reaktionstempo (Fortsetzung).

0,071 %. Dieses Muster ergab sich auch bei getrennter Analyse nur der bekannten oder unbekanntem Personen, Tiere und Musikinstrumente, jedoch etwas deutlicher bei den bekannten Stimuli. Unabhängig von der Bekanntheit war jedoch zu beobachten, dass die Signalunterschiede zwischen Musikinstrumenten und Tieren in genau den Bereichen bestanden (*sSTG* und *iSTG*), in denen kaum Unterschiede zwischen Personen und diesen beiden Bedingungen vorlagen (*sSTG*). Zusätzlich erwiesen sich die Bekanntheit der Stimuli und das Reaktionstempo auf diese als Einflussfaktoren auf die Stärke des BOLD-Signals, indem bei den Personen in vielen ROIs und bei den Musikinstrumenten in einigen ROIs jeweils die bekannten Stimuli (B) eine stärkere Aktivierung verursachten als die unbekanntem Stimuli (U). Außerdem erzeugten bei den Musikinstrumenten, nicht aber bei den Personen, bekannte Stimuli mit kurzer Antwortzeit (B_S , schnell) in einigen ROIs eine stärkere Aktivität als bekannte Stimuli mit langer Reaktionszeit (B_L) (Abbildung 5.15). Bei den Tieren lagen keine Signalunterschiede in Abhängigkeit von der Familiarität der Stimuli vor. Die Daten und statistischen Werte zu diesen Angaben sind im Anhang tabellarisiert. Die Größe des Signalunterschieds zwischen den einzelnen Bedingungen ist in den Zeilen q-ak der Tabelle A.11 ab Seite 246 aufgeführt. In Tabelle A.12 auf Seite 255 ist mit einem großen Pluszeichen vermerkt, in welchen ROIs sich das BOLD-Signal zweier Bedingungen signifikant voneinander unterscheidet ($p < 0,05$, Wilcoxon, zweiseitig). Minuszeichen zeigen an, dass die sonst schwächere Bedingung das stärkere Signal hervorrief.

5.3.2.2. Unterschiede zwischen Regionen

Variation der Signalkontraste Wie im vorherigen Absatz beschrieben, erzeugten menschliche Stimmen ein stärkeres BOLD-Signal als Tiergeräusche oder Musikinstrumente. Die Signaldifferenz zwischen den Bedingungen war jedoch nicht in allen ROIs gleich groß. Wie sehr sich das BOLD-Signal der Bedingungen voneinander unterschied, hing mit dem Ursprungsort des Signals zusammen. Im posterioren STG fielen die Unterschiede geringer aus als in weiter anterior und inferior liegenden ROIs (Abbildungen 5.16 und 5.17).

Ein Selektivitätsindex erfasste die Größe des Signalunterschieds zwischen den menschlichen Stimmen auf der einen Seite und den Tieren und Musikinstrumenten auf der anderen Seite. Bei diesem Index stehen niedrige Werte für ein ähnlich starkes BOLD-Signal aller Bedingungen und hohe Werte für eine deutlich größere Signalintensität durch die menschlichen Stimmen. Die niedrigsten Selektivitätsindizes befanden sich bilateral im ROI *p-sSTG*. Der Selektivitätsindex im ROI *p sSTG RH* nahm sogar einen negativen Wert an, da die Musikinstrumente in dieser Region ein minimal

stärkeres Signal erzeugten als die menschlichen Stimmen. Von dort aus nahm der Selektivitätsindex nach anterior und inferior zu (Tabelle A.11a, Abbildung 5.14b). Entlang der superior-inferior-Achse waren die Werte in den *sSTG*-ROIs kleiner als in den weiter inferior liegenden Regionen und bis auf eine Ausnahme in den *iSTG*-ROIs wiederum kleiner als in den *sMTG*-ROIs. Entlang der anterior-posterior-Achse waren die Selektivitätsindizes in den *p*-ROIs am kleinsten, gefolgt von den *mp*-ROIs, deren Werte wiederum kleiner waren als die der *ma*-ROIs. Die größten Selektivitätsindizes wiesen die *a*-ROIs auf. In keinem Bereich der Temporallappen zeigte sich eine umgekehrte Reihenfolge. Die direkte Differenz des BOLD-Signals zweier Bedingungen variierte ebenfalls zwischen den verschiedenen ROIs. Diese war im posterioren STG geringer als in weiter anterior oder inferior liegenden Arealen der Temporallappen. Die Signaldifferenz zwischen den menschlichen Stimmen und den anderen beiden Bedingungen ($P > T$ und $P > M$) nahm analog zum Selektivitätsindex von superior nach inferior und von den *p*-ROIs nach anterior zu. Dies gilt nicht für den Vergleich der Musikinstrumente mit den Tiergeräuschen ($M > T$), hier war stattdessen eine Abnahme der Signaldifferenz von superior nach inferior zu verzeichnen (Tabelle A.11p–r). Dasselbe Muster zeigte sich auch, wenn die Differenz nur der bekannten oder nur der unbekanntem Stimuli untersucht wurde (Tabelle A.11t–y). Die Differenz zwischen bekannten und unbekanntem oder schnell und langsam erkannten Stimuli einer Kategorie variierte dagegen kaum zwischen den temporalen ROIs. Lediglich entlang der superior-inferior-Achse nahm die Signaldifferenz zwischen bekannten und unbekanntem Personen sowie zwischen bekannten und unbekanntem Musikinstrumenten nach inferior zu (Tabelle A.11z–ak).

In den Tabellen A.13 und A.14 sind mit einem großen Pluszeichen die Regionen gekennzeichnet, zwischen denen der Selektivitätsindex (Zeile ae) oder die Differenz des BOLD-Signals zweier Bedingungen (Zeilen p–ad) entsprechend der mit Pfeilen angegebenen Richtung signifikant ($p < 0,05$, Wilcoxon, zweiseitig) zunahm, Minuszeichen stehen für eine Verringerung der Werte. In Klammern aufgeführte Zeichen sagen wie nicht eingeklammerte Zeichen, dass die Differenz zweier Signale (z.B. $M_U > T_U$) von ROI_1 zu ROI_2 ab- oder zugenommen hat. Im Gegensatz zu anderen Regionen führte jedoch im ROI_1 die zweite Bedingung (T_U) zu dem stärkeren Signal, wobei die absolute Differenz im ROI_1 größer ausfiel als im ROI_2 .

Variation der Signalintensität Auch das BOLD-Signal selbst variierte in seiner Stärke in Abhängigkeit von seinem Quellort in den Temporallappen. Es verhielt sich jedoch den Selektivitätsindizes entgegengesetzt,

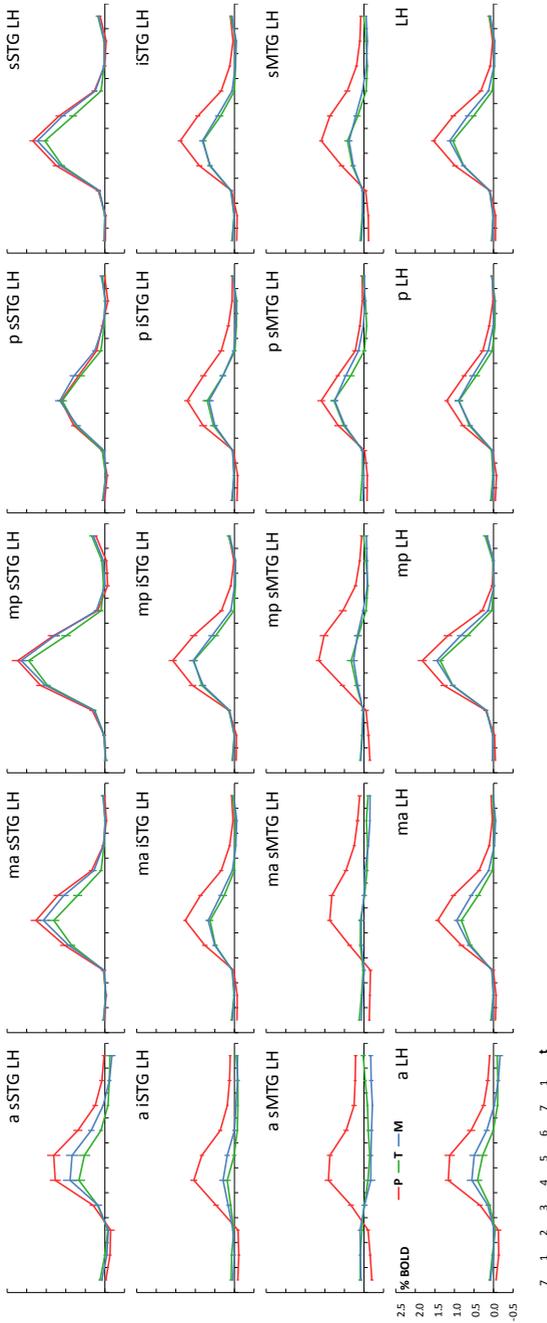


Abbildung 5.16. Experiment 3 – BOLD-Kurven LH. Abgebildet ist der Signabverlauf der einzelnen Bedingungen in jedem ROI der linken Hemisphäre. Zur Bezeichnung und Lage der Areale siehe Tabelle 4.2. In den Grafiken ist die Intensität des BOLD-Signals (y-Achse) über die Zeit (x-Achse) dargestellt, die als die Dauer zur Messung eines Hirnvolumens abgetragen ist (je 2 s). Die Stimuluspräsentation erfolgte zwischen den Zeitpunkten 1 und 2. Das BOLD-Signal aller Bedingungen war im ROI mp-sSTG am stärksten, der Signalunterschied zwischen den Personen und den beiden anderen Bedingungen im ROI p-sSTG am kleinsten. Ausgehend vom mp-ROI war eine Signalabnahme nach anterior, posterior und inferior zu beobachten, bei gleichzeitiger Zunahme des Signalunterschieds vom p-ROI aus nach anterior und inferior (Tabellen A.13, A.14).

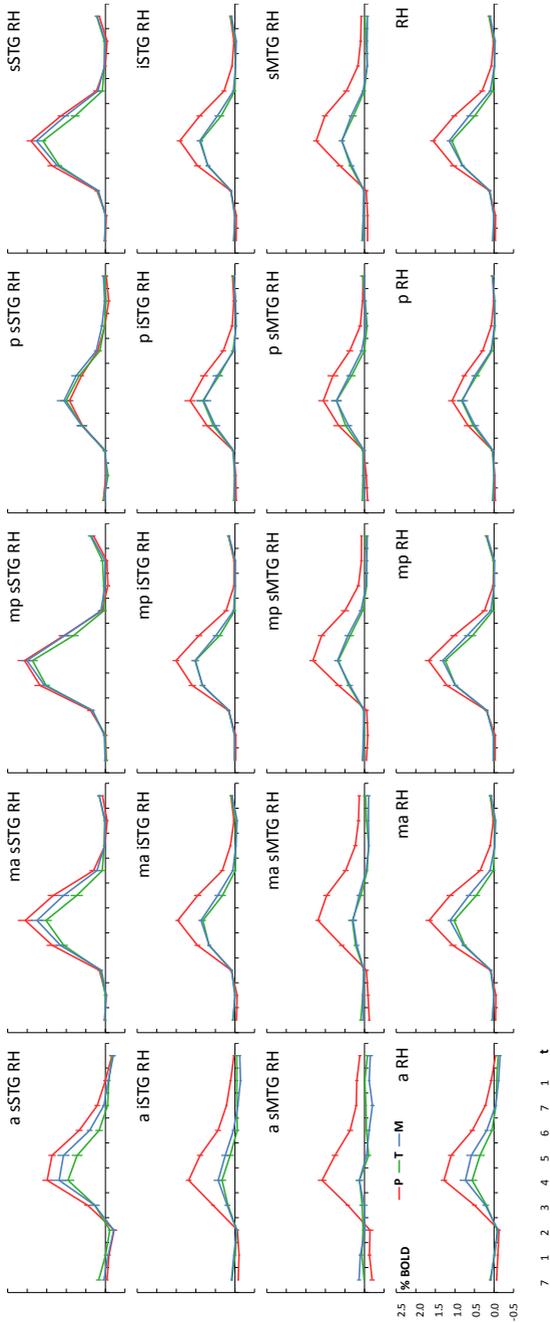


Abbildung 5.17. Experiment 3 – BOLD-Kurven RH. Abgebildet ist für jedes ROI der rechten Hemisphäre der Signalverlauf der einzelnen Bedingungen. Erklärungen, Abkürzungen und Ergebnisse siehe Abbildung 5.16. In den ROIs a-sMTG-RH, a-sMTG-LH und ma-sMTG-LH ist zudem eine selektive Aktivierung nur der Personenstimmen zu erkennen. (Tiere und Musikinstrumente: $z \leq 0,55$, $p \geq 0,622$).

indem es in Regionen im zentralen STG am stärksten war und schwächer wurde, je weiter entfernt sich ein ROI von dieser Region befand. Die Signalintensität war bei den Tieren und Musikinstrumenten bilateral und bei den menschlichen Stimmen linkslateral im ROI *mp-sSTG* am stärksten (bei den menschlichen Stimmen rechtslateral im ROI *ma-sSTG*) und fiel in weiter anterior, posterior oder inferior liegenden ROIs zunehmend geringer aus (Tabelle A.11b–d, Abbildungen 5.16 und 5.17). Entlang der superior-inferior-Achse stellten sich die Signalunterschiede zwischen den ROIs derart dar, dass die Werte in den *sSTG*-ROIs größer waren als in den weiter inferior liegenden Regionen und in den *iSTG*-ROIs wiederum größer als in den *sMTG*-ROIs. Lediglich bei den menschlichen Stimmen wies ein weiter superior liegendes ROI ein geringeres Signal auf die weiter inferior liegenden ROIs. Entlang der anterior-posterior-Achse war das BOLD-Signal in den *mp*-ROIs am größten, gefolgt von den *ma*-ROIs, deren Werte wiederum größer waren als die der *p*-ROIs. Die kleinsten BOLD-Werte wiesen die *a*-ROIs auf. Vereinzelt kam es aber auch zu einer Zunahme des Signals von *ma* oder *mp* nach *p* oder von *p* nach *a*. Dasselbe Muster zeigte sich auch, wenn die Stimuli entsprechend ihrer Familiarität und Reaktionszeit separat untersucht wurden (Tabelle A.11e–p, Abbildung 5.15). In den Zeilen a–o der Tabellen A.13 und A.14 sind mit einem großen Minuszeichen die Regionen gekennzeichnet, zwischen denen die Signalintensität entsprechend der mit Pfeilen angegebenen Richtung signifikant ($p < 0,05$, Wilcoxon, zweiseitig) abnahm. Pluszeichen stehen für eine Signalzunahme.

Der Selektivitätsindex, der sich aus dem Verhältnis des BOLD-Signals der Experimentalbedingung (Personen) zu den Kontrollbedingungen (Tiere und Musikinstrumente) berechnete, nahm also entlang der Achsen zu, entlang derer das BOLD-Signal dieser Bedingungen abnahm. Bei einer gleichmäßigen Signalreduktion der drei Bedingungen hätte der Selektivitätsindex in allen ROIs ähnlich große Werte angenommen. Da das BOLD-Signal der Kontrollbedingungen jedoch im Vergleich zum Signal der Experimentalbedingung deutlich stärker abnahm, stiegen die Selektivitätswerte mit zunehmender Distanz vom primärauditorischen Kortex in weiter anterior und inferior liegenden ROIs an. In Tabelle A.11 ist für jede der drei Bedingungen die prozentuale Signalreduktion verglichen mit dem Signal im signalstärksten ROI angegeben, einmal als Vergleich entlang der superior-inferior-Achse (Zeilen am–ao) und einmal entlang der anterior-posterior-Achse (Zeilen ap–ar). Der geringste Wert entlang der superior-inferior-Achse war in beiden Hemisphären im *sSTG* festzustellen, entlang der anterior-posterior-Achse im Bereich *mp* (als Hinweis auf eine geringe Signalreduktion und damit ein starkes BOLD-Signal)¹. Beim

superior-inferior-Vergleich ist zu erkennen, dass in den *iSTG*- und *sMTG*-ROIs beider Hemisphären die Werte beider Kontrollbedingungen (T, M) größer sind als die Werte der Experimentalbedingung (P). Dies zeigt die größere Signalreduktion, verglichen mit den Maximalwerten in den *sSTG*-ROIs, an, die bei den Kontrollbedingungen deutlicher ausfiel als bei der Experimentalbedingung (für *iSTG-LH*, *iSTG-RH*, *sMTG-LH* und *sMTG-RH* $z = 3,06$, $p = 0,000$). Beim anterior-posterior-Vergleich ist zu erkennen, dass in den *a*- und *ma*-ROIs die Werte der Kontrollbedingungen größer sind als die Werte der Experimentalbedingung. Dies zeigt die größere Signalreduktion, verglichen mit den Maximalwerten in den *mp*-ROIs, an, die bei den Kontrollbedingungen deutlicher ausfiel als bei der Experimentalbedingung (für *a-LH*, *a-RH*, *ma-LH* und *ma-RH* $z \geq 2,52$, $p \leq 0,008$). Dies war im Gegensatz zu den ersten beiden Experimenten nicht in den *p*-ROIs zu beobachten ($z \leq 1,10$, $p \geq 0,301$).

5.3.2.3. Hemisphärenunterschiede

Beide Hirnhälften zeigten ein äußerst ähnliches Aktivierungsmuster, indem sie deutlich auf die Präsentation der menschlichen Stimmen reagierten und zwischen diesen und den Tierstimmen und Musikinstrumenten unterschieden. Dennoch konnten vereinzelt auch Unterschiede zwischen den Hemisphären festgestellt werden. Die rechte Hemisphäre wies in diesen Fällen eine stärkere Aktivierung auf als die linke Hemisphäre, die dagegen deutlicher als die rechte Hirnhälfte zwischen den verschiedenen Bedingungen unterschied. Im Gegensatz zu den ersten beiden Experimenten fielen diese Unterschiede jedoch deutlich geringer aus.

Die stärkere Aktivierung der rechten verglichen mit der linken Hemisphäre äußerte sich zum einen in einigen Arealen in einer größeren Anzahl aktivierter Voxel (Abbildung 5.14a). In keinem ROI lag ein Vorteil zugunsten der linken Hemisphäre vor. Zum anderen äußerte sich die rechtshemisphärisch stärkere Aktivierung darin, dass das BOLD-Signal der drei Bedingungen in einigen ROIs dieser Hemisphäre größer war als in der linken Hirnhälfte (Abbildung 5.14c). Seltener als diese rechtshemisphärische Dominanz zeigte sich auch mal ein Trend zu einem Vorteil der linken Hemisphäre. Wurden unbekannte und erkannte Stimuli jeder Kategorie separat betrachtet, blieb die stärkere Tendenz zur rechts- als zur linkshemisphärischen Dominanz erhalten. Bei den Tieren und Musikinstrumenten variierten die Hemisphärenunterschiede nicht in Abhängigkeit von der Familiarität der Stimuli. Bei den erkannten Stimmen war die rechtshemisphärische Dominanz jedoch geringer ausgeprägt als bei den unbekanntem Stimmen und bei den langsam erkannten Stimmen geringer als bei den schnell erkannten Stimmen, stattdessen war in einem ROI

(*p*-*sSTG*) auch ein linkshemisphärischer Vorteil festzustellen. Im Gegensatz zum rechtshemisphärischen Vorteil die Aktivierungsstärke betreffend waren die Unterschiede zwischen den Bedingungen linksseitig vereinzelt stärker ausgeprägt. Der Selektivitätsindex, der das Verhältnis der Personen zu den Tieren und Musikinstrumenten angibt, war in zwei ROIs der linken Hemisphäre signifikant höher als in den homologen ROIs der rechten Hirnhälfte (Abbildung 5.14b). Der umgekehrte Fall, dass die rechte Hemisphäre stärker zwischen den menschlichen Stimmen und den beiden anderen Bedingungen unterschied, traf auf kein ROI zu. In der direkten Differenz des BOLD-Signals zweier Bedingungen zeigten sich kaum Hemisphärenunterschiede, weder beim Vergleich der drei Bedingungen (P, T, M) untereinander, noch beim Vergleich bekannter und unbekannter oder langsam und schnell erkannter Stimuli innerhalb einer Kategorie (Abbildung 5.15).

Mittelwerte und Standardfehler dieser Daten sind für sämtliche ROIs in Tabelle A.11 auf Seite 246 aufgeführt. In Tabelle A.15 auf Seite 265 ist mit einem R für rechte Hemisphäre oder einem L für linke Hemisphäre vermerkt, in welchen ROIs und in welche Richtung signifikante ($p < 0,05$, Wilcoxon, zweiseitig) Hemisphärenunterschiede festzustellen waren. In Zeile a gilt dies für die Anzahl aktivierter Voxel, in den Zeilen b–p für das BOLD-Signal, in Zeile af für den Selektivitätsindex und in den Zeilen q–ae für die Differenz des BOLD-Signals zweier Bedingungen.

5.4. Experiment 4

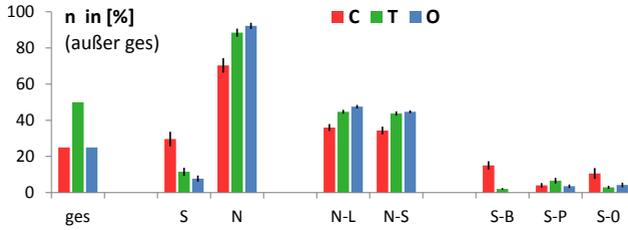
5.4.1. Verhaltensdaten

Die visuell präsentierten Comicfiguren (C), Tiere (T) und Obst- und Gemüsesorten (O) sollten von den Probanden mündlich benannt (N) oder semantisch umschrieben (S) werden. Korrekt benannt wurden $70 \pm 4\%$ der Comicfiguren, $88 \pm 2\%$ der Tiere und $92 \pm 2\%$ der Früchte². Die Anzahl der korrekt benannten Abbildungen unterschied sich damit signifikant zwischen den semantischen Kategorien ($z \geq 2,17$, $p \leq 0,029$). Von den Abbildungen, die nicht korrekt benannt wurden, wurde angenommen, dass diese dennoch semantisch verarbeitet wurden. Dies wurde deutlich, indem es entweder zu einer Beschreibung im Satz oder durch Nennen des Oberbegriffs kam (B) ($C_{S_B} 15 \pm 2\%$; $T_{S_B} 2 \pm 1\%$; $O_{S_B} 0 \pm 0\%$) oder zu einer Fehlbenennung (Paraphasie) durch ein visuell und se-

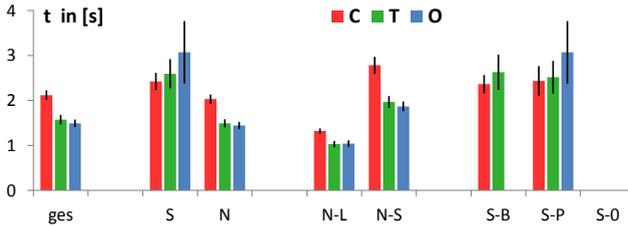
²Abweichend von den anderen Experimenten wurden die Verhaltensdaten dieses Experiments in Prozent angegeben, da sich die drei Kategorien in der Anzahl der präsentierten Stimuli unterschieden.

mantisch ähnliches Kohyponym (P) (C_{S_p} $4 \pm 1\%$; T_{S_p} $7 \pm 2\%$; O_{S_p} $4 \pm 1\%$). Zusätzlich wurde eine semantische Verarbeitung aber auch der Grafiken angenommen, auf die die Probanden nicht overt reagierten und die in einer Nullreaktion resultierten (0) (C_{S_0} $11 \pm 3\%$; T_{S_0} $3 \pm 1\%$; O_{S_0} $4 \pm 1\%$). Wurden die Comicfiguren nicht benannt, kam es etwa gleich häufig zu Beschreibungen und Nullreaktionen ($z = 1,11$, $p = 0,278$), seltener zum Benennen eines semantisch ähnlichen Charakters (verglichen mit C_{S_p} $z \geq 3,43$, $p = \leq 0,000$ und verglichen mit C_{S_0} $z \geq 2,07$, $p = \leq 0,051$). Wenn die Tiere nicht benannt wurden, kam es etwa gleich selten zu einer Beschreibung oder einer Nullreaktion ($z = 1,01$, $p = 0,357$) und signifikant häufiger zum Nennen eines anderen Tieres ($z \geq 2,18$, $p \leq 0,033$). Wurde ein Obst oder Gemüse nicht benannt, kam es etwa gleich häufig zum Nennen einer anderen Obst- oder Gemüsesorte und Nullreaktionen ($z = 0,54$, $p = 0,645$), signifikant seltener zu einer Beschreibung ($z \geq 2,69$, $p \leq 0,004$) (Abbildung 5.18a).

Anhand der overten Reaktionen wurden eine Reaktionszeitanalyse für die verschiedenen semantischen Kategorien und die Antworttypen vorgenommen und die Stimuli jeder Kategorie in langsam (L) und schnell (S) benannte Abbildungen unterteilt (Abbildung 5.18b). Für alle Grafiken gemeinsam betrug die Zeit von Beginn der Stimuluspräsentation bis zum Beginn der mündlichen Antwort $1,7 \pm 0,1$ s, für Comicfiguren $2,1 \pm 0,1$ s, für Tiere $1,6 \pm 0,1$ s und für Obst und Gemüse $1,5 \pm 0,1$ s. Damit erfolgten die Reaktionen auf die Tiere und die Obst- und Gemüsesorten etwa gleich schnell ($z = 0,78$, $p = 0,459$), beide aber signifikant schneller als auf die Comicfiguren ($z \geq 3,38$, $p = 0,000$). Das gleiche Muster zeigte sich auch innerhalb der benannten Stimuli (C_N $2,0 \pm 0,1$ s, T_N $1,5 \pm 0,1$ s, O_N $1,4 \pm 0,1$ s), der schnell benannten Stimuli (C_{N_s} $1,3 \pm 0,1$ s, T_{N_s} $1,0 \pm 0,1$ s, O_{N_s} $1,0 \pm 0,1$ s) und der langsam benannten Stimuli (C_{N_l} $2,8 \pm 0,2$ s, T_{N_l} $2,0 \pm 0,1$ s, O_{N_l} $1,9 \pm 0,1$ s). Die Comicfiguren wurden jeweils langsamer benannt als die Bilder der beiden anderen Kategorien ($z \geq 3,53$, $p = 0,000$), die sich nicht in ihren Benennzeiten unterschieden ($z \leq 0,69$, $p \geq 0,517$). Die Reaktionszeiten auf die nicht benannten Stimuli dauerten im allgemeinen länger als das korrekte Benennen (C_S $2,4 \pm 0,2$ s, T_S $2,6 \pm 0,3$ s, O_S $3,1 \pm 0,7$ s). Da dies jedoch bei zu wenigen Bildern der Fall war, ist eine statistische Analyse der Reaktionszeiten nur für die Comicfiguren sinnvoll möglich. Hier zeigte sich, dass das Benennen signifikant schneller erfolgte als das Beschreiben ($z = 2,30$, $p = 0,020$), insbesondere gilt das für die schnell benannten Grafiken ($z = 3,62$, $p = 0,000$). Bei den langsam benannten Comicfiguren benötigten die Probanden dagegen ähnlich lange bis zur Reaktion wie bei den beschriebenen Stimuli ($z = 1,49$, $p = 0,145$).



(a) Anzahl der Reaktionsarten auf die präsentierten Stimmen.



(b) Reaktionszeiten der einzelnen Reaktionsarten.

Abbildung 5.18. Experiment 4 – Verhaltensdaten. Dargestellt sind Mittelwerte \pm Standardfehler. C Comicfiguren, T Tiere, O Obst und Gemüse, S semantisch umschrieben, N benannt, ges gesamt, alle Stimuli einer Kategorie. Die benannten Stimuli wurden entsprechend ihrer Reaktionszeiten in Stimuli mit langsamen (N-L) und schnellen (N-S) Antwortzeiten unterteilt. Als semantisch umschriebene Stimuli wurden neben denjenigen, bei denen die Probanden eine semantische Beschreibung (S-B) gaben, auch die Äußerung einer semantischen Paraphrasie (S-P) und die Nullreaktionen gezählt (S-O).

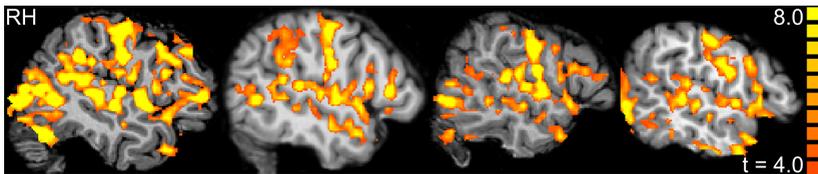


Abbildung 5.19. Experiment 4 – Aktivierungsbeispiele. Aktivierungskarten der rechten Hemisphäre von vier Probanden in der Sagittalebene mit $50 \leq x \leq 56$ auf dem Signifikanzniveau von $t \geq 4$ ($p < 0,0001$) für den Kontrast Comicfiguren > Ruhe.

5.4.2. Funktionelle Bildgebung

Die Verarbeitung der visuell präsentierten Zeichentrickfiguren führte bei allen Probanden zu einer Aktivierung beider Temporallappen, die sich aus mehreren einzelnen Aktivierungsklustern zusammensetzte (Abbildung 5.19). In den ROIs der linken Hemisphäre ergab die Berechnung eines allgemeinen linearen Modells mit dem Kontrast Zeichentrickfiguren > Ruhe im Mittel 11 859 aktivierte Voxel, in der rechten Hemisphäre 13 310 Voxel (Abbildung 5.20a, letzter Block). Dieser Kontrast führte jedoch nicht bei allen 17 Probanden auf dem Signifikanzniveau von $t \geq 4$ zu einer Aktivierung in allen ROIs. ROIs, in denen weniger als 17 Probanden signifikant aktivierte Voxel aufwiesen, waren *a-sSTG-RH* (16 Probanden), *a-iSTG-LH* (16), *a-iSTG-RH* (16), *a-sMTG-LH* (13), *a-sMTG-RH* (16), *ma-sMTG-RH* (16) und *a-RH* (16). Das prozentuale BOLD-Signal betrug im linken Temporallappen für die Zeichentrickfiguren 0,684%, für Tiere 0,530% und für Obst und Gemüse 0,554% und im rechten Temporallappen für die Zeichentrickfiguren 0,688%, für Tiere 0,562% und für Obst und Gemüse 0,590% (Abbildung 5.20c, letzter Block). Im Anhang sind in der Tabelle A.16 auf Seite 269 die Mittelwerte und Standardfehler dieser Daten für sämtliche einzelne und zusammengefasste ROIs aufgeführt, in Zeile a die Anzahl aktivierter Voxel, in den Zeilen b–d die Intensität des BOLD-Signals der aufgeführten Bedingungen und in den Zeilen e–p das BOLD-Signal aller weiteren Bedingungen.

5.4.2.1. Unterschiede zwischen Bedingungen

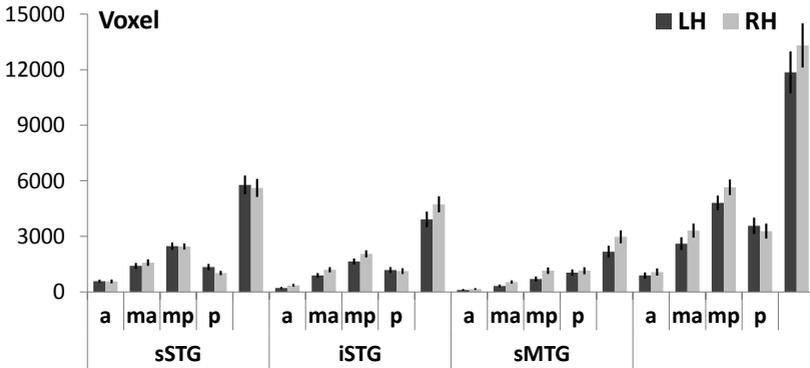
Das BOLD-Signal der verschiedenen Bedingungen unterschied sich in den Temporallappen voneinander. Comicfiguren (C) erzeugten in fast allen ROIs eine stärkere Aktivierung als Abbildungen von Tieren (T) oder von Obst und Gemüse (O). In keinem ROI war eine schwächere Aktivierung durch die Comicfiguren im Vergleich zu den beiden anderen Kategorien festzustellen (Abbildung 5.20c). Über den gesamten Temporallappen betrug die Differenz für $C > T$ in der linken Hemisphäre 0,154% und in der rechten Hemisphäre 0,126% und für $C > O$ linkshemisphärisch 0,130% und rechtshemisphärisch 0,098%. Zwischen dem Signal der Tiere und der Früchte bestanden nur in einigen ROIs Unterschiede, die zudem deutlich geringer ausfielen, häufiger zugunsten der Früchte, seltener zugunsten der Tiere. Die Differenz betrug für $O > T$ im linken Temporallappen 0,024% und im rechten Temporallappen 0,028%. Noch deutlicher war dieses Muster beim Vergleich nur der benannten Comicfiguren, Tiere und Obst- und Gemüsesorten zu erkennen, nicht jedoch bei den Stimuli, die nicht korrekt benannt worden waren, da ihre Anzahl für eine reliable statistische

Analyse zu gering war. Außerdem ließ sich beobachten, dass die Signalunterschiede zwischen den Früchten und den Tieren in genau den Bereichen zu finden waren (*sSTG* und *iSTG*), in denen kaum Unterschiede zwischen den Comicfiguren und diesen beiden Bedingungen vorlagen (*sSTG*). Zusätzlich erwiesen sich die Bekanntheit der Stimuli und das Reaktionstempo auf diese als Einflussfaktoren auf die Stärke des BOLD-Signals, jedoch nur bei den Comicfiguren. Bei diesen verursachten die benannten Stimuli (N) in einigen ROIs eine stärkere Aktivierung als die Stimuli mit semantischer Umschreibung (S) sowie die langsam benannten Stimuli (N_L) verglichen mit den schnell benannten Stimuli (N_S) (Abbildung 5.21). Bei den Tieren und dem Obst und Gemüse wurden nahezu alle Stimuli korrekt benannt, so dass ein statistischer Vergleich des Signals benannter und nicht benannter Stimuli nicht möglich ist. Beim Vergleich langsam und schnell benannter Stimuli waren trotz ausreichender Stimulusanzahl keine Unterschiede im BOLD-Signal festzustellen. Die Daten und statistischen Werte zu diesen Angaben sind im Anhang tabellarisiert. Die Größe des Signalunterschieds zwischen den einzelnen Bedingungen ist in den Zeilen q-ak der Tabelle A.16 ab Seite 269 aufgeführt. In Tabelle A.17 auf Seite 278 ist mit einem großen Pluszeichen vermerkt, in welchen ROIs sich das BOLD-Signal zweier Bedingungen signifikant voneinander unterscheidet ($p < 0,05$, Wilcoxon, zweiseitig). Minuszeichen zeigen an, dass die sonst schwächere Bedingung in einem ROI das stärkere Signal hervorrief.

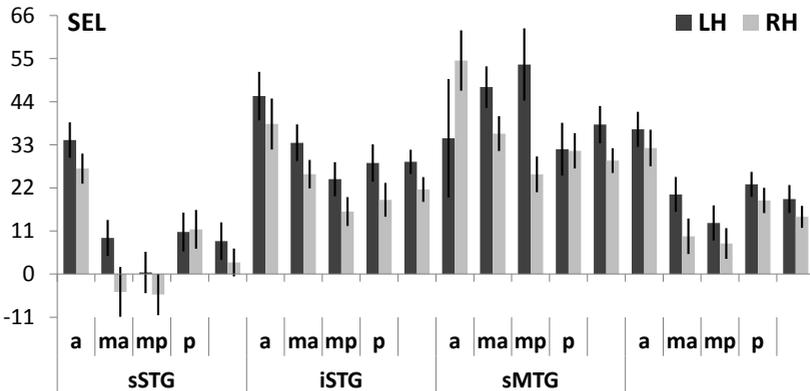
5.4.2.2. Unterschiede zwischen Regionen

Variation der Signalkontraste Wie im vorherigen Absatz beschrieben, erzeugten Comicfiguren ein stärkeres BOLD-Signal als Tiere oder Obst- und Gemüsesorten. Die Signaldifferenz zwischen den Bedingungen war jedoch nicht in allen ROIs gleich groß. Wie sehr sich das BOLD-Signal der Bedingungen voneinander unterschied, hing mit dem Ursprungsort des Signals zusammen. Im zentralen STG fielen die Unterschiede geringer aus als in weiter anterior, posterior oder inferior liegenden ROIs (Abbildungen 5.22 und 5.23).

Ein Selektivitätsindex erfasste die Größe des Signalunterschieds zwischen den Zeichentrickfiguren auf der einen Seite und den Tieren und dem Obst und Gemüse auf der anderen Seite. Bei diesem Index stehen niedrige Werte für ein ähnlich starkes BOLD-Signal aller Bedingungen und hohe Werte für eine deutlich größere Signalintensität durch die Comicfiguren. Die niedrigsten Selektivitätsindizes befanden sich bilateral im ROI *mp-sSTG*. Der Selektivitätsindex im ROI *mp sSTG RH* nahm sogar einen negativen Wert an, da die Früchte in dieser Region ein minimal stärkeres Signal erzeugten als die Comicfiguren. Von dort aus nahm der Se-

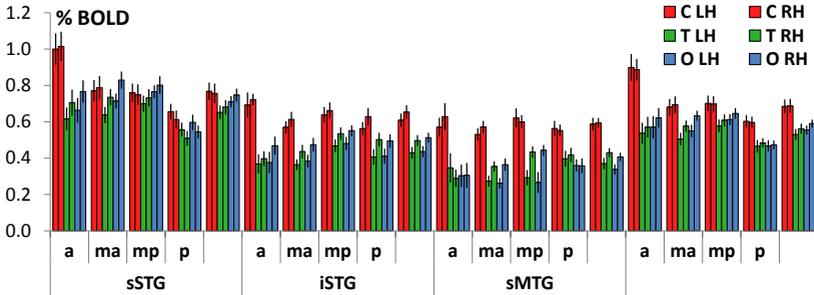


(a) Anzahl aktivierter Voxel. Hier zeigte sich ein Vorteil der rechten Hemisphäre. In mehreren ROIs waren rechts mehr Voxel aktiviert als links (Tabelle A.20a).



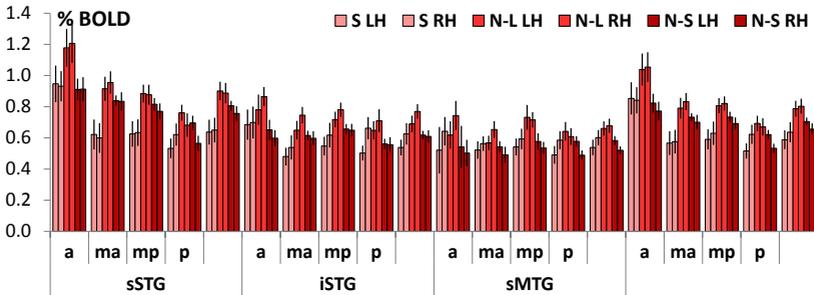
(b) Selektivitätsindex. Hier zeigte sich ein Vorteil der linken Hemisphäre. In mehreren ROIs waren die Selektivitätsindizes linkshemisphärisch größer als in der rechten Hemisphäre (Tabelle A.20af).

Abbildung 5.20. Experiment 4 – Werte in sämtlichen ROIs beider Hemisphären. Balken mit fehlenden Bezeichnungen stehen für zusammengefasste ROIs, wie die Balken ganz rechts, die die Daten der gesamten temporalen Interesseregion abbilden. Zur Bezeichnung und Lage der Areale siehe Tabelle 4.2.



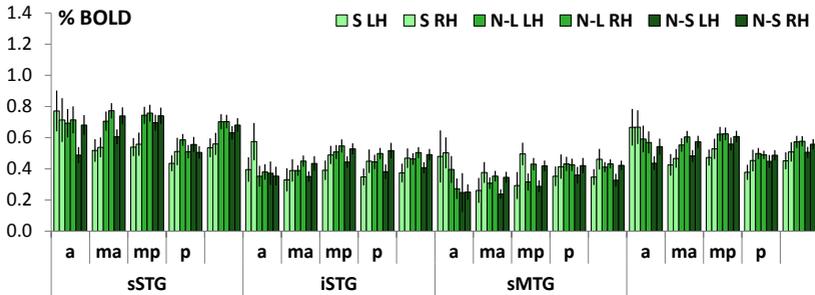
(c) BOLD-Signal. Comicfiguren (C) erzeugten in fast allen ROIs eine stärkere Aktivierung als Abbildungen von Tieren (T) oder von Obst und Gemüse (O). Weniger deutliche Unterschiede bestanden im STG, wo stattdessen die Obst- und Gemüsesorten ein leicht stärkeres Signal als die Tiere hervorriefen (Tabelle A.17a–c). Weiterhin zeigte sich ein Vorteil der rechten Hemisphäre. In mehreren ROIs war rechts eine stärkere Signalintensität festzustellen als links, jedoch nur bei Tieren und dem Obst und Gemüse, nicht bei den Comicfiguren (Tabelle A.20b–d).

Abbildung 5.20. Experiment 4 – Werte (Fortsetzung).

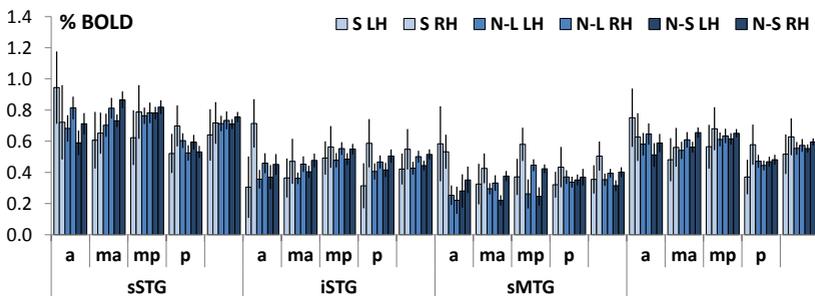


(a) Comicfiguren. Die benannten Figuren verursachten in einigen ROIs eine stärkere Aktivierung als semantisch umschriebene Figuren und die langsam benannten Figuren als die schnell benannten Comicfiguren (Tabelle A.17j–m). Hemisphärenunterschiede variierten mit der Bekanntheit und dem Benenntempo. Bei den nicht benannten Stimuli zeigte sich in einigen ROIs ein Vorteil der rechten Hemisphäre und bei den langsam benannten Figuren in einem ROI. Bei den schnell benannten Figuren war dagegen in mehreren ROIs ein Vorteil der linken Hirnhälfte festzustellen (Tabelle A.20e, h, k, n).

Abbildung 5.21. Experiment 4 – BOLD-Signal in Abhängigkeit von Bekanntheit und Reaktionstempo in sämtlichen ROIs beider Hemisphären. Der jeweils linke Balken einer Farbe steht für die linke Hemisphäre, der jeweils rechte Balken für die rechte Hirnhälfte. Balken mit fehlenden Bezeichnungen stehen für zusammengefasste ROIs. Zur Bezeichnung und Lage der Areale siehe Tabelle 4.2. Abkürzungen: S semantisch umschrieben, N-L benannt mit langer Reaktionszeit, N-S benannt mit kurzer/schneller Reaktionszeit.



(b) Tiere. Es bestanden kaum Signalunterschiede zwischen langsam und schnell benannten Tieren (Tabelle A.17n–q). Weiterhin zeigte sich ein Vorteil der rechten Hemisphäre, sehr deutlich bei den schnell benannten Tieren, bei den langsam benannten Stimuli nur in zwei ROIs als Trend (Tabelle A.20f, i, l, o). Da die Tiere fast vollständig korrekt benannt wurden, ist eine statistische Analyse des Signals der nicht benannten Grafiken nicht möglich.



(c) Obst und Gemüse. Es bestanden kaum Signalunterschiede zwischen langsam und schnell benannten Früchten (Tabelle A.17r–u). Es zeigte sich aber ein Vorteil der rechten Hemisphäre, deutlicher bei den schnell als bei den langsam benannten Stimuli (Tabelle A.15g, j, m, p). Da die Früchte fast vollständig korrekt benannt wurden, ist eine statistische Analyse des Signals der nicht benannten Grafiken nicht möglich.

Abbildung 5.21. Experiment 4 – BOLD-Signal in Abhängigkeit von Bekanntheit und Reaktionstempo (Fortsetzung).

lektivitätsindex nach anterior, posterior und inferior zu (Tabelle A.16a, Abbildung 5.20b). Entlang der superior-inferior-Achse waren die Werte in den *sSTG*-ROIs kleiner als in den weiter inferior liegenden Regionen und bis auf eine Ausnahme in den *iSTG*-ROIs wiederum kleiner als in den *sMTG*-ROIs. In keinem Bereich der Temporallappen zeigte ein weiter superior liegendes ROI einen signifikant größeren Selektivitätsindex als ein weiter inferior liegendes ROI. Entlang der anterior-posterior-Achse waren die Selektivitätsindizes in den *mp*-ROIs am kleinsten, gefolgt von den *ma*- und *p*-ROIs. Die größten Selektivitätsindizes wiesen die *a*-ROIs auf. Die direkte Differenz des BOLD-Signals zweier Bedingungen variierte ebenfalls zwischen den verschiedenen ROIs. Die Signaldifferenz war im zentralen STG geringer als in weiter anterior, posterior und inferior liegenden Arealen der Temporallappen. Die Signaldifferenz zwischen den Comicfiguren und den anderen beiden Bedingungen ($C > T$ und $C > O$) nahm analog zum Selektivitätsindex von superior nach inferior und von den *mp*-ROIs nach anterior und teilweise nach posterior zu. Dies gilt nicht für den Vergleich der Obst- und Gemüsesorten mit den Tiergeräuschen ($O > T$), hier war stattdessen eine Abnahme der Signaldifferenz von superior nach inferior zu verzeichnen und keine systematische Variation entlang der anterior-posterior-Achse (Tabelle A.16p–r). Dieses Muster zeigte sich auch, wenn die Differenz nur der benannten Stimuli untersucht wurde³ (Tabelle A.16t–y). Die Differenz zwischen schnell und langsam benannten Stimuli einer Kategorie variierte dagegen kaum zwischen den temporalen ROIs. Der Signalunterschied zwischen benannten und nicht benannten Comicfiguren nahm jedoch von superior nach inferior, zum Teil auch nach anterior und posterior ab (Tabelle A.16z–ak).

In den Tabellen A.18 und A.19 sind mit einem großen Pluszeichen die Regionen gekennzeichnet, zwischen denen der Selektivitätsindex (Zeile ae) oder die Differenz des BOLD-Signals zweier Bedingungen (Zeilen p–ad) entsprechend der mit Pfeilen angegebenen Richtung signifikant ($p < 0,05$, Wilcoxon, zweiseitig) zunahm, Minuszeichen stehen für eine Verringerung der Werte. In Klammern aufgeführte Zeichen sagen wie nicht eingeklammerte Zeichen, dass die Differenz zweier Signale (z. B. $O > T$) von ROI_1 zu ROI_2 ab- oder zugenommen hat. Im Gegensatz zu anderen Regionen führte jedoch im ROI_1 die zweite Bedingung (T) zu dem stärkeren Signal, wobei die absolute Differenz im ROI_1 größer ausfiel als im ROI_2 .

Variation der Signalintensität Auch das BOLD-Signal selbst variierte in seiner Stärke in Abhängigkeit von seinem Quellort in den Temporallap-

³Die Analyse der nicht benannten Stimuli ist aufgrund der zu geringen Itemzahlen bei den Tieren und Früchten statistisch nicht sinnvoll.

pen. Es verhielt sich den Selektivitätsindizes jedoch zum Teil entgegengesetzt, indem es bei allen Bedingungen im STG am stärksten war und schwächer, je weiter inferior sich ein ROI im Temporallappen befand (Tabelle A.16b–d, Abbildungen 5.22 und 5.23). Entlang der superior-inferior-Achse stellten sich die Signalunterschiede zwischen den ROIs derart dar, dass die Werte in den *sSTG*-ROIs größer waren als in den weiter inferior liegenden Regionen und in den *iSTG*-ROIs wiederum größer als in den *sMTG*-ROIs. In keinem Bereich der Temporallappen zeigte ein weiter superior liegendes ROI ein signifikant kleineres BOLD-Signal als ein weiter inferior liegendes ROI. Entlang der anterior-posterior-Achse war bei allen Bedingungen im *STG* von *mp* nach posterior eine Signalabnahme festzustellen, bei den Tieren und dem Obst und Gemüse zusätzlich auch nach anterior. Bei den Comicfiguren zeigte sich dagegen nach anterior eine Signalzunahme. Insgesamt war jedoch wenig systematische Signalvariation zu erkennen. Dieses Muster zeigte sich auch, wenn die Stimuli entsprechend ihrer Familiarität und Reaktionszeit separat untersucht wurden (Tabelle A.16e–p, Abbildung 5.21). In den Zeilen a–o der Tabellen A.18 und A.19 sind mit einem großen Minuszeichen die Regionen gekennzeichnet, zwischen denen die Signalintensität entsprechend der mit Pfeilen angegebenen Richtung signifikant ($p < 0,05$, Wilcoxon, zweiseitig) abnahm. Pluszeichen stehen für eine Signalzunahme.

Der Selektivitätsindex, der sich aus dem Verhältnis des BOLD-Signals der Experimentalbedingung (Comicfiguren) zu den Kontrollbedingungen (Tiere und Obst- und Gemüsesorten) berechnete, nahm also entlang der Achsen zu, entlang derer das BOLD-Signal dieser Bedingungen abnahm. Bei einer gleichmäßigen Signalreduktion der drei Bedingungen hätte der Selektivitätsindex in allen ROIs ähnlich große Werte angenommen. Da das BOLD-Signal der Kontrollbedingungen jedoch im Vergleich zum Signal der Experimentalbedingung deutlich stärker abnahm und die Werte der Experimentalbedingung nach anterior auch zunahmen, stiegen die Selektivitätswerte mit zunehmender Distanz vom primärauditorischen Kortex in weiter anterior und inferior liegenden ROIs an. In Tabelle A.16 ist für jede der drei Bedingungen die prozentuale Signalreduktion verglichen mit dem Signal im signalstärksten ROI angegeben, einmal als Vergleich entlang der superior-inferior-Achse (Zeilen am–ao) und einmal entlang der anterior-posterior-Achse (Zeilen ap–ar). Der geringste Wert entlang der superior-inferior-Achse war in beiden Hemisphären im *sSTG* festzustellen, entlang der anterior-posterior-Achse im Bereich *mp* (als Hinweis auf eine geringe Signalreduktion und damit ein starkes BOLD-Signal)¹. Beim superior-inferior-Vergleich ist zu erkennen, dass in den *iSTG*- und *sMTG*-ROIs beider Hemisphären die Werte beider Kontrollbedingungen (T, M)

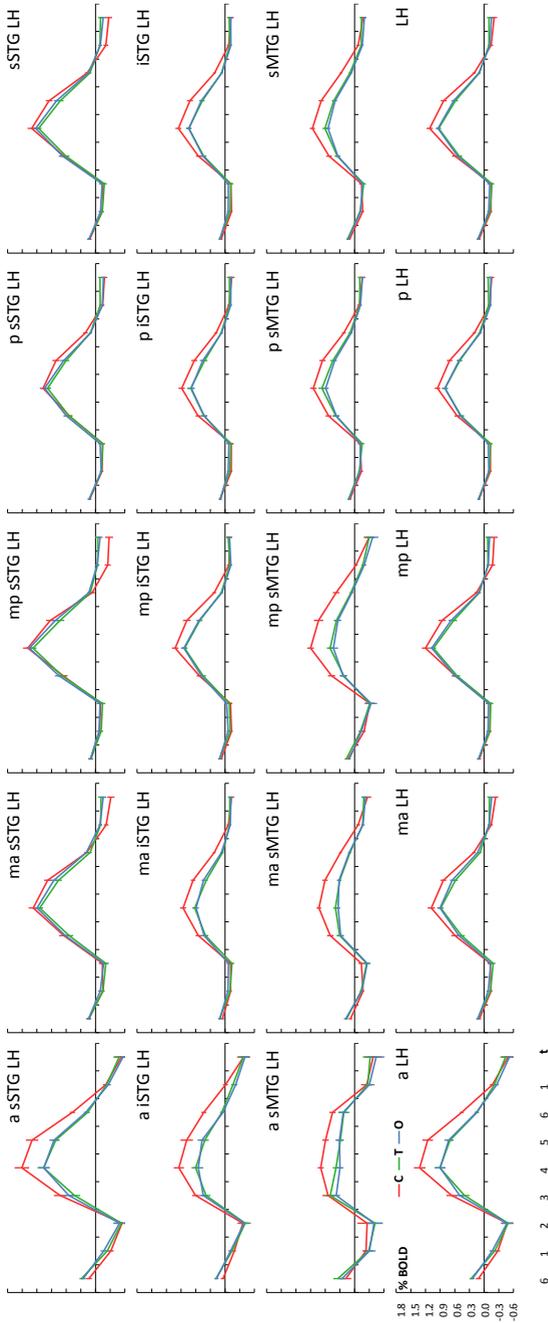


Abbildung 5.22. Experiment 4 – BOLD-Kurven LH. Abgebildet ist der Signalverlauf der einzelnen Bedingungen in jedem ROI der linken Hemisphäre. Zur Bezeichnung und Lage der Areale siehe Tabelle 4.2. In den Grafiken ist die Intensität des BOLD-Signals (y-Achse) über die Zeit (x-Achse) dargestellt, die als die Dauer zur Messung eines Hirnvolumens abgetragen ist (je 2 s). Die Stimuluspräsentation erfolgte zwischen den Zeitpunkten 1 und 2. Das BOLD-Signal aller Bedingungen war im sSTG am stärksten (anterior bei C, weiter posterior bei T und O), der Signalunterschied zwischen den Comicfiguren und den beiden anderen Bedingungen im ROI mp-sSTG am kleinsten. Ausgehend vom sSTG war bei gleichzeitiger Signalabnahme eine Zunahme der Signaldifferenz nach inferior zu beobachten. Aufgrund des anterior stärkeren Signals der Comicfiguren, aber posterior stärkeren Signals der Kontrollbedingungen war zudem in anterioren ROIs eine größere Signaldifferenz als in posterioren ROIs festzustellen (Tabellen A.18, A.19).

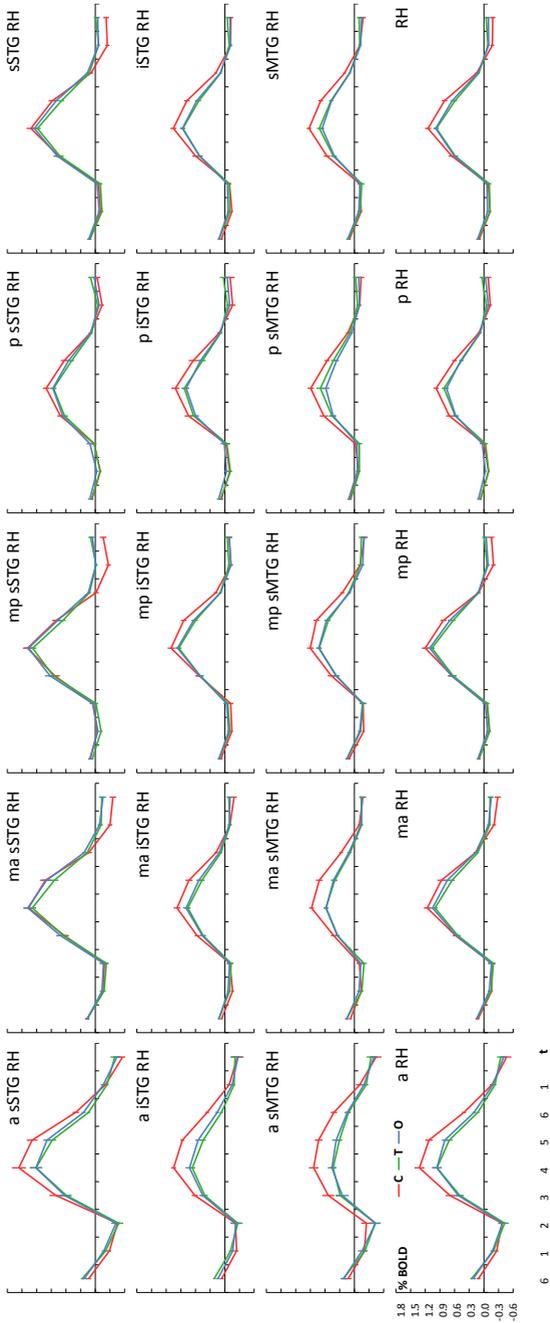


Abbildung 5.23. Experiment 4 – BOLD-Kurven RH. Abgebildet ist für jedes ROI der rechten Hemisphäre der Signalverlauf der einzelnen Bedingungen. Erklärungen, Abkürzungen und Ergebnisse siehe Abbildung 5.22.

größer sind als die Werte der Experimentalbedingung (P). Dies zeigt die größere Signalreduktion, verglichen mit den Maximalwerten in den *sSTG*-ROIs, an, die bei den Kontrollbedingungen deutlicher ausfiel als bei der Experimentalbedingung (für *iSTG-LH*, *iSTG-RH*, *sMTG-LH* und *sMTG-RH* $z \geq 3,39$, $p = 0,000$). Beim anterior-posterior-Vergleich ist zu erkennen, dass in den *a*- und *ma*-ROIs die Werte der Kontrollbedingungen größer sind als die Werte der Experimentalbedingung. Dies zeigt die größere Signalreduktion, verglichen mit den Maximalwerten in den *mp*-ROIs, an, die bei den Kontrollbedingungen deutlicher ausfiel als bei der Experimentalbedingung (für *a-LH*, *a-RH* und *ma-RH* $z \geq 2,35$, $p \leq 0,017$). Dies war im Gegensatz zu den ersten beiden Experimenten nicht in den *p*-ROIs zu beobachten ($z \leq 1,35$, $p \geq 0,190$).

5.4.2.3. Hemisphärenunterschiede

Beide Hirnhälften zeigten ein äußerst ähnliches Aktivierungsmuster, indem sie deutlich auf die visuelle Präsentation der Comicfiguren reagierten und zwischen diesen und den Tieren und Obst- und Gemüsesorten unterschieden. Dennoch konnten auch Unterschiede zwischen den Hemisphären festgestellt werden. Die rechte Hemisphäre wies eine stärkere Aktivierung auf als die linke Hemisphäre, die dagegen deutlicher als die rechte Hirnhälfte zwischen den verschiedenen Bedingungen unterschied.

Die stärkere Aktivierung der rechten verglichen mit der linken Hemisphäre äußerte sich zum einen in mehreren Arealen in einer größeren Anzahl aktivierter Voxel (Abbildung 5.20a). In keinem ROI lag ein Vorteil zugunsten der linken Hemisphäre vor. Zum anderen äußerte sich die rechtshemisphärisch stärkere Aktivierung darin, dass das BOLD-Signal der Tiere und Obst- und Gemüsesorten in mehreren ROIs dieser Hemisphäre größer war als in der linken Hirnhälfte. Bei den Comicfiguren war kein Hemisphärenunterschied zu erkennen (Abbildung 5.20c). Wurden schnell und langsam erkannte Stimuli jeder Kategorie separat betrachtet, blieb bei den Tieren und beim Obst und Gemüse die rechte Hemisphäre jeweils die mit dem stärkeren BOLD-Signal. Bei den schnell benannten Abbildungen war der rechtshemisphärische Vorteil jedoch deutlicher als bei den langsam benannten Abbildungen³ (Abbildung 5.21). Bei den Comicfiguren war dagegen in Abhängigkeit von der Familiarität ein Wechsel der Hemisphärendominanz festzustellen. Nicht benannte Zeichentricksfiguren erzeugten in einigen ROIs rechts ein stärkeres Signal, benannte Figuren dagegen in einem ROI (*p-sSTG*) in der linken Hemisphäre, von diesen resultierten langsam benannte Figuren in einem rechtshemisphärisch minimal stärkeren Signal und schnell benannte Comicfiguren links in einem stärkeren BOLD-Signal (u. a. im ROI *p-sSTG*). Somit war bei den Tieren

und den Früchten der rechtshemisphärische Vorteil bei den bekannteren Stimuli deutlicher ausgeprägt, bei den Comicfiguren dagegen bei den unbekannteren Stimuli.

Im Gegensatz zum rechtshemisphärischen Vorteil die Aktivierungsstärke betreffend waren die Unterschiede zwischen den Bedingungen linksseitig stärker ausgeprägt. Der Selektivitätsindex, der das Verhältnis der Comicfiguren zu den Tieren und dem Obst und Gemüse angibt, war in mehreren ROIs der linken Hemisphäre signifikant höher als in ROIs der rechten Hirnhälfte (Abbildung 5.20b). Der umgekehrte Fall, dass die rechte Hemisphäre stärker zwischen den menschlichen Stimmen und den beiden anderen Bedingungen unterschied, traf auf kein ROI zu. Auch in der direkten Differenz des BOLD-Signals zweier Bedingungen zeigten sich Hemisphärenunterschiede meist zugunsten der linken Hirnhälfte, vor allem bei den Vergleichen der Comicfiguren mit den Tieren und Obst- und Gemüsesorten und auch, wenn nur die benannten Stimuli betrachtet wurden ($C_N > T_N$ und $C_N > O_N$). Die Signaldifferenz von Tieren und Obst- und Gemüsesorten war in beiden Hemisphären weitgehend identisch. Beim Vergleich benannter und nicht benannter oder langsam und schnell benannter Stimuli variierte die Richtung der Hemisphärenunterschiede in Abhängigkeit von der semantischen Kategorie. Bei den Comicfiguren war die Differenz für $C_N > C_S$ linkshemisphärisch größer, die Differenz für $C_{N_L} > C_{N_S}$ jedoch rechtshemisphärisch. Bei den Tieren und dem Obst und Gemüse war nur der Vergleich zwischen langsam und schnell benannten Stimuli statistisch sinnvoll und ergab für $T_{N_L} > T_{N_S}$ in mehreren Arealen einen linkshemisphärischen Vorteil und für $O_{N_L} > O_{N_S}$ in einem ROI. Die linke Hemisphäre differenzierte also deutlicher als die rechte Hirnhälfte zwischen benannten und nicht benannten Comicfiguren sowie zwischen schnell und langsam benannten Tieren und Obst- und Gemüsesorten, die rechte Hirnhälfte dagegen stärker zwischen schnell und langsam benannten Comicfiguren.

Mittelwerte und Standardfehler dieser Daten sind für sämtliche ROIs in Tabelle A.16 auf Seite 269 aufgeführt. In Tabelle A.20 auf Seite 288 ist mit einem R für rechts oder einem L für links vermerkt, in welchen ROIs und in welche Richtung signifikante ($p < 0,05$, Wilcoxon, zweiseitig) Hemisphärenunterschiede festzustellen waren. In Zeile a gilt dies für die Anzahl aktivierter Voxel, in den Zeilen b–p für das BOLD-Signal, in Zeile af für den Selektivitätsindex und in den Zeilen q–ae für die Differenz des BOLD-Signals zweier Bedingungen. In Klammern aufgeführte Buchstaben wie (L) in den Zeilen q–ae sagen wie nicht eingeklammerte Buchstaben, dass in der angegebenen Hemisphäre (hier: links) bei einem Kontrast (z. B. C > T) das Signal der ersten Bedingung (C) größer war als das Signal der zwei-

ten Bedingung. Im Gegensatz zu den anderen Regionen führte jedoch in der kontralateralen Hemisphäre die zweite Bedingung (T) zu einem stärkeren Signal, wobei die absolute Differenz zwischen beiden Bedingungen kontralateral größer ausfiel als ipsilateral.

5.5. Position der aktivierten Voxel

Obwohl ein ROI-Ansatz zur Auswertung der Daten gewählt wurde, wurden innerhalb der ROIs nur die Werte der jeweils signifikant aktivierten Voxel berücksichtigt. Die Lage der ROIs wurde bei jedem Probanden anatomisch definiert, zum Teil anhand fester Talairach-Koordinaten (Talairach & Tournoux, 1988). Auch die Größe der ROIs war bei allen Probanden aller Experimente identisch. Die Lage der aktivierten Voxel innerhalb der ROIs konnte jedoch innerhalb der jeweiligen ROI-Grenzen variieren. Die statistische Auswertung dieser Variation über die vier Experimente ergab vereinzelte Differenzen in der Größenordnung weniger Talairach-Voxel. Eine systematische Variation der Position aktivierter Voxel in einem Experiment verglichen mit den jeweils anderen drei Experimenten zeigte sich nur im Zusammenhang mit Experiment 4. In fünf ROIs unterschied sich die Lage der aktivierten Voxel des Experiments 4 signifikant von der Lage der aktivierten Voxel in den anderen drei Experimenten. Im ROI *a-STG-LH* befanden sich die aktivierten Voxel des Experiments 4 etwas weiter medial als bei den anderen drei Experimenten (Experiment 1 mit $x_{\text{TAL}} = -50,1 \pm 1,1$, Experiment 2 mit $x_{\text{TAL}} = -48,2 \pm 0,9$, Experiment 3 mit $x_{\text{TAL}} = -47,8 \pm 0,7$, dagegen Experiment 4 mit $x_{\text{TAL}} = -45,8 \pm 0,7$, $z \geq 2,11$, $p \leq 0,034$, Mann-Whitney, zweiseitig). Im ROI *ma-STG-LH* befanden sich die aktivierten Voxel des Experiments 4 etwas weiter anterior als bei den anderen Experimenten (Experiment 1 mit $y_{\text{TAL}} = -2,4 \pm 0,4$, Experiment 2 mit $y_{\text{TAL}} = -2,2 \pm 0,3$, Experiment 3 mit $y_{\text{TAL}} = -2,4 \pm 0,3$, dagegen Experiment 4 mit $y_{\text{TAL}} = -1,1 \pm 0,3$, $z \geq 2,40$, $p \leq 0,016$), im ROI *p-sMTG-RH* ebenso (Experiment 1 mit $y_{\text{TAL}} = -47,6 \pm 0,9$, Experiment 2 mit $y_{\text{TAL}} = -49,3 \pm 0,7$, Experiment 3 mit $y_{\text{TAL}} = -47,8 \pm 0,7$, dagegen Experiment 4 mit $y_{\text{TAL}} = -51,1 \pm 0,7$, $z \geq 2,09$, $p \leq 0,036$). In zwei ROIs lagen die aktivierten Voxel des Experiments 4 etwas weiter inferior als bei den anderen Experimenten, zum einen im ROI *a-sMTG-LH* (Experiment 1 mit $z_{\text{TAL}} = -19,8 \pm 1,5$, Experiment 2 mit $z_{\text{TAL}} = -22,3 \pm 0,9$, Experiment 3 mit $z_{\text{TAL}} = -19,0 \pm 1,1$, dagegen Experiment 4 mit $z_{\text{TAL}} = -26,1 \pm 1,0$, $z \geq 2,51$, $p \leq 0,011$), zum anderen im ROI *ma-sMTG-LH* (Experiment 1 mit $z_{\text{TAL}} = -11,3 \pm 1,1$, Experiment 2 mit $z_{\text{TAL}} = -11,9 \pm 0,5$, Experiment 3 mit $z_{\text{TAL}} = -10,7 \pm 1,1$, dagegen Experiment 4 mit $z_{\text{TAL}} = -15,2 \pm 1,2$, $z \geq 2,14$, $p \leq 0,032$).

6. Diskussion

6.1. Verhaltensdaten

In vier fMRT-Messungen wurde die Fähigkeit junger Erwachsener untersucht, auditiv oder visuell präsentierte Objekte verschiedener semantischer Kategorien zu identifizieren. Zusätzlich zur Messung der Hirnaktivität erfolgte die Aufzeichnung von Verhaltensdaten, nämlich der Antwortart und der Reaktionszeit. In drei Experimenten bestand die Aufgabe der Probanden darin, Sprecher anhand ihrer Stimme zu identifizieren, was den Versuchspersonen große Schwierigkeiten bereitete. Über die Hälfte der Stimmen wurde als völlig unbekannt klassifiziert, obwohl maximal ein Drittel von unbekannt Personen stammte. Die genaueste Analyse der Antworten ermöglichte Experiment 2, in dem overte sprachliche Reaktionen gefordert waren. Hier stammten 70 der 80 Stimmen von berühmten Personen, dennoch wurden im Mittel 41 Stimmen als völlig unbekannt eingestuft, 13 Stimmen kamen den Probanden bekannt vor, bei 14 Stimmen wurde entweder eine semantische Beschreibung geliefert oder ein falscher Name genannt und lediglich 11 Personen (15%) wurden korrekt benannt. Im Experiment 3, in dem die Identifikation von Sprechern mit der Identifikation von Tieren und Musikinstrumenten anhand ihrer charakteristischen Geräusche kontrastiert wurde, wurden signifikant weniger Stimmen als Tiere oder Musikinstrumente erkannt (9 vs. 16 und 17 von jeweils 20).

Die Hauptursache für diesen Unterschied ist wohl, dass die akustische Struktur der Geräusche verschiedener Tiere oder Instrumente deutlich unterschiedlicher ist als bei verschiedenen Stimmen, da Stimmendifferenzierung auf der Individuenebene stattfindet, die Differenzierung von Tieren oder Instrumenten auf der Basisebene. Zusätzlich könnte eine Rolle spielen, dass Personen meist mit deutlich mehr menschlichen Stimmen als Tiergeräuschen oder Musikinstrumenten vertraut sind, so dass bei der Sprecheridentifikation eine Differenzierung zwischen mehr Alternativen stattfinden muss. Aber auch im Vergleich zu anderen Objekten, die auf der Individuenebene mit zahlreichen perzeptuellen Nachbarn verarbeitet werden, sind Stimmen offenbar im Nachteil. So gelingt die Identifizierung von Personen anhand ihrer Stimme deutlich schlechter als anhand des Gesichts (Barsics & Brédart, 2011; Brédart et al., 2009; Damjanovic

& Hanley, 2007; Hanley & Damjanovic, 2009). Es wurde vorgeschlagen, dass der Unterschied zwischen Gesichtern und Stimmen darin begründet liegt, dass Stimmen weniger distinktiv sind und Differenzierung und Identifikation daher schwerer gelingen (Brédart et al., 2009). Möglicherweise spielen außerdem Faktoren der Variabilität und der Flüchtigkeit des Signals eine Rolle, die stärker für auditive als für visuelle Stimuli gelten. Im Rahmen der durchgeführten fMRT-Messungen könnten die schlechten Erkennleistungen auch dadurch entstanden sein, dass die Stimuli sehr kurz waren (2 s) und unter verhältnismäßig schlechten akustischen Bedingungen präsentiert wurden (laute Scannergeräusche, Tragen von Ohrstöpseln). Ähnlich geringe Benennquoten wie in den aktuellen Untersuchungen wurden jedoch auch im Rahmen von Verhaltensstudien ohne zusätzliche Geräuschkulisse gefunden. Bei einer Präsentationsdauer mit 10-15 Sekunden wurden etwa 24% und 33% der berühmten Personen korrekt benannt (Hanley et al., 1998; Hanley & Turner, 2000), bei einer Präsentationsdauer von 7-8 Sekunden etwa 16% und 19% (Damjanovic & Hanley, 2007; Hanley & Damjanovic, 2009). Auch bei Präsentation der Stimmen persönlich bekannter Personen eines eingeschränkten Personenkreises für 7 s konnten lediglich 29% korrekt benannt werden. Die Präsentationsbedingungen scheinen somit nur geringfügig für die geringe Anzahl benannter Stimmen verantwortlich zu sein.

Doch nicht nur die Sprecheridentifikation bereitete den Probanden der vorliegenden Studie Probleme. Im Experiment 4 gelang auch das Benennen von visuell präsentierten Comicfiguren schlechter als das Benennen von gezeichneten Tieren oder Obst- und Gemüsesorten, was sich erneut auf die unterschiedliche Tiefe der Verarbeitung zurückführen lässt (Individuenebene vs. Basisebene). Hier lag der Anteil der benannten Abbildungen jedoch bei 70% im Gegensatz zu 88% und 92%. Als weitere Ursache für die Unterschiede zwischen den Kategorien sind weder hier, noch im Experiment 3 Unterschiede in der Familiarität der Stimuli auszuschließen. Eher nicht in Frage kommt die oben angeführte Vermutung über einen Zusammenhang mit der Anzahl bekannter Kategoriemitglieder. Diese dürfte, verglichen mit Stimmen, bei Comicfiguren ähnlich sein wie bei Tieren oder Obst und Gemüse. Unterschiede zwischen den Kategorien zeigten sich auch in der Art der Fehler. Bei den Comicfiguren dominierten Umschreibungen, die häufig darin bestanden, dass die Tierart der Figur bestimmt wurde. Seltener wurden Namen anderer Zeichentrickfiguren genannt. Bei den Tieren und dem Obst und Gemüse kam der Fehlertyp des Nennens anderer Tier- oder Fruchtarten dagegen häufiger vor als die Produktion von Umschreibungen. Obwohl sich das Verhältnis des Zielwortes zu den Fehlern zwischen den Individuen (Überordnung) und den kate-

goriellen Konzepten (Nebenordnung) unterschied, resultierten Fehler bei allen Konzepten am ehesten in Begriffen der Basisebene, die konzeptuell und im Wortabruf als besonders leicht zugänglich identifiziert wurden (Rosch et al., 1976). Zusätzlich traten bei den Comicfiguren relativ häufig Nullreaktionen auf, die möglicherweise anzeigen, dass die Probanden die Abbildung als Individuum erkannt hatten und wussten, dass sie einen Eigennamen produzieren sollten, dies aber nicht konnten, da sie die Figur nicht kannten oder ihnen der Name nicht einfiel.

In den Experimenten 2 und 4 waren die Probanden aufgefordert, die Stimuli mündlich zu benennen, zu beschreiben oder anzugeben, dass sie die Stimuli nicht identifizieren konnten. In den Experimenten 1 und 3 erfolgten die Reaktionen der Probanden dagegen mittels Taster. Im Vergleich zum overt Benennen hat dieses Vorgehen für fMRT-Messungen den Vorteil, dass Kopfbewegungen reduziert werden. Nachteilig ist jedoch, dass nur wenige Antwortkategorien vordefiniert werden können und keine Überprüfung der Antworten möglich ist, so dass nicht eindeutig ersichtlich wird, auf welcher Stufe des Identifikationsprozesses sich die Probanden tatsächlich befinden. So konnte das Benennen von Stimmen im Experiment 1 nur in drei Antwortarten untergliedert werden (unbekannt, vage bekannt, benannt), overt Benennen im Experiment 2 erlaubte dagegen eine Differenzierung von neun Antwortarten (u. a. vage Beschreibung, falsche Beschreibung, präzise Beschreibung, falscher Name). Die Daten deuten jedoch darauf hin, dass eine Überprüfung der Antworten wichtig ist. So wurde im Experiment 1 mittels Knopfdruck angegeben, dass 32% der Stimmen benannt werden konnte, in der realen Benennungssituation des Experiments 2 war es nur die Hälfte.

Die Analyse der Reaktionszeiten des Experiments 2 ergab, dass diese mit der Unsicherheit der Probanden beim Identifizieren der Sprecher anstieg. Gaben die Probanden an, die Sprecher nicht zu kennen oder konnten sie sie korrekt oder falsch benennen, waren die Reaktionszeiten am kürzesten. Deutlich länger waren sie, wenn ihnen die Stimmen bekannt vorkamen, noch länger, wenn sie korrekte Umschreibungen liefern konnten, und am längsten waren sie bei falschen Umschreibungen. Lange Reaktionszeiten traten offensichtlich immer dann auf, wenn die Probanden nach weiteren Informationen zur Bestätigung oder Präzisierung ihrer Reaktionen suchten, die Antwortzeiten waren dagegen kurz, wenn sie eine für sie selbst zufriedenstellende Antwort geben konnten. Anhand der Experimente 3 und 4 schließlich ließ sich feststellen, dass individuelle Konzepte (Personen und Comicfiguren) nicht nur seltener identifiziert und benannt wurden als kategoriale Konzepte (Tiere, Musikinstrumente, Obst und Gemüse), sondern auch, dass diese Reaktionen deutlich langsamer

erfolgten. Diese Beobachtung deckt sich mit Ergebnissen diverser Verhaltensstudien zum Abruf von Gattungs- und Eigennamen, in denen festgestellt wurde, dass Eigennamen häufiger Wortabrufblockaden verursachen als Gattungsnamen und zudem langsamer benannt werden (Burke et al., 1991; Evrard, 2002; Gollan et al., 2005; James, 2006; Maylor, 1997; Rastle & Burke, 1996; Rendell et al., 2005).

6.2. Funktionelle Bildgebung

6.2.1. Zusammenfassung der fMRT-Ergebnisse

Die funktionellen Aktivierungsdaten resultierten aus vier ereigniskorrelierten fMRT-Messungen. Die Analyse der neuronalen Aktivität beschränkte sich auf die lateralen Temporallappen, die in diverse Areale untergliedert worden waren (siehe Abbildung 4.4 auf Seite 75). Insgesamt wurden in jeder Hirnhälfte zwölf Regionen definiert, die die superioren und mittleren Temporalgyri vollständig erfassten. Entlang der anterior-posterior-Achse wurden vier Bereiche unterschieden (*a* anterior, *ma* mittig-anterior, *mp* mittig-posterior, *p* posterior), von oben nach unten drei Bereiche (*sSTG* superiorer STG, *iSTG* inferiorer STG, *sMTG* superiorer MTG).

Kategoriespezifische Aktivierungen Ein primäres Ziel der Studie bestand darin, die Temporallappen auf kategoriespezifische Aktivierungen zu untersuchen. Dazu wurden in zwei Experimenten Stimuli jeweils drei verschiedener Konzeptkategorien auditiv oder visuell präsentiert. Anhand des Experiments 3 konnte festgestellt werden, dass menschliche Stimmen in weiten Teilen beider Temporallappen zu einem deutlich stärkeren Aktivierungssignal führten als Geräusche, die von Tieren oder Musikinstrumenten erzeugt wurden. In drei Arealen (*a-sMTG-LH*, *a-sMTG-RH*, *ma-sMTG-LH*) war sogar ein selektives Aktivierungsmuster zu finden, indem nur die Stimmen signifikante Aktivität hervorriefen. Areale ohne konsistent stärkeres Signal bei der Verarbeitung von Stimmen befanden sich bilateral im *sSTG*. Experiment 4 zeigte ein ähnliches Aktivierungsmuster, indem visuell präsentierte Zeichentrickfiguren in den meisten Arealen ein stärkeres Signal hervorriefen als Zeichnungen von Tieren oder Obst und Gemüse. Die Signaldifferenz zwischen den Bedingungen war jedoch weniger stark ausgeprägt als im Experiment 3. Aber auch hier waren es nur Bereiche im *sSTG* beider Hemisphären, in denen nicht durchgängig ein stärkeres Aktivierungssignal der Comicfiguren zu finden war. Beim Vergleich der beiden Kontrollbedingungen untereinander, im Experiment 3 der Tiere und Musikinstrumente und im Experiment 4 der Tiere und dem

Obst und Gemüse, ergaben sich nur in wenigen ROIs Unterschiede im Aktivierungssignal, die zudem sehr gering ausfielen. In diesen ROIs, die sich in beiden Experimenten bilateral im *sSTG* und *iSTG* befanden, riefen jeweils die Tiere das schwächere Signal hervor. Damit zeigten vor allem die Regionen Unterschiede zwischen den jeweiligen Kontrollbedingungen, in denen sich das Signal der Experimentalbedingungen nur geringfügig vom Signal der Kontrollbedingungen unterschied. In den Regionen, in denen das durch menschliche Stimmen oder Comicfiguren ausgelöste Signal deutlich stärker war als das Signal der Kontrollbedingungen, unterschied sich dieses nicht voneinander.

Familiarität Weiterhin wurde die Signalintensität auf Unterschiede in Abhängigkeit von der Bekanntheit der Stimuli untersucht. Diese war bei größerer Familiarität höher. Im Experiment 1 erzeugten benannte Stimmen in allen untersuchten Arealen der Temporallappen ein stärkeres Aktivierungssignal als unbekannte und bekannte, nicht benannte Stimmen, deren Signal sich nicht voneinander unterschied. Experiment 2 ergab eine feinere Differenzierung, indem benannte Stimmen ein stärkeres Signal verursachten als Stimmen, zu denen die Probanden semantische Angaben machten. Beide gemeinsam erzeugten ein stärkeres Signal als bekannt erscheinende Stimmen und alle drei verglichen mit unbekanntem Stimmen. Im Experiment 3 riefen bei den Personenstimmen und den Musikinstrumenten, nicht aber bei den Tieren, bekannte Stimuli ein stärkeres Signal hervor als unbekannte Stimuli. Und im Experiment 4 resultierten benannte Comicfiguren in einem stärkeren Signal als nicht benannte Figuren, wohingegen dieser Vergleich bei den Tieren und dem Obst und Gemüse aufgrund hoher Benennquoten nicht durchgeführt werden konnte. Der Vergleich zwischen schnell und langsam identifizierten Stimuli erbrachte unterschiedliche Ergebnisse. Dies war zum einen von der semantischen Kategorie der Stimuli abhängig, zum anderen davon, ob die Antwort als Knopfdruck oder als mündliche Sprachäußerung erfolgte. In Experimenten, in denen overtes Benennen gefordert war, resultierten langsam benannte individuelle Konzepte (Personen im Experiment 2, Comicfiguren im Experiment 4) in einem stärkeren Signal als schnell benannte Individuen. Kein Unterschied war zwischen schnell und langsam benannten kategoriellen Konzepten festzustellen (Tiere und Früchte im Experiment 4). Im Experiment 3 mit Knopfdruckreaktionen zeigten sich entweder keine Signalunterschiede in Abhängigkeit von der Reaktionszeit (Personen und Tiere) oder ein stärkeres Signal durch die schnell benannten Stimuli (Musikinstrumente).

Innerhemisphärische Variation der Signalkontraste Die Größe der Signalunterschiede zwischen den verschiedenen Bedingungen variierte jedoch in Abhängigkeit von der Position eines ROIs im Temporallappen. Der Größenunterschied zwischen den wesentlichen Bedingungen jedes Experiments wurde in einem Selektivitätsindex erfasst, der in den Experimenten 1 und 2 den Signalunterschied zwischen den benannten und den nicht benannten Stimmen widerspiegelte und in den Experimenten 3 und 4 den Signalunterschied zwischen menschlichen Stimmen oder Comicfiguren und Tieren, Musikinstrumenten und Obst- und Gemüsesorten. Dieser Selektivitätsindex war in allen Experimenten im zentralen oder posterioren STG am kleinsten und nahm von dort zusammen mit dem Signalunterschied zwischen den entsprechenden Bedingungen nach anterior und inferior zu. Im Experiment 3 hatte dieser Index in den Arealen *a-sMTG-LH* und *a-sMTG-RH* sogar einen Wert von über 100, als Ausdruck für die selektive Aktivität nur durch die menschlichen Stimmen. Vorhandene Signalunterschiede zwischen den jeweiligen Kontrollbedingungen blieben von superior nach inferior dagegen eher konstant (Experiment 1) oder nahmen sogar ab (Experimente 2 bis 4). Nach anterior war eine leichte Zunahme der Signaldifferenz zwischen verschiedenen Bekanntheitsgraden der unbekannteren menschlichen Stimmen zu verzeichnen (Experiment 2), aber nicht zwischen verschiedenen semantischen Kategorien wie Tieren und Musikinstrumenten oder Obst- und Gemüsesorten (Experiment 3 und 4).

Innerhemisphärische Variation der Signalintensität Auch die Signalintensität der verschiedenen Bedingungen selbst variierte zwischen den temporalen ROIs. Das Signal war bis auf wenige Ausnahmen in allen Experimenten und bei allen Bedingungen im zentralen STG am stärksten und nahm von dort schrittweise in alle Richtungen hin ab, von superior nach inferior und von zentral nach anterior und posterior. Zusätzlich war zu beobachten, dass die Signalintensität entlang der Achsen abnahm, entlang derer der Selektivitätsindex zunahm. Als Ursache für dieses gegensätzliche Verhalten konnte eine ungleichmäßige Signalreduktion der für diesen Index relevanten Bedingungen identifiziert werden. In den Experimenten 1 und 2 nahm das Signal der unbekannteren Stimmen nach anterior und inferior deutlich stärker ab als das Signal der benannten Stimmen, wodurch die Selektivität für benannte Stimmen in Richtung der anterioren Bereiche der Temporallappen und zum MTG hin anstieg. Ähnlich nahm in den Experimenten 3 und 4 das Signal der Kontrollbedingungen (Tiere, Musikinstrumente, Obst und Gemüse) nach anterior und inferior stärker ab als das Signal der Personenstimmen und Zeichentrickfiguren,

so dass die Selektivität für diese Kategorien ebenfalls in Richtung der anterioren Bereiche der Temporallappen und zum MTG hin anstieg.

Hemisphärenunterschiede Eine ausführliche Zusammenfassung dieser Ergebnisse ist im Abschnitt 6.2.5 zu finden. Grundsätzlich war jedoch festzustellen, dass in der rechten Hirnhälfte eine stärkere Aktivität hervorgerufen wurde. Dieser Vorteil der rechten Hemisphäre war bei bekannten Stimuli weniger ausgeprägt als bei unbekanntem Stimuli und bei langsam benannten Stimuli weniger als bei schnell benannten Stimuli. Ein echter Vorteil zugunsten der linken Hirnhälfte zeigte sich darin, dass hier der Unterschied zwischen den Bedingungen größer war. Eine Ausnahme von diesem Muster bildeten die Comicfiguren im Experiment 4. Diese erzeugten in der Signalintensität eher einen Vorteil zugunsten der linken Hemisphäre, der bei schnell benannten Stimuli sogar deutlicher war als bei langsam benannten Stimuli und deren Signal sich zudem rechtsseitig stärker voneinander unterschied.

6.2.2. Selektive Aktivierungsmuster

Das Ziel vieler Bildgebungsstudien ist es, Hirnareale zu identifizieren, in denen ganz bestimmte Stimuli verarbeitet werden. Dadurch soll gezeigt werden, dass das entsprechende Areal einen modularen Charakter besitzt und auf die Verarbeitung dieses Stimulustyps spezialisiert ist (Pernet et al., 2007). So wurde vorgeschlagen, dass ein Areal im zentralen fusiformen Gyrus auf die Verarbeitung von Gesichtern spezialisiert ist (Kanwisher et al., 1997a; Kanwisher, 2010) oder Areale entlang des superioren Temporal sulcus auf die Verarbeitung von Stimmen (Belin et al., 2000, 2002). In beiden Regionen führten Objekte, die Merkmale von Gesichtern oder Stimmen tragen, verglichen mit zahlreichen Kontrollstimuli zu deutlich stärkerer Aktivierung (Belin et al., 2000; Downing et al., 2006). Aufgrund dieser Daten wurden die Areale als gesichts- oder stimmenselektive Areale bezeichnet und ihr modularer Charakter hervorgehoben. Auch in der vorliegenden Untersuchung (Experiment 3) wurden Hirnbereiche identifiziert, die präferiert auf eine bestimmte Objektkategorie reagierten. Menschliche Stimmen erzeugten in beiden Temporallappen stärkere Aktivität als Geräusche von Tieren oder Musikinstrumenten. In Anlehnung an Spiridon & Kanwisher (2002), die Selektivität als doppelt so starkes Signal der präferierten Kategorie wie der Kontrollstimuli definierten, wiesen insbesondere anterior liegende Bereiche der Temporallappen und die mittleren Temporalgyri ein stimmenselektives Aktivierungsmuster auf.

Aus der Beobachtung, dass eine Stimulusart in einer Hirnregion ein stärkeres Signal erzeugt als andere Stimuli, kann jedoch nicht automatisch geschlussfolgert werden, dass es sich bei dieser Region um ein Areal mit modularer Funktion handelt. Die neuronale Reaktion der Region auf die Kontrollstimuli ist für solch eine Interpretation von wesentlicher Bedeutung (Joseph et al., 2006; Pernet et al., 2007). Diese Reaktion ist auf drei Arten möglich. Erstens, auch die Stimuli der Kontrollkategorie lösen signifikante Aktivität in der Region aus (Sensitivität). Dieses Muster ist charakteristisch für die oben zitierten Studien zur Gesichter- und Stimmenverarbeitung und die Mehrzahl der im Experiment 3 untersuchten Regionen. Es wird am ehesten dadurch hervorgerufen, dass das entsprechende Areal Merkmale verarbeitet, die den untersuchten Stimuli gemeinsam sind, jedoch stärker in der präferierten Kategorie vertreten sind oder bei der präferierten Kategorie detailliertere Analysen erfordern (Joseph et al., 2006). Solch ein Muster ist daher kein Hinweis auf eine modulare Repräsentation der präferierten Objektkategorie. Zweitens, die Kontrollstimuli verursachen keine signifikante Aktivität in der untersuchten Region (schwache Selektivität). Dieses Muster wurde im Experiment 3 in drei Arealen beobachtet (*a-sMTG-RH*, *a-sMTG-LH*, *ma-sMTG-LH*) und auch von anderen Autoren beschrieben. von Kriegstein et al. (2003) identifizierten in einer 1,5-Tesla-fMRT-Studie bei der Verarbeitung von Stimmen im Vergleich zur Verarbeitung der im Stimulus ebenfalls enthaltenen linguistischen Informationen eine selektive Aktivität im rechten anterioren STS. Die linguistische Kontrollbedingung erzeugte kein statistisch nachweisbares Signal. Allerdings fiel auch das Signal der Stimmenbedingung mit 0,2% Signaländerung äußerst gering aus und war bei beiden Bedingungen die Differenz zwischen Baseline und Peak nahezu identisch (siehe von Kriegstein et al., 2003, Abb. 2a). Obwohl selektive Aktivierungsmuster eine modulare Funktion von Arealen andeuten (Joseph et al., 2006), sind statistisch nicht signifikante Ergebnisse immer als Nullergebnisse zu betrachten. So könnte bereits eine höhere Stimulus- oder Probandenzahl bewirken, dass sich statistisch signifikante Aktivität nachweisen lässt. Noch eindeutiger sind daher Ergebnisse, in denen die Kontrollstimuli eine mehr oder weniger starke Deaktivierung hervorrufen (strikte Selektivität). Dieses Muster war im Experiment 3 der vorliegenden Studie graphisch und anhand des Selektivitätsindex im Areal *a-sMTG-LH* festzustellen, statistisch aber nicht zu verifizieren. Ein solches Muster wäre jedoch ein deutlicher Hinweis darauf, dass der anteriore Bereich des linken mittleren Temporalgyrus Merkmale verarbeitet, die charakteristisch für menschliche Stimmen sind, aber in Kontrollstimuli wie Tierlauten oder von Musikinstrumenten erzeugten Geräuschen nicht enthalten sind.

Dennoch ist anhand der Ergebnisse des Experiments 3 nicht zu entscheiden, welches Merkmal der präsentierten Stimmen die selektive Aktivität im Vergleich zu den Tieren und Instrumenten ausgelöst hat. Um sagen zu können, dass ein Areal eine modulare Funktion erfüllt, bedarf es des Vergleichs der Kategorie, von der eine modulare Repräsentation angenommen wird, mit diversen Kontrollstimuli unterschiedlicher Modalitäten. So konnte im Experiment 4 gezeigt werden, dass auch visuell präsentierte Zeichentrickfiguren zu einer signifikanten Aktivierung des anterioren Temporalkortex führten, die zudem stärker ausfiel als die neuronale Reaktion auf Zeichnungen von Tieren oder Obst und Gemüse. Damit ist widerlegt, dass der anteriore Temporalkortex ausschließlich menschliche Stimmen verarbeitet. Stattdessen lässt sich vermuten, dass der anteriore Temporalkortex supramodal Informationen über Personen und deren Stellvertreter verarbeitet. Um modular arbeitende Areale zu identifizieren, von denen angenommen wird, dass sie obligatorisch auf die relevanten Reize reagieren, ist es weiterhin nötig, die Zielstimuli in unterschiedlichen Aufgabenstellungen zu präsentieren (Joseph et al., 2006; Pernet et al., 2007). So reagiert das FFA zwar im Normalfall deutlich stärker auf Gesichter als auf andere Objekte, werden diese jedoch wie Gesichter auf einer untergeordneten Ebene verarbeitet, erzeugen sie ein ebenso starkes Signal wie Gesichter (Gauthier et al., 1997; Haist et al., 2010). Ähnliche Beobachtungen existieren für den anterioren Temporalkortex, der ebenfalls aktiv ist, wenn diverse Objekte auf untergeordneter Ebene verarbeitet werden (Rogers et al., 2006). Aufgrund dieser Daten lässt sich auch die Annahme über eine modular organisierte Personenverarbeitung im ATL nicht aufrechterhalten. Das bedeutet aber nicht, dass Areale, in denen ursprünglich selektive Aktivierungsmuster gefunden wurden, letztlich völlig unspezifische Funktionen besitzen. Wahrscheinlicher ist es, dass diese Areale einzelne Merkmale verarbeiten, die für verschiedene Objekte unterschiedlich relevant sind. Um das entscheidende Merkmal identifizieren zu können, bedarf es jedoch des Vergleichs mit diversen Kontrollstimuli in unterschiedlicher Modalitäten und verschiedenen Aufgabenstellungen.

6.2.3. Funktion des anterioren Temporalkortex

Der anteriore Temporalkortex befindet sich am rostralen Ende des ventralen Verarbeitungsstroms, der mit der Funktion der Objekterkennung assoziiert wird (siehe Abschnitt 2.1 ab Seite 7). Um welche Objekte es sich dabei handelt, welche Merkmale Objekte besitzen müssen, um dort verarbeitet zu werden, und ob dieser Prozess modalitätsspezifisch oder supramodal erfolgt, ist bisher nicht vollständig geklärt. In diesem Absatz werden zunächst die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit mit Bezug auf die

Fragestellungen und Hypothesen (siehe Seite 55) diskutiert und anschließend beschrieben, welche Schlussfolgerungen sich aus den aktuellen Daten und den Erkenntnissen aus anderen Untersuchungen die Funktion des ATL betreffend ziehen lassen.

Das Hauptergebnis der Arbeit war, dass menschliche Stimmen im ATL ein stärkeres und zum Teil selektives Aktivierungssignal verglichen mit Geräuschen von Tieren und Musikinstrumenten erzeugten. Ein ähnliches Muster ließ sich mit einem visuellen Design hervorrufen, bei dem Zeichentrickfiguren eine stärkere Aktivität im anterioren Temporallappen auslösten als Tiere und Obst- und Gemüsesorten. Die Signalintensität der Tiere und Instrumente sowie der Tiere und Früchte unterschied sich im ATL dagegen nicht. Außerdem war in allen Experimenten das Signal bekannter Stimuli höher als das Signal unbekannter Stimuli.

Stimmenerkennung Die im Abschnitt 2.2.3.1 auf Seite 31 beschriebenen Studien zeigen, dass Regionen im anterioren Temporalkortex deutlich stärker auf die Präsentation menschlicher Stimmen reagieren als auf andere Arten akustischer Stimuli. Selbst im Vergleich zur Verarbeitung des sprachlichen Inhalts ist die resultierende neuronale Aktivität auf die Verarbeitung von Stimmen mit dem Ziel der Sprecheridentifizierung höher. Daher werden diese Areale, zu denen insbesondere der rechte anteriore STS gehört, als stimmenselektive Areale bezeichnet (Belin et al., 2000). Die genaue Funktion dieser Areale wird häufig nicht eindeutig spezifiziert (Belin et al., 2002; von Kriegstein et al., 2003), einige Autoren argumentieren jedoch dafür, dass diese Regionen daran beteiligt sind, den Sprecher der Äußerung zu identifizieren (Andics et al., 2010; Belin et al., 2004; Nakamura et al., 2001). Dennoch wurden bisher nur wenige Anhaltspunkte dafür gefunden, dass Stimmen bekannter Personen in dieser Region ein stärkeres Aktivierungssignal hervorrufen als Stimmen unbekannter Personen, was ein deutlicher Hinweis darauf wäre, dass der anteriore Temporalkortex die Identifizierung von Personen anhand ihrer Stimme unterstützt.

Mit der vorliegenden Untersuchung konnte gezeigt werden, dass der ATL stärker als andere Regionen im Temporallappen daran beteiligt ist, menschliche Stimmen zu verarbeiten. Diese erzeugten im ATL ein deutlich höheres Signal als akustisch präsentierte Tiere oder Musikinstrumente. In den Arealen *a-sMTG-LH*, *a-sMTG-RH* und *ma-sMTG-LH* riefen ausschließlich die Personenstimmen signifikante Aktivität mit einem BOLD-Signal von etwa 0,9% hervor, wohingegen die Kontrollbedingungen im ROI *a-sMTG-LH* sogar eine leichte Deaktivierung verursachten (siehe Abbildungen 5.16 und 5.17 ab Seite 120). Damit konnte tatsächlich stimmenselektive Aktivierung im anterioren Temporallappen nachgewiesen wer-

den. Die vorliegenden Daten sprechen somit für die Vermutung von Belin et al. (2000), dass die anterioren Temporalkortizes stimmenselektive Areale darstellen. Im Gegensatz zu den Beobachtungen anderer Studien (Belin et al., 2002; Nakamura et al., 2001; von Kriegstein et al., 2003) befanden sich die maximal selektiven Areale jedoch nicht in der rechten, sondern der linken Hemisphäre und nicht, wie Belin et al. (2000, 2002) feststellten, in der oberen Bank des STS, sondern ventral zu diesem Sulcus. Zusätzlich war zu erkennen, dass bekanntere und benannte Stimmen ein stärkeres Signal im ATL erzeugten als unbekannte Stimmen. Dies entspricht den Daten von Birkett et al. (2007), nicht jedoch von Shah et al. (2001), die keine Unterschiede zwischen bekannten und unbekanntenen Stimmen im Temporallappen fanden, und von Kriegstein & Giraud (2004), bei denen die unbekannteren Stimmen die höheren Signalintensitäten hervorriefen. Insgesamt lassen sich diese Ergebnisse dahingehend interpretieren, dass der anteriore Temporalkortex und insbesondere der linke anteriore MTG daran beteiligt sind, Sprecher anhand ihrer Stimme zu identifizieren.

Gegen diese Interpretation spricht jedoch, dass sich mit visuellen Stimuli ein ganz ähnliches Aktivierungsmuster zeigte. Abbildungen von Zeichentrickfiguren riefen im Vergleich zu gezeichneten Tieren und Obst- und Gemüsesorten ebenfalls im ATL ein stärkeres Signal hervor und auch hier waren es die bekannten Stimuli, die besonders starke Signalintensitäten erzeugten. Da dieses Muster dem der auditiven Studie sehr ähnlich war, wenn die Signalstärken des visuellen Experiments auch etwas geringer ausfielen, ist zu vermuten, dass der anteriore Temporalkortex in beiden Fällen dieselbe kognitive Funktion unterstützt hat. Dies scheinen eher supramodale Verarbeitungsprozesse zu sein. Dafür spricht, dass Regionen im anterioren Temporalkortex als multimodale Zonen identifiziert wurden (Poremba et al., 2003; Saleem et al., 2000; Seltzer & Pandya, 1989, 1994). Alternativ wäre möglich, dass sich die Probanden die Stimmen der Comicfiguren vorstellten und der Abruf der Stimmen die Aktivität im ATL hervorrief. Dies lässt sich anhand der Daten jedoch weder bestätigen noch widerlegen.

Sprachverarbeitung Die in den Experimenten 1 bis 3 präsentierten menschlichen Stimmen transportierten zusätzlich zu sprechertypischen Merkmalen auch linguistische Informationen. Die Stimuli stammten aus spontansprachlichen Äußerungen und bestanden mit ihrer Länge von zwei Sekunden aus mehreren syntaktisch zusammenhängenden Wörtern, die Phrasen oder kurze Sätze bildeten. Die Kontrollstimuli des Experiments 3 waren Tiervokalisationen und Geräusche von Musikinstrumenten oh-

ne linguistische Strukturen. Da die sprachlichen Äußerungen verglichen mit den akustischen Kontrollstimuli im anterioren Temporallappen deutliche Aktivität hervorriefen, die linkshemisphärisch besonders selektiv ausfiel, sind die Ergebnisse der aktuellen Studie kompatibel mit der Beobachtung, dass die Analyse und das Verständnis sprachlicher Informationen durch den linken ATL unterstützt wird (siehe Abschnitte 2.2.5.1 und 2.2.5.2). Aber obwohl nicht auszuschließen ist, dass der linke ATL in phonetische, syntaktische oder andere linguistische Prozesse involviert ist, ist unwahrscheinlich, dass Sprachverarbeitungsprozesse die in dieser Studie identifizierten Aktivierungen hervorgerufen haben. Zum einen fanden sich Aktivierungsunterschiede zwischen bekannten und unbekanntem Sprechern, was sehr für die Relevanz nichtlinguistischer Merkmale bei diesen Aktivierungen spricht. Zum anderen erzeugten visuell präsentierte Zeichentrickfiguren im Vergleich zu den Kontrollbedingungen ein sehr ähnliches Aktivierungsmuster wie die menschlichen Stimmen. Aufgrund der großen Ähnlichkeit der Ergebnisse der auditiven und der visuellen Studie erscheint es plausibel, die Annahme zu verwerfen, dass Sprachverarbeitungsprozesse für die hier beobachteten Aktivierungen verantwortlich sind, und nach alternativen Theorien zu suchen, die die Aktivierungen beider Experimente gleichermaßen erklären können.

Allgemeine semantische Verarbeitung Diese Theorie könnte darin bestehen, dass der ATL supramodal semantische Informationen verarbeitet. Dafür wird vor allem anhand des Störungsbildes der semantischen Demenz argumentiert. Patienten mit semantischer Demenz weisen aufgrund von Atrophie der anterioren Temporallappen Wortfindungsstörungen und Sprachverständnisdefizite auf, die sich auf eine Störung der semantischen Verarbeitung zurückführen lässt. Das Defizit betrifft alle semantischen Kategorien gleichermaßen, weshalb vermutet wird, dass der ATL ein semantisches Verarbeitungszentrum darstellt, in dem sämtliche semantischen Merkmale, die in anderen Hirnregionen repräsentiert sind, zusammengeführt werden (siehe Abschnitt 2.2.1 auf Seite 22). Auch wenn zunehmend mehr Studien auch mit anderen Patientengruppen (Rudrauf et al., 2008; Walker et al., 2011) und Methoden (Marinkovic et al., 2003; Pobric et al., 2010a; Visser et al., 2010a) eine Beteiligung des ATL an allgemeinen semantischen Prozessen andeuten, existieren doch verglichen mit anderen Hirnregionen wie dem posterioren Temporalkortex oder dem inferioren Frontallappen deutlich weniger Daten, die für diese Annahme sprechen. So liegen nur wenige Bildgebungsstudien vor, die im Zusammenhang mit semantischer Verarbeitung auf Wortebene Aktivität in dieser Region gefunden haben. Es wird zwar argumentiert, dass dies im Rahmen

von fMRT-Studien mit Magnetfeldartefakten zusammenhängt (z. B. Visser et al., 2010b), dennoch gibt es zahlreiche Untersuchungen, die mit anderen Aufgabenstellungen Aktivierungen im ATL nachweisen konnten (z. B. bei der Stimmen- oder Sprachverarbeitung auf Satzebene). Außerdem zeigen Patienten mit Läsionen in dieser Region aufgrund von Resektionen oder Epilepsien selten allgemeine semantische Defizite (Bi et al., 2011), sondern vorwiegend Defizite im Zugriff oder Abruf von Informationen über Personen (Abschnitt 2.2.1).

Die Ergebnisse der vorliegenden Studie liefern ebenfalls keine Hinweise darauf, dass der ATL semantische Informationen sämtlicher Konzeptkategorien verarbeitet. Im Experiment 3 zeigten sich in den anterioren Temporallappen sehr spezifische Aktivierungen bei der Identifizierung menschlicher Stimmen, die Verarbeitung der Geräusche von Tieren und Musikinstrumenten rief dagegen in den Arealen *a-SMTG-LH*, *a-SMTG-RH* und *ma-SMTG-LH* keine signifikante Aktivität hervor. Dieses selektive Aktivierungsmuster konnte mit dem Experiment 4 zwar nicht in dieser Deutlichkeit repliziert werden, aber hier erzeugten Comicfiguren stärkere Aktivität als Tiere oder Obst und Gemüse. Trotz dieser categoriespezifischen Aktivierungen kann eine allgemeine semantische Funktion des ATL nicht völlig ausgeschlossen werden. Es wurde argumentiert, dass der ATL nur bei Verwendung einer adäquaten Kontrollaufgabe zur Unterdrückung semantischer Prozesse Aktivität zeigen kann (Binder et al., 2008; Price et al., 2005a; Stark & Squire, 2001; Visser et al., 2010b). Da die Experimental- und Kontrollbedingungen ausschließlich mit Ruhe kontrastiert wurden, ist nicht auszuschließen, dass während der Ruhe semantische Verarbeitung stattfand, die dafür sorgte, dass die Baseline-Aktivität sehr hoch war und sich die Aktivität der leichteren Kontrollbedingungen nicht von dieser Baseline abhob. In Übereinstimmung mit dieser Vermutung war zu beobachten, dass der anteriore Temporalkortex zum *default-mode*-Netzwerk gehört, dessen Aktivität sich während kognitiver Aufgaben verringert, aber während passiver Fixationsperioden ansteigt (Gour et al., 2011; Kahn et al., 2008). Wirth et al. (2011) konnten darüber hinaus feststellen, dass sich im Vergleich zu Fixation das Signal im lateralen ATL während semantischer Aufgaben weniger reduzierte als bei phonologischen oder perzeptuellen Aufgabenstellungen, so dass zu vermuten ist, dass der anteriore Temporalkortex während Fixations- und Ruheperioden in semantische Verarbeitungsprozesse involviert ist und auch bei semantischen Aufgabenstellungen.

Identifizierung von Personen Auch wenn anhand der aktuellen Studie weder klar für noch gegen die Theorie der allgemeinen semanti-

schen Verarbeitung im anterioren Temporalkortex argumentiert werden kann, sprechen die Daten stärker dafür, dass lediglich bestimmte semantische Konzepte in dieser Region verarbeitet werden. Es waren vor allem menschliche Stimmen und Abbildungen von Comicfiguren, die Aktivität in dieser Region ausgelöst haben. Comicfiguren basieren in ihrem Aussehen zwar auf Tieren, ihr Verhalten wird jedoch meist als menschlich dargestellt. Sie reden, denken und führen Tätigkeiten aus, die charakteristisch für Menschen sind und können daher als Stellvertreter für Personen angesehen werden. Außerdem erzeugten Stimmen bekannter Personen und benannte Comicfiguren ein stärkeres Signal als entsprechende nicht identifizierte Stimuli. Damit sind die Ergebnisse der vorliegenden Studie vollständig kompatibel mit der Annahme, dass im ATL Informationen über Personen verarbeitet werden und dieser dazu beiträgt, Personen zu identifizieren. Dass es sich dabei um semantische Verarbeitungsprozesse handeln dürfte, wird daran deutlich, dass die Aktivität sowohl mit auditiven als auch mit visuellen Stimuli ausgelöst wurde und in einer Region zu finden war, die als multimodale Konvergenzzone identifiziert wurde (Poremba et al., 2003; Saleem et al., 2000; Seltzer & Pandya, 1994). Somit besteht die Funktion des ATL nicht nur darin, akustische Merkmale von Stimmen oder visuelle Merkmale von Gesichtern zu verarbeiten, sondern modalitätsunabhängig Informationen über Personen abzurufen. Dies entspricht sowohl funktionellen Bildgebungsstudien als auch Läsionsstudien, die feststellen konnten, dass Aktivität im ATL gleichermaßen durch Gesichter, Stimmen oder Namen von Personen ausgelöst wird und dass Patienten grundsätzliche Defizite aufweisen, ihnen bekannte Menschen wiederzuerkennen (siehe Abschnitt 2.2.3.3 ab Seite 36).

Semantische Verarbeitung auf subordinierter oder individueller Ebene Andere Studien argumentieren dennoch dafür, dass Konzepte sämtlicher semantischer Kategorien in den anterioren Temporallappen verarbeitet werden, jedoch primär dann, wenn eine detaillierte Analyse der Konzepte auf untergeordneter Ebene erforderlich ist (Rogers et al., 2006; Tyler et al., 2004). Die Ergebnisse der vorliegenden Experimente entsprechen diesen Annahmen, tragen jedoch nicht dazu bei, zwischen dieser Theorie und der Theorie der Personenidentifizierung zu differenzieren. Individuelle Konzepte (Personen und Comicfiguren) erzeugten ein stärkeres Signal im ATL als kategorielle Konzepte (Tiere, Musikinstrumente, Obst und Gemüse). Als individuelle Stimuli wurden jedoch lediglich Personen und deren Stellvertreter dargeboten. Die Differenzierung zwischen untergeordneten Konzepten erfordert eine sehr viel genauere perceptuelle und semantische Analyse als die Differenzierung zwischen über-

geordneteren Konzepten, die zwar ebenfalls perzeptuelle und semantische Merkmale teilen, jedoch weniger als zwei Konzepte derselben untergeordneten Kategorie. Dies wird besonders im Experiment 4 deutlich, wo Tiere und Comicfiguren, die ebenfalls Tiere darstellten, kontrastiert wurden. Bei den Tieren wurde jede Tierart lediglich einmal präsentiert, bei den Comicfiguren jede Figur ebenfalls nur einmal. Dennoch konnten mehrere Figuren dasselbe Tier verkörpern (z. B. Hund: *Goofy*, *Pluto*, *Struppi*), so dass es nicht genügte, zwischen Katze und Hund zu differenzieren, sondern zusätzlich innerhalb der Kategorie der Hunde unterschieden werden musste. Die Funktion des ATL könnte demzufolge auch darin bestehen, detaillierte semantische Informationen zu repräsentieren. Entsprechend ist bei Patienten mit semantischer Demenz initial vor allem eine Störung der Verarbeitung spezifischer semantischer Merkmale und erst mit Ausbreitung der Atrophie im gesamten Temporalkortex ein Verlust auch allgemeiner Merkmale festzustellen (Hodges et al., 1995; Jefferies & Lambon Ralph, 2006). Ähnliche Schlussfolgerungen über die Funktion des ATL lassen auch funktionelle Bildgebungstudien und weitere Untersuchungen an Patienten mit Läsionen der anterioren Temporallappen zu, die beobachteten, dass diese Hirnregionen auf die Verarbeitung von individuellen Konzepten spezialisiert ist, auf Objekte, die einzigartig sind und daher mit Eigennamen benannt werden. So aktiviert die Verarbeitung von berühmten Personen, aber auch von bekannten Landschaften oder berühmten Sehenswürdigkeiten den anterioren Temporalkortex, nach dessen Läsion sich Identifikations- und Benenndefizite für diese Objekte zeigen (siehe Abschnitt 2.2.3.4 ab Seite 40).

In diesen und den vorliegenden Studien wurden jeweils ganzheitliche Konzepte untersucht, die sich über eine unterschiedlich große Anzahl charakterisierender Merkmale definierten (*Hund* vs. *Goofy*). Baron & Osherov (2011) konnten zusätzlich beobachten, dass zusammengesetzte Konzepte (*männliches Kind*) eine ähnliche Aktivität im ATL hervorrufen wie entsprechende ganzheitliche Objekte (*Junge*). Schließlich deuten auch die Aktivierungen im anterioren Temporalkortex, die sich bei der Kombination semantisch kongruenter Wörter zu Sätzen oder inhaltlich kongruenten Sätzen zu Texten zeigen, darauf hin, dass diese Hirnregion grundsätzlich für die Integration und Zusammenführung mehrerer semantischer Informationen wesentlich ist (siehe Abschnitt 2.2.5.2 ab Seite 45).

Soziale Kognition Menschen können mit anderen Personen sozial interagieren. Daher ist es möglich, dass die Aktivierungen, die sich bei der Verarbeitung von Personen und Comicfiguren zeigten, durch soziale Verarbeitungsprozesse ausgelöst wurden. Dies könnte beispielsweise gesche-

hen, weil bei der Wahrnehmung anderer Personen automatisch Prozesse angestoßen werden, die dazu führen, dass man sich in die Situation, Gedanken und Gefühle dieser Personen hineinversetzt oder weil die neuronale Repräsentation von Personen auf semantischen Merkmalen basiert, die sozialer, emotionaler oder moralischer Natur sind. Für ersteres spricht, dass Studien zur *Theory of Mind* sowie zur Verarbeitung von sozialen, emotionalen oder moralischen Informationen Aktivität im anterioren Temporalkortex identifiziert haben (siehe Abschnitt 2.2.6 ab Seite 48), für zweiteres, dass Konzepte, die soziale semantische Merkmale tragen (einschließlich abstrakter Wörter), ebenfalls in dieser Hirnregion verarbeitet werden (Binder et al., 2009; Ross & Olson, 2010; Zahn et al., 2007). Außerdem führen Läsionen des ATL zu Verhaltensauffälligkeiten, so dass die betroffenen Personen nicht mehr in der Lage sind, genormte Verhaltensroutinen und -schemata einzuhalten (Abschnitt 2.2.6).

Soziale Interaktion ist in begrenztem Maß auch mit Tieren möglich. Falls soziale Prozesse die Aktivität im ATL bei den Personen und Comicfiguren verursacht haben, ist zu erwarten, dass Tiere ebenfalls ein stärkeres Signal als Musikinstrumente oder Obst und Gemüse ausgelöst haben. In anderen Studien war zu beobachten, dass geometrischen Formen mentale Zustände zugeschrieben werden (Schultz et al., 2003; Tavares et al., 2008), daher sollte dies bei Tieren noch viel leichter möglich sein. Stattdessen erzeugten im Experiment 3 in allen Arealen, in denen sich das Signal der Tiere von dem der Instrumente unterschied, die Instrumente ein stärkeres Signal. Auch im Experiment 4 resultierten bei Signalunterschieden die Obst- und Gemüsesorten in einem höheren Signal. Lediglich in einem posterioren ROI war die Signalintensität der Tiere größer. Soziale Kognition scheint somit zumindest bei der Verarbeitung von Tieren keine größere Rolle zu spielen als bei der Verarbeitung von Objekten, mit denen eindeutig keine soziale Interaktion möglich ist.

Schlussfolgerungen In der vorliegenden Studie erzeugten Personen und Comicfiguren verglichen mit Tieren, Musikinstrumenten oder Obst und Gemüse eine stärkere oder sogar selektive Aktivierung im anterioren Temporalkortex. Damit sind die Daten ein deutlicher Hinweis darauf, dass der ATL präferiert Personen und ihre Stellvertreter, Konzepte auf untergeordneter Ebene oder individuelle Konzepte verarbeitet. Eine Differenzierung zwischen diesen drei Theorien ist anhand der Ergebnisse nicht möglich.

Zwei der Theorien ist die Annahme gemeinsam, dass solche Konzepte in den anterioren Temporallappen verarbeitet werden, die als Individuen wahrgenommen werden. Dazu gehören Personen, aber auch an-

dere individuelle Objekte wie Haustiere, Sehenswürdigkeiten, Kunstwerke oder Fahrzeuge. Auf individueller Ebene werden Objekte verarbeitet, die für uns einen hohen Stellenwert besitzen und uns persönlich wichtig sind (Jeshion, 2009). Von diesen Stimuli wurde angenommen, dass sie rechtshemisphärisch repräsentiert sind (Ohnesorge & Van Lancker, 2001; Van Lancker, 1991) oder im medialen Temporallappen (Westmacott et al., 2004). Die präsentierten Daten deuten jedoch darauf hin, dass auch der ATL daran beteiligt ist, Stimuli zu verarbeiten, die eine persönliche Relevanz besitzen können. Diesen Wert haben Objekte einiger individueller Kategorien der Tatsache zu verdanken, dass mit ihnen sozial interagiert werden kann. Interaktion basiert darauf, Interaktionsregeln zu kennen und erworbenes soziales Wissen so zu nutzen, dass diese erfolgreich stattfinden kann. Dementsprechend aktiviert der Abruf autobiographischer, das eigene Erleben betreffender Erinnerungen (Abschnitt 2.2.4 auf Seite 41) und sozialen, emotionalen oder moralischen Wissens den anterioren Temporalkortex (Abschnitt 2.2.6 ab Seite 48).

Alle drei Theorien gehen davon aus, dass im ATL eine Differenzierung zwischen semantisch oder perzeptuell sehr ähnlichen Objekten erfolgt. Patienten mit semantischer Demenz verlieren frühzeitig die Fähigkeit, spezifische semantische Merkmale von Objekten abzurufen (Hodges et al., 1995; Jefferies & Lambon Ralph, 2006). Einige von ihnen und auch andere Patienten mit Läsionen des ATL zeigen selektive Defizite, natürliche Objekte zu verarbeiten (Barbarotto et al., 1995; Humphreys & Riddoch, 2003; Lambon Ralph et al., 2003, 2007), von denen angenommen wurde, dass sie eine detaillierte Analyse zur Identifizierung erfordern als künstliche Objekte (Silveri & Gainotti, 1988; Warrington & Shallice, 1984). Entsprechend war auch in der vorliegenden Untersuchung festzustellen, dass zumindest im Experiment 4 visuell präsentierte Tiere und Obst- und Gemüsesorten eine schwache, aber signifikante Aktivierung der anterioren Temporallappen hervorriefen. Darüber hinaus resultiert auch die Verarbeitung von Sätzen und Texten in neuronaler Aktivität des ATL (siehe Abschnitt 2.2.5.2 auf Seite 45). Diese lassen sich zum einen darauf zurückführen, dass die vielfältigen semantischen Informationen zu einer Gesamtbedeutung zusammengefügt werden, zum anderen darauf, dass soziale Prozesse stattfinden, indem sich die Hörer oder Leser in die Gedanken der Protagonisten hineinversetzen und emotionale oder moralische Bewertungen vornehmen.

Möglicherweise trifft beides zu, nämlich dass der ATL für semantische Kombination und sozial-kognitive Funktionen wesentlich ist. Hinweis darauf liefert die Beobachtung, dass abstrakte, soziale Konzepte eine stärkere Aktivität im ATL hervorrufen als konkrete, nicht soziale Konzepte (Bin-

der et al., 2009; Zahn et al., 2007), einige Patienten mit semantischer Demenz Abstrakta aber sicherer verarbeiten können als Konkreta (Bonner et al., 2009; Breedin et al., 1994; Papagno et al., 2009; Yi et al., 2007). Die durch Abstrakta und soziale Konzepte hervorgerufene Aktivität ist primär im lateralen ATL zu finden, bei semantischer Demenz sind dagegen eher ventromediale Strukturen des ATL von der Atrophie betroffen (Chan et al., 2001; Galton et al., 2001). Für die Relevanz des ventralen ATL für detaillierte semantische Verarbeitungsprozesse sprechen auch funktionelle Aktivierungsstudien. So lokalisierten Tyler et al. (2004) die Verarbeitung von Objekten auf untergeordneter Ebene im ventromedialen ATL und andere (Binney et al., 2010; Visser et al., 2010a; Visser & Lambon Ralph, 2011) generell die semantische Verarbeitung. Im visuellen Experiment 4 der vorliegenden Studie, in der neben Comicfiguren auch Tiere und Obst- und Gemüsesorten zu signifikanter Aktivität des ATL führten, waren in den zwei linkslateralen Arealen, die am weitesten anterior und inferior lagen (*a-sMTG-LH*, *ma-sMTG-LH*), die Aktivierungen weiter inferior zu lokalisieren als in den drei auditiven Experimenten, deren Aktivierungen auf der Verarbeitung menschlicher Stimmen basierten. Anatomische und konnektivistische Studien deuten in dieselbe Richtung und zeigen eine funktionelle Untergliederung des anterioren Temporalkortex in einen ventromedialen und einen dorsolateralen Bereich (Kahn et al., 2008; Kondo et al., 2003, 2005), bei dem der ventrale Bereich die detaillierte Analyse semantischer oder perzeptueller Merkmale übernimmt und der dorsale Bereich Stimuli mit intrinsischem Wert identifiziert und soziale Interaktionsprozesse unterstützt.

6.2.4. Der ventrale Verarbeitungsstrom

Graduelle Veränderungen des Aktivierungssignals Der vorausgehende Abschnitt stellte dar, dass im anterioren Temporalkortex deutliche Signalunterschiede zwischen verschiedenen Bedingungen bestanden, z. B. zwischen individuellen und kategoriellen Konzepten oder zwischen benannten und unbekanntem Stimmen. Entsprechende Unterschiede waren bilateral nahezu im gesamten Temporallappen zu beobachten. Die Größe des Unterschieds variierte jedoch zwischen den untersuchten Arealen, genauso wie die Signalintensitäten selbst. In allen Experimenten konnte eine graduelle Signalabnahme bei gleichzeitiger Zunahme der Signaldifferenz von frühen auditorischen Arealen bis zum temporopolareren Kortex festgestellt werden. Dieser Gradient war am deutlichsten im Experiment 3 zu erkennen. Hier führte die Präsentation von menschlichen Stimmen und Geräuschen von Tieren und Musikinstrumenten bilateral im ROI *mp-sSTG* zur signalstärksten Aktivierung der drei Bedingungen, deren Signal

sich untereinander nur geringfügig unterschied. Mit zunehmender Entfernung von diesem Areal nach inferior in den MTG und nach anterior in den temporopolen Kortex nahmen die Signalintensitäten kontinuierlich ab, die Signaldifferenz zwischen den Personenstimmen und den Tieren und Instrumenten aber von Areal zu Areal zu. Die Zunahme des Signalunterschieds kam zustande, indem das Signal der Tiere und Musikinstrumente stärker abnahm als das Signal der menschlichen Stimmen. Im anterioren MTG waren die Signalintensitäten am geringsten und der Signalunterschied maximal, da lediglich die menschlichen Stimmen signifikante Aktivität hervorriefen. In den Aktivierungskarten der Einzelprobanden war zusätzlich zu der durchgeführten ROI-basierten Analyse zu beobachten, dass sich die Signalabnahme und die Zunahme der Signaldifferenz kontinuierlich und nicht sprunghaft vollzogen. Es war nicht möglich, individuelle Aktivierungszentren mit scharfen Grenzen zu identifizieren, von denen jedes ein jeweils anderes Aktivierungsmuster aufwies. Stattdessen waren von Voxel zu Voxel graduelle Veränderungen des Aktivierungssignals zu erkennen. Damit entsprechen die Ergebnisse den Annahmen des Zwei-Wege-Modells der Objektverarbeitung, dass ausgehend von den primärsensorischen Arealen in den Okzipitallappen und den superioren Temporalkortizes ventrale Verarbeitungsströme nach anterior verlaufen, entlang derer visuelle oder auditive Reize in sukzessiv komplexer werdenden Schritten verarbeitet werden. Entsprechend konnten anatomische Studien zeigen, dass bis in die anterioren Temporalkortizes hinein neuronale Konnektionen bestehen, die zu dieser Informationsweiterleitung beitragen (siehe Abschnitt 2.1 ab Seite 7).

Modelle der merkmalsbasierten Konzeptrepräsentation Eine detaillierte Erklärung liefert das Konvergenzzonenmodell von A.R. Damasio (Damasio, 1989). Dieses Modell basiert auf der Annahme, die sämtlichen Modellen der merkmalsbasierten Konzeptrepräsentation (*grounded/embodied cognition*) gemeinsam ist, dass semantische Informationen nicht lokal, sondern weit verteilt im Gehirn repräsentiert sind, und zwar in frühen sensorischen, motorischen und Affektionen verarbeitenden Hirnstrukturen (so auch Barsalou et al., 2003; Gallese & Lakoff, 2005; Pulvermüller, 1999; Warrington & Shallice, 1984). Entsprechend dieser Theorien werden Konzepte aus der sensorischen, motorischen oder affektiven Erfahrung abgeleitet und sind daher in denselben sensorischen, motorischen oder affektiven Systemen repräsentiert, die auch aktiv sind, wenn wir Objekte wahrnehmen und mit ihnen interagieren. Ein Konzept abzurufen oder ein Wort zu verstehen bedeutet in dieser Theorie, diese Erfahrungen wieder wachzurufen, und erfordert die teilweise Reaktivierung des

neuronalen Aktivierungsmusters, das während der Interaktion mit dem Objekt bestanden hat. Andere Modelle sehen Konzepte als amodale Einheiten, die unabhängig von den sensomotorischen und affektiven Systemen in höheren Assoziationsarealen zu lokalisieren sind (Bedny & Caramazza, 2011; Chatterjee, 2010; Machery, 2007; Mahon & Caramazza, 2008). Diese amodalen Einheiten werden erstellt, indem die sensomotorischen Repräsentationen in abstrakte und symbolische Repräsentationen umgewandelt werden. Diese stehen dann für die sensomotorischen Erfahrungen und sind die Einheiten, die beim Konzeptabruf oder Wortverständnis aktiviert werden (siehe Barsalou et al., 2003). Auf diese Weise lässt sich der Erhalt konzeptuellen Wissens bei Läsionen modalitätsspezifischer Areale erklären (Bedny & Caramazza, 2011; Mahon & Caramazza, 2008). Das Naben-Speichen-Modell kombiniert beide Theorien (Lambon Ralph & Patterson, 2008; Mion et al., 2010; Patterson et al., 2007). Es wird argumentiert, dass zusätzlich zu den vielen Regionen, in denen modalitätsspezifische Inhalte repräsentiert sind und die untereinander verknüpft sind, eine modalitätsinvariante zentrale Station existieren muss, in der die modalitätsspezifischen Merkmale sämtlicher Kategorien zu kohärenten Konzepten kombiniert werden. Die zentrale Station, die im anterioren Temporalkortex lokalisiert wird, beinhaltet keine expliziten Inhalte, sondern eine Art Ähnlichkeitsmatrix, die gewährleistet, dass konzeptuell ähnliche Objekte auch als solche erfasst werden, selbst wenn diese sehr unterschiedliche modalitätsspezifische Merkmale aufweisen.

Das Konvergenzzonenmodell ist ebenfalls ein kombiniertes Modell, nimmt aber multiple, hierarchisch organisierte Stationen (Konvergenzzonen) zur Integration der distribuierten Informationen an (Damasio, 1989; Meyer & Damasio, 2009). Bei der Perzeption oder beim Umgang mit einem Objekt erfolgt in Neuronensembles der frühen sensomotorischen Kortizes die modalitätsspezifische Analyse von winzigen Wissensfragmenten über das Objekt. Zunächst werden diese Wissensfragmente durch lokale Konvergenzzonen in modalitätsspezifischen Arealen zusammengefasst. Später kombinieren höhere Konvergenzzonen, die in modalitätsunabhängigen Assoziationsarealen lokalisiert sind, die Informationen der lokalen Konvergenzzonen zu multimodalen Repräsentationen. Insgesamt werden zahlreiche Ebenen der Konvergenz angenommen, so dass die Informationen sukzessive zu immer komplexeren Einheiten kombiniert werden. Auf der höchsten Ebene wird die maximale Anzahl an Informationen zusammengebunden, so dass die entsprechenden Areale (z. B. der anteriore Temporalkortex) die Interpretation individueller Konzepte und Ereignisse unterstützen. Die Funktion der Konvergenzzonen besteht genau genommen jedoch darin, das Arrangement aktivierter Neuronensembles

in den frühen modalitätsspezifischen Arealen zu erfassen und zu kodieren, wie sich dieses bei der Perzeption eines Objekts zusammengesetzt hat. Das Modell unterscheidet sich von amodalen Modellen der semantischen Repräsentation somit darin, dass Wissen weder in höhere Areale transferiert noch in abstrakte Einheiten umgewandelt wird, so dass die Konvergenzzonen keine verarbeitete Version des Objekts repräsentieren. Sie registrieren lediglich den gemeinsamen Aktivierungszustand diverser Neuronensembles während der Perzeption eines Objekts und damit den Zusammenhang zwischen verschiedenen Wissensfragmenten. Zusätzlich besteht die Funktion der Konvergenzzonen darin, die distribuierten Netzwerke beim Abruf von Wissensinhalten zu reaktivieren (daher eigentlich Konvergenz-Divergenz-Zonen). Von den höheren Konvergenzzonen geht eine rückwärts gerichtete Aktivierung aus, die dazu führt, dass das ursprüngliche Aktivierungsmuster in den frühen sensomotorischen Arealen teilweise wiederhergestellt wird. Simmons & Barsalou (2003) haben dieses Modell durch die Annahme erweitert, dass Neuronensembles in höheren Konvergenzzonen in einigen Fällen auch unabhängig von der Funktion früher Neuronensembles operieren können. In Fällen, wo hochüberlerntes Wissen in automatisierten Aufgabenstellungen abgerufen werden muss, wird keine Reaktivierung benötigt. Indem die höheren Konvergenzzonen das ursprüngliche Aktivierungsmuster kodiert haben, können sie es sozusagen „simulieren“. Bei schwierigen Verarbeitungsprozessen ist jedoch eine Reaktivierung der frühen Merkmalskarten erforderlich. Diese zusätzliche Annahme ermöglicht es, auch anhand eines Modells der merkmalsbasierten Konzeptrepräsentation zu erklären, dass Konzeptverarbeitung trotz der Läsion modalitätsspezifischer Areale funktionieren kann.

Das Konvergenzzonenmodell entspricht aufgrund seiner Annahme von einer hierarchisch organisierten Integration von Informationen den Daten der vorliegenden Studie. In den auditiven Experimenten war ein sich sukzessiv änderndes Aktivierungsmuster zu erkennen, bei dem die Signalintensitäten entlang eines Gradienten von den frühen auditorischen Arealen zum ATL immer kleiner, die Signaldifferenzen zwischen individuellen und kategoriellen Konzepten sowie zwischen benannten und unbekanntem Stimmen jedoch zunehmend größer wurden. So war in den auditorischen Kortizes des zentralen STG ein sehr hohes Signal aller Bedingungen festzustellen, aber nur geringfügige Signalunterschiede zwischen den Bedingungen. Dieses Muster lässt sich im Sinne des Modells so interpretieren, dass hier die akustischen Merkmale der auditiven Stimuli in lokalen Konvergenzzonen integriert werden. Dies erfolgt gleichermaßen für sämtliche auditiven Stimuli, vielleicht mit minimaler Variation in Abhängigkeit von der akustischen Komplexität. Beispielsweise war in dieser Re-

gion ein leicht stärkeres Signal durch die Musikinstrumente als durch die Tiervokalisationen festzustellen. Je weiter anterior und inferior sich ein ROI befand, desto stärker war anhand des Aktivierungssignals eine Präferenz zugunsten bekannter individueller Konzepte zu beobachten. Laut Modell ist dies darauf zurückzuführen, dass nach anterior zunehmend mehr Informationen integriert werden. Da individuelle Objekte und Ereignisse besonders viele Merkmale besitzen, um sie von anderen individuellen Konzepten abgrenzen zu können, müssen bei diesen Konzepten mehr Merkmale zusammengefügt werden als bei anderen Objekten. Bei der Repräsentation unbekannter oder kategorieller Konzepte ist ab einer bestimmten Konvergenzstufe keine weitere Information mehr zur Integration vorhanden, so dass das Zusammenführen von Merkmalen beendet ist. Diese Erklärung ist in Übereinstimmung sowohl mit den vorliegenden Daten als auch mit den Ergebnissen von Tyler et al. (2004), die ebenfalls beobachteten, dass das Aktivierungssignal auf Objekte, die auf allgemeiner Ebene verarbeitet werden, nach anterior sukzessiv geringer wird, das Signal auf Objekte, die auf subordinierter Ebene verarbeitet werden, dagegen konstant bleibt.

Verschiedene Konvergenzzonen integrieren unterschiedliche Merkmale Das Konvergenzzonenmodell geht von der Existenz mehrerer Stationen zur Kombination von semantischen Merkmalen aus. Dabei werden nicht nur verschiedene hierarchische Ebenen von Konvergenzzonen angenommen, sondern auch eine Differenzierung in Abhängigkeit von der Spezialisierung einer Zone auf die Verarbeitung bestimmter Konzeptkategorien. So wurde der inferiore Temporalkortex als eine Region identifiziert, in der in bestimmten Bereichen bestimmte Kategorien repräsentiert sind, z. B. im temporopolen Kortex Personen und andere Individuen oder im posterioren Temporalkortex künstliche Objekte wie Werkzeuge (Damasio et al., 1996, 2004; Tranel et al., 1997). Im Abschnitt 2.1.5 wurde dargestellt, dass solche categoriespezifischen Areale vermutlich nicht zwischen ganzheitlichen Objekten differenzieren (siehe jedoch Caramazza & Shelton, 1998; Kanwisher et al., 1997a), sondern vielmehr auf die Verarbeitung spezifischer perzeptueller, motorischer oder affektiver Merkmale spezialisiert sind. So erfolgt im ventralen Temporalkortex die Analyse visueller und anterior auch anderer perzeptueller Merkmale (Holdstock et al., 2009; Tranel et al., 2005; Visser & Lambon Ralph, 2011), im lateralen posterioren Temporalkortex die Analyse handlungsorientierter Merkmale und im ATL die Analyse sozialer Merkmale (Abschnitt 2.2.6). Die Art der Merkmale, die in einer bestimmten Konvergenzzone kombiniert werden, bestimmt folglich darüber, welche

Konzepte in diesem Areal präferiert verarbeitet werden, nämlich solche, die sich wesentlich über das entsprechende Merkmal definieren.

Es gibt jedoch Merkmale, die zur Beschreibung vieler Kategorien beitragen (wie Objektformen) und dennoch existieren in den Regionen, die diese Merkmale verarbeiten, kategoriespezifische Areale. So wurde beobachtet, dass natürliche Objekte im posterioren ventralen Temporalkortex weiter lateral Aktivität erzeugen als künstliche Objekte (Wiggett et al., 2009; Zannino et al., 2010). Was entscheidet aber darüber, dass dicht beieinanderliegende Areale entweder diese oder jene Objektkategorie präferieren? Den ventralen Temporalkortex betreffend wurde vermutet, dass diese Spezialisierungen mit physischen Aspekten des Stimulus zusammenhängen. Ähnlichkeit der Objektform wurde als relevantes Kriterium vorgeschlagen (Haxby et al., 2001), Unterschiede in der Art der Wahrnehmung (Levy et al., 2001) oder Genauigkeit der Analyse (Gauthier et al., 1997) oder eine Kombination aus mehreren Faktoren (Op de Beeck et al., 2008). In allen Fällen wurde angenommen, dass das kategoriespezifische Areal eine besondere Art der Verarbeitung aufweist, die dazu führt, dass dort Stimuli verarbeitet werden, die ein Merkmal besitzen, das dieser besonderen Art der Verarbeitung entspricht. Mit dem Konvergenzonenmodell betrachtet, ergibt sich eine andere/weitere Ursache. Eine Zone weist deshalb eine Präferenz für eine Kategorie auf, weil dort bestimmte Merkmale miteinander kombiniert werden. In einem Areal, das visuelle Forminformationen und motorische Merkmale integriert, lassen sich besonders gut künstliche Objekte analysieren, in einem Areal, das visuelle Merkmale und soziale Aspekte integriert, können hingegen besonders gut Informationen über Personen verarbeitet werden. Mahon & Caramazza (2011) betonen, dass es die Konnektionen zu anderen Hirnregionen sind, die wesentlich zur Spezialisierung von Arealen der Konzeptrepräsentation beitragen. Die Präferenz eines Areals für bestimmte Merkmale oder Konzepte entsteht somit auch dadurch, dass Verbindungen zu Hirnregionen bestehen, die ähnliche oder ergänzende Merkmale interpretieren.

Visuelle Stimuli aktivieren auditorische Kortizes Das Konvergenzonenmodell sagt außerdem vorher, dass unimodale Objektpräsentation Aktivität in frühen Kortizes anderer Modalitäten hervorrufen kann (siehe Meyer & Damasio, 2009). Die Interaktion mit Objekten und das Kennenlernen dieser erfolgt meist multimodal, was zur Aktivierung diverser modalitätsspezifischer Kortizes führt. Konvergenzonen in höheren Arealen registrieren dieses multimodale Aktivierungsmuster und kodieren es als Repräsentation des Objekts. Nach dem Erwerb reaktivieren die höheren Konvergenzonen beim Konzeptabruf oder auch bei erneuter Per-

zeption dieses gespeicherte Aktivierungsmuster, zu dem neben den sensorischen Kortizes der aktuellen Präsentationsmodalität auch die Kortizes anderer Modalitäten gehören. Dementsprechend wurde beobachtet, dass beim Lippenlesen (keine auditive Stimulation) Aktivität im auditorischen Kortex zu verzeichnen ist, die dem Aktivierungsmuster bei der tatsächlichen Lautpräsentation entspricht (Calvert et al., 1997; Pekkola et al., 2005). In die andere Richtung war im Zusammenhang mit menschlichen Stimmen festzustellen, dass deren unimodale Präsentation zu Aktivität in visuellen Arealen führt, z. B. im Sulcus calcarinus (Joassin et al., 2011) oder im posterioren Fusiformgyrus (von Kriegstein et al., 2005). Bei der unimodalen Präsentation von Gesichtern war jedoch keine Aktivität in auditorischen Strukturen zu identifizieren (Ghazanfar et al., 2005; Joassin et al., 2011). In der vorliegenden Studie riefen visuelle Stimuli jedoch deutliche Aktivität in auditorischen Kortizes hervor und erzeugten darüber hinaus ähnliche graduelle Signalveränderungen wie auditive Stimuli. Zeichnungen von Comicfiguren, Tieren und Obst- und Gemüsesorten lösten in frühen auditorischen Regionen etwa gleich starke Aktivität aus, nach anterior und inferior nahm die Signaldifferenz zwischen den Comicfiguren und den anderen Objekten aber sukzessive zu. Ohne auditive Stimulation waren auditorische Areale aktiviert und differenzierten zwischen individuellen und kategoriellen Konzepten. Dem Konvergenzonenmodell zufolge geht dies auf die Reaktivierung der modalitätsspezifischen Areale zurück, die ursprünglich daran beteiligt waren, die entsprechenden Konzepte wahrzunehmen. Das Modell ist jedoch nicht in der Lage zu erklären, weshalb auch solche Konzepte Aktivität in den auditorischen Regionen auslösten, von denen man eher nicht annehmen würde, dass sie mit charakteristischen Geräuschen assoziiert sind, nämlich Obst- und Gemüsesorten. Im Rahmen tierexperimenteller elektrophysiologischer Untersuchungen war festzustellen, dass neuronale Reaktionen in frühen auditorischen Kortizes bereits durch einfache visuelle Reize (Lichtsignale, Schachbrettmuster) hervorgerufen werden können und direkte neuronale Konnektionen zwischen frühen visuellen und auditorischen Arealen bestehen (siehe Budinger & Scheich, 2009; Cappe et al., 2009; Schroeder & Foxe, 2005; Smiley & Falchier, 2009). Ähnliche Ergebnisse resultieren aus fMRT-Studien an Menschen (Eckert et al., 2008; Lehmann et al., 2006; Martuzzi et al., 2007). Daher scheinen unimodale Stimuli nicht nur in Form von Feedback frühe „modalitätsspezifische“ Kortizes anderer Modalitäten zu erreichen, sondern bereits durch subkortikale Integration oder über direkte Konnektionen zwischen frühen sensorischen Kortizes verschiedener Modalitäten (Budinger & Scheich, 2009). Offenbar besitzen modalitätsspezifische Areale angeborene Dispositionen, die zur Objektrepräsentation

beizutragen, auch wenn die typischerweise in dieser Region verarbeiteten Merkmale nicht im Input enthalten sind.

6.2.5. Hemisphärenunterschiede im ATL

In den vier Experimenten waren mehr oder weniger stark ausgeprägte Hemisphärenunterschiede festzustellen. Die Unterschiede zeigten folgende generelle Tendenz: In der rechten Hirnhälfte riefen die Stimuli eine stärkere Aktivität hervor, in der linken Hirnhälfte war dagegen der Unterschied zwischen den Bedingungen größer.

Rechtshemisphärisch stärkere Aktivierung der semantischen Kategorien Bestanden signifikante Unterschiede zwischen kontralateralen homologen Interesseregionen, äußerten sich diese in allen vier Experimenten in der Form, dass die Signalintensitäten der verschiedenen Stimuli in der rechten Hirnhälfte höher waren als in der linken Hirnhälfte. Diese rechtshemisphärisch höheren Signalintensitäten wurden durch menschliche Stimmen hervorgerufen, durch Abbildungen von Tieren und Obst- und Gemüsesorten und etwas weniger deutlich durch Geräusche von Tieren und Musikinstrumenten. Lediglich bei den Zeichentrickfiguren im Experiment 4 konnten keine Hemisphärenunterschiede in der Stärke des BOLD-Signals festgestellt werden. Diese erzeugten in beiden Hemisphären gleich hohe Signalintensitäten. Da jedoch im Experiment 4 die Anzahl aktivierter Voxel aus dem Kontrast Comicfiguren > Ruhe berechnet worden war und in allen Experimenten rechts mehr Voxel aktiviert waren als in der linken Hirnhälfte, riefen diese Stimuli über die Voxelanzahl doch ein rechtshemisphärisch stärkeres Aktivierungssignal hervor. In den anderen Experimenten wurde die Anzahl aktivierter Voxel über den Vergleich der Verarbeitung menschlicher Stimmen oder benannter Stimmen mit der Aktivierung während der Ruheperiode ermittelt. Da die Aufgabe jeweils darin bestand, die präsentierten Objekte zu identifizieren, entsprechen die vorliegenden Daten den Beobachtungen anderer Studien, dass die rechte Hirnhälfte stärker als die linke Hirnhälfte an Prozessen der Personenidentifizierung beteiligt ist, sei es anhand der Stimme oder des Gesichts¹. So wurden Defizite der Personenidentifikation eher nach

¹Die Zeichentrickfiguren im Experiment 4 wurden als Stellvertreter für Personen und damit als visuelles Pendant zu den menschlichen Stimmen der anderen Experimente verwendet und deren Identifizierung als analog zur Gesichtererkennung betrachtet. Zumindest in den wesentlichen Aspekten unterliegen Comicfiguren und reale Personen ähnlichen Verarbeitungsmechanismen. Gesichter von Comicfiguren aktivieren wie reale Gesichter das fusiforme Gesichtsareal (Tong et al., 2000), Name-Bild-Verifikationsaufgaben mit Zeichentrickfiguren werden genauso wie mit Gesichtern schneller beantwortet als

rechts- als nach linkshemisphärischen Läsionen beschrieben (Ellis et al., 1989; Thompson et al., 2004; Tranel et al., 1997), ebenso Defizite der Gesichter- und Stimmenerkennung (Gainotti, 2011b). Auch an der Verarbeitung von Stimmen durch gesunde Probanden ist die rechte Hemisphäre stärker beteiligt als die linke Hirnhälfte (Belin & Zatorre, 2003; von Kriegstein et al., 2003) und posteriore Bereiche der rechten Hirnhälfte sind stärker aktiviert als homologe kontralaterale Regionen, wenn Gesichter wahrgenommen werden (Kanwisher et al., 1997a; McCarthy et al., 1997).

Die Identifikation von Tieren, Musikinstrumenten und Obst und Gemüse erzeugte in der vorliegenden Untersuchung ebenfalls ein rechts-hemisphärisch stärkeres Signal. Auch dies entspricht weitgehend den Ergebnissen anderer Studien. Wenn bei der Verarbeitung natürlicher Objekte Hemisphärenunterschiede bestanden, tendierten diese in Richtung der rechten Hirnhälfte. Vielfach deutete sich jedoch eine bilaterale Repräsentation an. So weisen Patienten mit Herpes-Simplex-Enzephalitis und daher bilateralen Schädigungen der Temporallappen häufig kategoriespezifische Störungen für natürliche Objekte auf (Capitani et al., 2003; Lambon Ralph et al., 2007). Studien, die explizit die Läsionsdaten von Patienten mit Defiziten der Verarbeitung natürlicher Objekte untersuchten, fanden diese Defizite entweder sowohl nach rechts- als auch nach linksseitigen Läsionen (Tranel et al., 1997) oder im Zusammenhang mit rechtsseitigen Schädigungen (Brambati et al., 2006). Eine Meta-Analyse funktioneller Bildgebungsdaten zeigte ebenfalls bilaterale Aktivierungen mit leichter Asymmetrie zugunsten der rechten Hemisphäre (Chouinard & Goodale, 2010). Lediglich die Verarbeitung künstlicher Objekte wie Werkzeuge scheint primär in der linken Hirnhälfte zu erfolgen (Chouinard & Goodale, 2010; Lewis, 2006; Noppeney, 2008; Tranel et al., 1997). Gainotti (2011a) argumentiert, dass Unterschiede in den zugrundeliegenden Merkmalen dafür verantwortlich sind, dass bestimmte semantische Kategorien linkslateralisiert verarbeitet werden und andere eher bilateral. Die Verarbeitung von Konzepten, die sich besonders über perzeptuelle Merkmale definieren, wie von der sensorisch-funktionellen Theorie für natürliche Objekte angenommen wurde (Silveri & Gainotti, 1988; Warrington & Shallice, 1984), erfolgt deshalb bilateral, weil die sensorischen Systeme zur Perzeption dieser Objekte bilateral angelegt sind (visuelles oder auditorisches System). Die Verarbeitung von Konzepten, die auf motori-

Aufgaben mit allgemeinen Objekten (Grelotti et al., 2005) und der Abruf der Namen von Zeichentrickfiguren ist im Vergleich zu Gattungsnamen ebenso erschwert wie der Abruf von Namen realer Personen (Brédart & Valentine, 1998; Fogler & James, 2007; Fogler et al., 2010).

schen Merkmalen basieren (z. B. Werkzeuge), erfolgt dagegen analog zur Lateralisierung motorischer Funktionen (z. B. Händigkeit) stärker unilateral (Gainotti, 2011a). Obwohl Musikinstrumente künstlich hergestellte Objekte sind, die mit charakteristischen Bewegungen bedient werden, sind Störungen der Verarbeitung von Musikinstrumenten nicht selten mit Störungen der Verarbeitung natürlicher Objekte assoziiert (siehe Capitani et al., 2003; Gainotti, 2000). Vielleicht ist dies deshalb so, weil für die Mehrzahl aller Menschen der Kontakt zu Instrumenten immer eher perzeptueller als motorischer Natur war. Allgemein lässt sich über die bilaterale Repräsentation zugrundeliegender Merkmale zwar begründen, weshalb die präsentierten Stimuli ein bilaterales und kein linkslateralisiertes Aktivierungsmuster erzeugten, weshalb es jedoch zu einer stärker rechtsseitigen Aktivität kam, ist damit nicht zu erklären (siehe jedoch Abschnitt *Hemisphärenunterschiede die Familiarität der Stimuli betreffend*).

Linkshemisphärisch größere Unterschiede zwischen den semantischen Kategorien Im Gegensatz zum rechtshemisphärisch stärkeren Signal fielen linkslateral die Signalunterschiede zwischen den semantischen Kategorien größer aus. Im Experiment 3 war der Selektivitätsindex, der den Unterschied zwischen den menschlichen Stimmen und den Tieren und Musikinstrumenten erfasst, in zwei ROIs linksseitig größer als in den homologen kontralateralen Arealen. Sonst bestanden in diesem Experiment kaum Hemisphärenunterschiede in der Signaldifferenz zwischen zwei Bedingungen. Im Experiment 4 war dagegen sowohl anhand der Selektivitätsindizes als auch des direkten Kontrasts festzustellen, dass die Signaldifferenz zwischen den Comicfiguren und den Tieren und Obst- und Gemüsesorten linksseitig größer war. Der Signalunterschied zwischen den Tieren und dem Obst und Gemüse, der ohnehin gering war, unterschied sich jedoch nicht zwischen den Hemisphären. In beiden Experimenten differenzierte somit die linke Hemisphäre stärker zwischen individuellen (Personen und Comicfiguren) und kategoriellen Konzepten (Tieren, Musikinstrumenten, Obst und Gemüse).

Zur Erklärung funktioneller Hemisphärenunterschiede existieren diverse Lateralitätsmodelle. So wurde angenommen, dass die rechte Hemisphäre Objekte global, konfigural oder mit niedriger Auflösung verarbeitet und daher die Objektform ganzheitlich wahrnimmt, die linke Hemisphäre dagegen Objekte lokal, analytisch und mit hoher Auflösung verarbeitet und daher einzelne Merkmale detailliert analysiert (siehe Dien, 2008, 2009). Diese Modelle wurden dahingehend interpretiert, dass die rechte Hemisphäre Objekte auf einer übergeordneteren Ebene, der Basisebene, verarbeitet, die linke Hemisphäre auf untergeordneter Ebene (Studer

& Hübner, 2008). In der vorliegenden Untersuchung war zwar bei allen Stimulusarten das Signal rechtshemisphärisch größer und erzeugten die Individuen (untergeordnete Ebene) in beiden Hemisphären höheren Signalintensitäten als die kategoriellen Konzepte (Basisebene), da aber die Differenzierung zwischen über- und untergeordneten Konzepten stärker links lateral erfolgte, sind die Daten durchaus kompatibel mit der Interpretation von Studer & Hübner (2008). Andere Studien, die die Verarbeitung von Objekten auf unter- und übergeordneter Ebene verglichen haben, fanden im Gegensatz dazu jedoch einen Zusammenhang von untergeordneter Verarbeitung und der rechten Hemisphäre (González & McLennan, 2007, 2009; González et al., 2010; Laeng et al., 2003; Marsolek, 1999; Marsolek & Burgund, 2008). Anhand von Priming-Experimenten mit lateralisierter Darbietung der Stimuli wurde gezeigt, dass die Klassifikation von Objekten in der linken Hemisphäre auf einer übergeordneten Ebene erfolgt (Priming zwischen verschiedenen Objekten einer Kategorie, z. B. *Flügel – Klavier*), in der rechten Hemisphäre jedoch auf untergeordneter Ebene (Priming nur bei identischem Objekt). Die Theorie der dissoziierenden neuronalen Subsysteme (Marsolek, 1999) geht daher davon aus, dass die rechte Hemisphäre Objekte als spezifische Exemplare identifiziert, die linke Hemisphäre aber in Form abstrakter Kategorien. Die präsentierten Daten lassen sich mit dieser Theorie nur insofern vereinbaren, als die Individuen in der rechten Hemisphäre zu einer stärkeren Aktivität führten als in der linken Hemisphäre, die größere Differenz zwischen Individuen und Kategorien in der linken Hemisphäre lässt sich mit dieser Theorie aber nicht erklären.

Hemisphärenunterschiede die Familiarität der Stimuli betreffend

Im Abschnitt *Rechtshemisphärisch stärkere Aktivierung der semantischen Kategorien* wurde beschrieben, dass nahezu alle Stimuli rechtshemisphärisch ein stärkeres Signal erzeugten, eine Beobachtung, die auch anderen Studien entspricht. Über die Bilateralität der sensorischen Systeme wurde begründet, weshalb bestimmte Objekte bilateral repräsentiert sind, die Dominanz der rechten Hemisphäre wurde jedoch nicht erklärt. Hinweis auf die Ursache für diesen rechtshemisphärischen Vorteil gibt die leicht variable Ausprägung der Hemisphärendominanz in Abhängigkeit von der Familiarität der Stimuli und der Reaktionszeit. Bei bekannteren Stimuli war der rechtshemisphärische Vorteil weniger deutlich als bei unbekannteren Stimuli und bei Stimuli mit langer Reaktionszeit geringer als bei Stimuli mit kurzer Reaktionszeit. Stattdessen zeigte sich vereinzelt auch ein linkshemisphärischer Vorteil. Stimuli, bei denen Wortformen abgerufen wurden und möglicherweise intensivere lexikalische Suchprozesse statt-

fanden (längere Reaktionszeiten), reduzierten offenbar den Vorteil der rechten Hemisphäre. Außerdem fielen Signalunterschiede zwischen benannten und nicht benannten Stimuli oftmals linkshemisphärisch größer aus. Benannte Stimuli erzeugten zwar in beiden Hemisphären ein stärkeres Signal als nicht benannte Stimuli, die direkte Signaldifferenz und der Selektivitätsindex waren jedoch linkshemisphärisch größer und zeigten an, dass die linke Hemisphäre stärker zwischen benannten und nicht benannten Stimuli differenzierte als die rechte Hemisphäre. Obwohl beide Hemisphären als wesentlich für die semantische Verarbeitung erachtet werden (Lambon Ralph et al., 2010a; Pobric et al., 2010a), wird vielfach für Hemisphärenunterschiede aufgrund von Prozessen der Wortformverarbeitung argumentiert. Steht die Identifikation von Perzepten im Vordergrund der Verarbeitung, dominiert die rechte Hemisphäre, werden dagegen Wortformen oder Namen zur Identifikation präsentiert oder ist der Abruf von Wörtern und Namen gefordert, ist die linke Hemisphäre stärker an der Verarbeitung beteiligt (Butler et al., 2009; Drane et al., 2008; Glosser et al., 2003; Mion et al., 2010; Snowden et al., 2004). Die Funktion der rechten Hemisphäre wird daher darin gesehen, zu wahrgenommenen Objekten semantische Informationen abzurufen, die Funktion der linken Hemisphäre aber darin, Wortformen und semantische Informationen zu verknüpfen, entweder rezeptiv beim Verstehen von Namen oder produktiv beim Abruf der Namen (Damasio et al., 2004; Gainotti, 2007; Thierry & Price, 2006). Entsprechend unterschied sich die Signalintensität verschiedener Bedingungen nicht immer nur stärker in der linken Hemisphäre. Im Experiment 2 war die Differenz zwischen benannten und nicht benannten Stimmen zwar linksseitig größer, die Differenz zwischen verschiedenen Arten unbekannter Stimmen aber in der rechten Hirnhälfte. Möglicherweise ist das Signal bekannterer Stimuli deshalb in der rechten Hemisphäre höher als das Signal unbekannter Stimuli, weil die Hirnhälfte versucht, semantische Informationen über die Objekte abzurufen. Gelingt dies oder besteht Aussicht auf ein Gelingen, werden mehr neuronale Ressourcen aktiviert als bei völlig unbekanntem Stimuli. In der linken Hemisphäre ist dann möglicherweise das Signal benannter Stimuli höher als das Signal unbekannter Stimuli, weil diese Hirnhälfte primär bei bekannten Stimuli versucht, die passende Wortform abzurufen.

In der vorliegenden Studie ließ sich jedoch bis auf eine Ausnahme kein echter Vorteil der linken Hemisphäre feststellen. Vielmehr war bei fast allen Stimuli die rechte Hemisphäre stärker aktiviert. Der Vorteil war nur etwas weniger deutlich, wenn Stimuli benannt werden konnten oder das Benennen etwas verzögert erfolgte. Da Benennaufgaben sowohl der semantischen Identifizierung als auch des Wortabrufs bedürfen, könnte die

Ursache für diese Rechtsdominanz darin bestehen, dass die eher rechtslateral stattfindende Identifizierung größere neuronale Ressourcen beanspruchte als der eher linkshemisphärisch erfolgende Wortabruf. Wird der Anspruch an Wortabrufprozesse jedoch größer oder ist er größer als an Prozesse der semantischen Identifizierung, könnte sich der Vorteil von der rechten auf die linke Hemisphäre verschieben. Die vorliegende Studie bietet Hinweise aus zwei Richtungen, dass diese Vermutung stimmen könnte. Zum einen erzeugten benannte Stimuli einen weniger ausgeprägten Vorteil der rechten Hemisphäre als unbekannte Stimuli, möglicherweise deshalb, weil durch den Wortabruf die Relevanz der linken Hemisphäre bei den benannten Stimuli zunahm. Den anderen Hinweis liefert Experiment 4, in dem Hemisphärenvorteile mal zugunsten der rechten und mal zugunsten der linken Hirnhälfte ausfielen. Bei den Tieren und dem Obst und Gemüse erzeugten die schnell benannten Abbildungen einen deutlichen Vorteil der rechten Hemisphäre, was sich als Hinweis darauf interpretieren ließe, dass der Wortabruf verhältnismäßig leicht gelang. Bei den langsam benannten Früchten war immer noch ein leichter Vorteil der rechten Hemisphäre festzustellen, als Hinweis darauf, dass der Wortabruf im Verhältnis zur Identifizierung nur minimal schwerer geworden ist. Außerdem war die Differenz zwischen beiden Bedingungen in beiden Hemisphären annähernd gleich. Bei den langsam benannten Tieren war kein Unterschied zwischen den Hemisphären festzustellen, als Hinweis darauf, dass der Wortabruf im Verhältnis zur Identifizierung etwas schwerer geworden ist. Da das Signal nur der schnell benannten Tiere links kleiner war, unterschied es sich dort deutlicher vom stärkeren Signal der langsam benannten Tiere, so dass die Differenz zwischen beiden Bedingungen linkshemisphärisch größer war, was erneut ein Hinweis darauf sein könnte, dass der Wortabruf bei den schnell benannten Tieren leichter war als bei den langsam benannten Tieren. Die Comicfiguren wurden von den drei Bedingungen am langsamsten benannt. Die langsam benannten Figuren verursachten wie die langsam benannten Tiere und Früchte nur einen leichten rechtshemisphärischen Vorteil, möglicherweise deshalb, weil linkshemisphärisch stattfindende lexikalische Suchprozesse eine starke rechtshemisphärische Dominanz verhinderten. Überraschenderweise erzeugten schnell benannte Figuren jedoch eine deutlich linksdominante Aktivität. Um die begonnene Erklärung fortzuführen, müsste argumentiert werden, dass der Wortabruf bei den schnell benannten Stimuli schwerer war als bei den langsam benannten Stimuli. Das erscheint wenig plausibel. Wahrscheinlicher ist, dass das Verhältnis der Schwere des Wortabrufs zur Schwere der semantischen Identifizierung den entscheidenden Faktor zur Bestimmung der dominanten Hemisphäre darstellt und bei den

schnell benannten Comicfiguren die Identifizierung verglichen mit dem Abruf der Eigennamen verhältnismäßig leicht gelang. Bei den langsam benannten Comicfiguren stieg besonders der Schweregrad der Identifizierung an, was den leichten Vorteil der rechten Hemisphäre erklären würde. Da das Signal nur der schnell benannten Comicfiguren rechts kleiner war, unterschied es sich dort deutlicher vom stärkeren Signal der langsam benannten Comicfiguren. Dadurch war die Differenz zwischen beiden Bedingungen rechtshemisphärisch größer, was ebenfalls bedeuten könnte, dass das Identifizieren der schnell benannten Comicfiguren leichter war als das der langsam benannten Figuren.

Die vorliegenden Daten erlauben jedoch nicht, zwischen semantischen und lexikalischen Suchprozessen zu differenzieren, weshalb diese Erklärungen spekulativer Natur sind. Da aber auch aus anderer Richtung Hinweise darauf existieren, dass die rechte Hemisphäre beim Benennen von Objekten stärker an semantischen Prozessen beteiligt ist und die linke Hemisphäre an lexikalischen Prozessen (Damasio et al., 2004; Gainotti, 2007; Mion et al., 2010), sprechen die präsentierten Ergebnisse dafür, dass das Verhältnis des Schweregrads der semantischen oder lexikalischen Subprozesse einer Aufgabe darüber entscheidet, ob ein rechts- oder links-hemisphärischer Vorteil festzustellen ist.

Hemisphärenunterschiede sämtliche Stimuli betreffend Sämtliche Ergebnisse zusammen ergaben folgendes Muster: Die rechte Hemisphäre war bei der Verarbeitung der Stimuli stärker aktiviert als die linke Hemisphäre (mit Ausnahme der schnell benannten Comicfiguren), die linke Hemisphäre differenzierte deutlicher zwischen individuellen und kategorialen Konzepten sowie zwischen benannten und nicht benannten Stimuli. Neben der Erklärung, dass die rechte Hemisphäre für die semantische Identifikation wesentlich ist und die linke Hemisphäre für den Wortabruf, existieren weitere Lateralisierungsmodelle (siehe Dien, 2008, 2009), die einige der Daten erfassen können. Die Theorie der dissoziierenden neuronalen Systeme (Marsolek, 1999, siehe Abschnitt *Linkshemisphärisch größere Unterschiede zwischen den semantischen Kategorien*) scheitert daran, dass sie eine Präferenz der rechten Hemisphäre für die Verarbeitung auf untergeordneter Ebene vorhersagt, wohingegen die aktuellen Daten für eine Präferenz der linken Hemisphäre sprechen. Eine andere Theorie besagt, dass in der rechten Hemisphäre unbekannte Stimuli verarbeitet werden, linkshemisphärisch aber familiäre Stimuli (Goldberg & Costa, 1981). Dies passt zu der Beobachtung, dass die linke Hemisphäre stärker zwischen benannten und unbekanntem Stimuli differenzierte als die rechte Hirnhälfte. Diese Theorie bietet jedoch keine Erklärung für die Aktivie-

rungsunterschiede zwischen individuellen und kategoriellen Konzepten. Am besten entspricht den Daten die Theorie, die zwischen semantischen Prozessen der rechten Hemisphäre und verbalen Prozessen der linken Hemisphäre differenziert. Die rechte Hemisphäre ist stärker involviert, wenn semantische Informationen für ein visuell oder auditiv präsentiertes Objekt abgerufen werden und dies besonders mühevoll ist (Individuen > kategorielle Konzepte) oder mehr Informationen repräsentiert sind (bekannt > unbekannt). Die linke Hemisphäre ist stärker involviert, wenn Wortformen abgerufen werden (benannt > unbekannt) und dies mühevoll ist (langsam benannt > schnell benannt, Eigennamen > Gattungsnamen). Je nach Schweregrad beider Prozesse liegt dann ein Vorteil der rechten oder linken Hemisphäre vor.

Dieses Modell erklärt zwar die vorliegenden Daten, es lässt sich aber nicht auf nichtsprachliche Kontexte anwenden. Die Ergebnisse sind jedoch auch ohne Rückgriff auf lexikalische Prozesse zu interpretieren. Brambati et al. (2010) konnten zeigen, dass der linke anteriore Temporalkortex trotz identischer Ansprüche an Wortabrufprozesse unterschiedlich stark reagiert, wenn semantisch allgemeinere mit semantisch spezifischer Verarbeitung kontrastiert wird. Die vorliegenden Ergebnisse sind daher auch damit zu erklären, dass die linke Hemisphäre spezifischere Identifizierungsprozesse ausführt als die rechte Hemisphäre. Je genauer und detaillierter die Analyse erfolgt (Individuen > kategorielle Konzepte, benannte > unbekannte Stimuli) und je mehr neuronale Ressourcen auf diese Analyse verwendet werden müssen (langsam > schnell benannte Stimuli), desto eher kommt es zu einer linksdominanten Aktivierung. Diese Erklärungen gehen konform mit der Global-Lokal-Theorie und ähnlichen Modellen (Dien, 2008, 2009; Studer & Hübner, 2008), die annehmen, dass die linke Hemisphäre Objekte sehr detailliert analysiert, was nötig ist, um Individuen zu identifizieren und Objekte zu benennen. Aus der Annahme, dass die rechte Hemisphäre Objekte ganzheitlich erfasst, lassen sich keine genauen Vorhersagen für die beschriebenen Experimente ableiten, ein der linken Hemisphäre ähnliches Muster wird jedoch nicht ausgeschlossen. Problematisch für diese Modelle ist aber, dass schnell benannte Comicfiguren ein stärker linkslateralisiertes Muster erzeugten als langsam benannte Comicfiguren, schnell benannte Tiere dagegen stärker rechtslateralisierte Aktivität als langsam benannte Tiere. Um diese Lateralitätsverschiebungen in beide Richtungen erklären zu können, müssen für beide Hemisphären unterschiedliche Funktionen angenommen werden, die aufeinander aufbauen, indem die rechte Hemisphäre der linken Hemisphäre vorgeschaltete Prozesse übernimmt (hier: rechts/links = perceptuell/semantisch oder rechts/links = semantisch/lexikalisch). Nur so

ist zu erklären, dass bei Zunahme der Bekanntheit nur eine Lateralitätsverschiebung nach links stattfinden kann, in Abhängigkeit von der Schwere der perzeptuellen oder semantischen Prozesse der rechten Hemisphäre im Verhältnis zu den semantischen oder lexikalischen Prozesse der linken Hemisphäre aber ein Lateralitätswechsel nach rechts und links.

7. Ausblick

Die Ergebnisse dieser Arbeit haben insgesamt mehr Fragen aufgeworfen als tatsächlich klären können. Zwar deuten die Daten und auch die Erkenntnisse aus anderen Studien in Bezug auf die im Abschnitt 3 dargestellten Hypothesen jeweils in eine bestimmte Richtung, eindeutige Antworten gibt es jedoch kaum. So sprechen die Daten zwar dafür, dass der anteriore Temporallappen modalitätsunabhängig Informationen über Personen verarbeitet, da analoge visuelle Stimuli zu einem ganz ähnlichen Aktivierungsmuster in dieser Region führten, die Frage, ob es sich dabei um amodale oder multimodale Informationsverarbeitung handelt, ist jedoch nicht zu beantworten. Um die bestehenden Erkenntnisse zu festigen und zu erweitern, bieten sich folgende weiterführende Untersuchungen an:

- Die auditiven und visuellen Experimente sollten in einem zusammengefassten Experiment mit identischen Konzepten und Präsentationsbedingungen für beide Modalitäten wiederholt werden, indem beispielsweise Stimmen und Gesichter von Personen präsentiert werden, sowie Abbildungen und Geräusche derselben Kontrollstimuli. Dabei wäre es nötig, Messsequenzen zu verwenden, die in der Lage sind, Aktivität im ventralen ATL zu erfassen, so dass die Parallelität oder auch Unterschiede des auditiven und visuellen ventralen Verarbeitungsweges noch genauer untersucht werden können. Darüber hinaus wäre es günstig, eine weitere visuell und auditiv zu präsentierende Kategorie von individuellen Konzepten zu finden, deren Mitglieder keine Personen oder deren Stellvertreter sind, sondern bestmöglich Objekte, mit denen keine soziale Interaktion stattfinden kann. Nur so lässt sich eindeutig zwischen der Theorie differenzieren, dass der anteriore Temporalkortex Informationen über Personen verarbeitet, und der Theorie, dass in dieser Region Individuen sämtlicher Kategorien repräsentiert sind. Eventuell könnte dies in einem Lernexperiment umgesetzt werden, bei dem Semantik, Wortform, akustische und visuelle Struktur von künstlichen Objekten trainiert werden.
- Ein weiterer Ansatz besteht darin, die in dieser Studie identifizierten Merkmale zu variieren, die die Aktivierungen im anterioren Tem-

porallappen ausgelöst haben könnten. Dabei handelt es sich zum einen um die Tiefe der semantischen Verarbeitung. Objekte lassen sich nicht nur als Individuen und Konzepte der Basisebene erkennen, sondern auch auf weiteren über- und untergeordneten Ebenen. Wenn der ATL für die detaillierte semantische Analyse wesentlich ist, sollte diese Variation zu unterschiedlich starker Aktivität führen. Zum anderen müsste das Merkmal der persönlichen Relevanz innerhalb einer semantischen Kategorie variiert werden. Auf diese Weise ließe sich feststellen, ob die Verarbeitung von Personen deshalb zu Aktivierung im anterioren Temporalkortex führt, weil diese eine hohe persönliche Relevanz besitzen oder ob es die Tatsache ist, dass es sich um ein Individuum handelt, unabhängig von deren Stellenwert im Leben von Menschen. Umsetzen ließe sich dies, indem persönlich bekannte mit berühmten Personen kontrastiert werden oder individuelle Relevanzwerte der Stimuli mit der neuronalen Aktivität korreliert würden. Diese Untersuchungen könnten außerdem dazu genutzt werden, um die Annahme zu bestätigen oder zu widerlegen, dass der anteriore Temporallappen in einen ventromedialen Bereich zur detaillierten semantischen Analyse und einen dorsolateralen Bereich zur Verarbeitung sozialer und persönlich relevanter Konzepte untergliedert ist.

- Die aktuelle Studie war auch nicht eindeutig in der Lage, zwischen perzeptuellen, semantischen und lexikalischen Prozesse zu differenzieren, wobei sich aber andeutete, dass die rechte der linken Hemisphäre vorgeschaltete Prozesse übernimmt. Um bei gesunden Probanden zwischen einzelnen Schritten eines sehr schnell ablaufenden Identifizierungsvorgangs zu unterscheiden, ist es wahrscheinlich nötig, die räumlich hochauflösende fMRT durch Methoden mit hoher zeitlicher Auflösung zu ergänzen.
- Ein Auswertungsproblem der vorliegenden Untersuchung besteht darin, dass quaderförmige Interesseregionen definiert wurden, die trotz sorgfältiger Anpassung an die Anatomie des superioren Temporal sulcus nur eine grobe Lokalisierung der neuronalen Aktivität erlauben. Visualisierungsmethoden, die in der Lage sind, Veränderungen von Signaldifferenzen zwischen verschiedenen Bedingungen für jedes einzelne Voxel sichtbar zu machen, könnten den Verlauf des in dieser Studie identifizierten Gradienten vom primärauditorischen Kortex zum anterioren Temporallappen noch klarer abbilden.
- Der Fokus dieser Studie lag auf der Auswertung der neuronalen Aktivität im anterioren Temporallappen, die durch die Verarbeitung

von Individuen im Vergleich zu kategoriellen Konzepten ausgelöst wurde. Aktivität war jedoch auch in anderen Hirnregionen festzustellen, z. B. im medialen Kortex. Im medialen präfrontalen Kortex und im Präcuneus zeigte sich eine noch deutlichere Präferenz für benannte Individuen als im anterioren Temporalkortex, im präsupplementärmotorischen Kortex eine klare Abhängigkeit der Aktivität von der Benennungsgeschwindigkeit. Schließlich erzeugten auch die kategoriellen Konzepte in einigen Arealen einen Aktivierungsvorteil gegenüber den Individuen (z. B. im posterioren MTG/ITG oder im Präfrontalkortex). Diese Analysen könnten ebenfalls dabei helfen, die in dieser Studie beschriebenen Aktivierungen besser zu verstehen.

Literaturverzeichnis

- Acres, K., Taylor, K. I., Moss, H. E., Stamatakis, E. A. & Tyler, L. K. (2009). Complementary hemispheric asymmetries in object naming and recognition: a voxel-based correlational study. *Neuropsychologia*, 47(8-9), 1836–1843.
- Adams, R. B. & Janata, P. (2002). A comparison of neural circuits underlying auditory and visual object categorization. *NeuroImage*, 16(2), 361–377.
- Adolphs, R. (2010). What does the amygdala contribute to social cognition? *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1191(1), 42–61.
- Ahveninen, J., Jääskeläinen, I. P., Raij, T., Bonmassar, G., Devore, S., Hämäläinen, M., Levänen, S., Lin, F.-H., Sams, M., Shinn-Cunningham, B. G., Witzel, T. & Belliveau, J. W. (2006). Task-modulated “what” and “where” pathways in human auditory cortex. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 103(39), 14608–14613.
- Alain, C., Arnott, S. R., Hevenor, S., Graham, S. & Grady, C. L. (2001). “What” and “where” in the human auditory system. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 98(21), 12301–12306.
- Alger, J. R. (2002). Magnetic resonance imaging (MRI). In: V. S. Ramachandran (Hrsg.). *Encyclopedia of the Human Brain*, Vol. 2, S. 729–744. San Diego, CA: Academic Press.
- Allerton, D. J. (1987). The linguistic and sociolinguistic status of proper names: what are they, and who do they belong to? *Journal of Pragmatics*, 11(1), 61–92.
- Altarriba, J., Bauer, L. M. & Benvenuto, C. (1999). Concreteness, context availability, and imageability ratings and word associations for abstract, concrete, and emotion words. *Behavior Research Methods, Instruments, & Computers*, 31(4), 578–602.
- Altmann, C. F., Bledowski, C., Wibral, M. & Kaiser, J. (2007a). Processing of location and pattern changes of natural sounds in the human auditory cortex. *NeuroImage*, 35(3), 1192–1200.
- Altmann, C. F., Doehrmann, O. & Kaiser, J. (2007b). Selectivity for animal vocalizations in the human auditory cortex. *Cerebral Cortex*, 17(11), 2601–2608.
- Andics, A., McQueen, J. M., Petersson, K. M., Gál, V., Rudas, G. & Vidnyánszky, Z. (2010). Neural mechanisms for voice recognition. *NeuroImage*, 52(4), 1528–1540.
- Aralasmak, A., Ulmer, J. L., Kocak, M., Salvan, C. V., Hillis, A. E. & Yousem, D. M. (2006). Association, commissural, and projection pathways and their functional deficit reported in literature. *Journal of Computer Assisted Tomography*, 30(5), 695–715.

- Assmus, A., Giessing, C., Weiss, P. H. & Fink, G. R. (2007). Functional interactions during the retrieval of conceptual action knowledge: an fMRI study. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 19(6), 1004–1012.
- Awad, M., Warren, J. E., Scott, S. K., Turkheimer, F. E. & Wise, R. J. S. (2007). A common system for the comprehension and production of narrative speech. *The Journal of Neuroscience*, 27(43), 11455–11464.
- Bar, M., Tootell, R. B. H., Schacter, D. L., Greve, D. N., Fischl, B., Mendola, J. D., Rosen, B. R. & Dale, A. M. (2001). Cortical mechanisms specific to explicit visual object recognition. *Neuron*, 29(2), 529–535.
- Barbarotto, R., Capitani, E., Spinnler, H. & Trivelli, C. (1995). Slowly progressive semantic impairment with category specificity. *Neurocase*, 1(2), 107–119.
- Barbas, H. (2007). Flow of information for emotions through temporal and orbitofrontal pathways. *Journal of Anatomy*, 211(2), 237–249.
- Barensse, M. D., Henson, R. N. A., Lee, A. C. H. & Graham, K. S. (2010a). Medial temporal lobe activity during complex discrimination of faces, objects, and scenes: effects of viewpoint. *Hippocampus*, 20(3), 389–401.
- Barensse, M. D., Rogers, T. T., Bussey, T. J., Saksida, L. M. & Graham, K. S. (2010b). Influence of conceptual knowledge on visual object discrimination: insights from semantic dementia and MTL amnesia. *Cerebral Cortex*, 20(11), 2568–2582.
- Baron, S. G. & Osherson, D. (2011). Evidence for conceptual combination in the left anterior temporal lobe. *NeuroImage*, 55(4), 1847–1852.
- Barrett, D. J. K. & Hall, D. A. (2006). Response preferences for “what” and “where” in human non-primary auditory cortex. *NeuroImage*, 32(2), 968–977.
- Barsalou, L. W., Simmons, W. K., Barbey, A. K. & Wilson, C. D. (2003). Grounding conceptual knowledge in modality-specific systems. *Trends in Cognitive Sciences*, 7(2), 84–91.
- Barsics, C. & Brédart, S. (2011). Recalling episodic information about personally known faces and voices. *Consciousness and Cognition*, 20(2), 303–308.
- Bartels, A. & Zeki, S. (2000). The architecture of the colour centre in the human visual brain: new results and a review. *The European Journal of Neuroscience*, 12(1), 172–193.
- Bartolomeo, P. (2002). The relationship between visual perception and visual mental imagery: a reappraisal of the neuropsychological evidence. *Cortex*, 38(3), 357–378.
- Bartolomeo, P., Bachoud-Lévi, A. C., De Gelder, B., Denes, G., Dalla Barba, G., Brugières, P. & Degos, J. D. (1998). Multiple-domain dissociation between impaired visual perception and preserved mental imagery in a patient with bilateral extrastriate lesions. *Neuropsychologia*, 36(3), 239–249.
- Barton, J. J. & Cherkasova, M. (2003). Face imagery and its relation to perception and covert recognition in prosopagnosia. *Neurology*, 61(2), 220–225.

- Barton, J. J., Press, D. Z., Keenan, J. P. & O'Connor, M. (2002). Lesions of the fusiform face area impair perception of facial configuration in prosopagnosia. *Neurology*, *58*(1), 71–78.
- Baumgart, F., Kaulisch, T., Tempelmann, C., Gaschler-Markefski, B., Tegeler, C., Schindler, F., Stiller, D. & Scheich, H. (1998). Electrodynamical headphones and woofers for application in magnetic resonance imaging scanners. *Medical Physics*, *25*(10), 2068–2070.
- Bavelier, D., Corina, D., Jezzard, P., Padmanabhan, S., Clark, V. P., Karni, A., Prinster, A., Braun, A., Lalwani, A., Rauschecker, J. P., Turner, R. & Neville, H. (1997). Sentence reading: a functional MRI study at 4 Tesla. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *9*(5), 664–686.
- Beauchamp, M. S., Haxby, J. V., Rosen, A. C. & DeYoe, E. A. (2000). A functional MRI case study of acquired cerebral dyschromatopsia. *Neuropsychologia*, *38*(8), 1170–1179.
- Beauchamp, M. S., Lee, K. E., Haxby, J. V. & Martin, A. (2002). Parallel visual motion processing streams for manipulable objects and human movements. *Neuron*, *34*(1), 149–159.
- Bechara, A., Damasio, H. & Damasio, A. R. (2000). Emotion, decision making and the orbitofrontal cortex. *Cerebral Cortex*, *10*(3), 295–307.
- Bedny, M. & Caramazza, A. (2011). Perception, action, and word meanings in the human brain: the case from action verbs. *Annals of the New York Academy of Sciences*, *1224*(1), 81–95.
- Bedny, M., Caramazza, A., Grossman, E., Pascual-Leone, A. & Saxe, R. (2008). Concepts are more than percepts: the case of action verbs. *The Journal of Neuroscience*, *28*(44), 11347–11353.
- Beese, M. & Kooijman, H. (1997). Allgemeine Grundlagen der Kernspintomographie. In: M. Beese & G. Winkler (Hrsg.). *MRT der Muskulatur: Indikationen und Bildinterpretation bei neuromuskulären Erkrankungen, Traumata und Tumoren*, S. 19–34. Stuttgart: Thieme.
- Belin, P., Fecteau, S. & Bédard, C. (2004). Thinking the voice: neural correlates of voice perception. *Trends in Cognitive Sciences*, *8*(3), 129–135.
- Belin, P. & Zatorre, R. J. (2003). Adaptation to speaker's voice in right anterior temporal lobe. *Neuroreport*, *14*(16), 2105–2109.
- Belin, P., Zatorre, R. J. & Ahad, P. (2002). Human temporal-lobe response to vocal sounds. *Cognitive Brain Research*, *13*(1), 17–26.
- Belin, P., Zatorre, R. J., Lafaille, P., Ahad, P. & Pike, B. (2000). Voice-selective areas in human auditory cortex. *Nature*, *403*(6767), 309–312.
- Bell, A. H., Hadj-Bouziane, F., Frihauf, J. B., Tootell, R. B. H. & Ungerleider, L. G. (2009). Object representations in the temporal cortex of monkeys and humans as revealed by functional magnetic resonance imaging. *Journal of Neurophysiology*, *101*(2), 688–700.

- Berthier, M. L. (2001). Unexpected brain-language relationships in aphasia: evidence from transcortical sensory aphasia associated with frontal lobe lesions. *Aphasiology*, 15(2), 99–130.
- Bethmann, A., Tempelmann, C., De Bleser, R., Scheich, H. & Brechmann, A. (2007). Determining language laterality by fMRI and dichotic listening. *Brain Research*, 1133(1), 145–157.
- Bi, Y., Wei, T., Wu, C., Han, Z., Jiang, T. & Caramazza, A. (2011). The role of the left anterior temporal lobe in language processing revisited: evidence from an individual with ATL resection. *Cortex*, 47(5), 575–587.
- 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.
- Binder, J. R., Frost, J. A., Hammeke, T. A., Bellgowan, P. S. F., Springer, J. A., Kaufman, J. N. & Possing, E. T. (2000). Human temporal lobe activation by speech and nonspeech sounds. *Cerebral Cortex*, 10(5), 512–528.
- Binder, J. R., Gross, W. L., Allendorfer, J. B., Bonilha, L., Chapin, J., Edwards, J. C., Grabowski, T. J., Langfitt, J. T., Loring, D. W., Lowe, M. J., Koenig, K., Morgan, P. S., Ojemann, J. G., Rorden, C., Szaflarski, J. P., Tivarus, M. E. & Weaver, K. E. (2011). Mapping anterior temporal lobe language areas with fMRI: a multicenter normative study. *NeuroImage*, 54(2), 1465–1475.
- Binder, J. R. & Rao, S. M. (1994). Human brain mapping with functional magnetic resonance imaging. In: A. Kertesz (Hrsg.). *Localization and Neuroimaging in Neuropsychology*, S. 185–212. San Diego, CA: Academic Press.
- Binder, J. R., Swanson, S. J., Hammeke, T. A. & Sabsevitz, D. S. (2008). A comparison of five fMRI protocols for mapping speech comprehension systems. *Epilepsia*, 49(12), 1980–1997.
- Binder, J. R., Westbury, C. F., McKiernan, K. A., Possing, E. T. & Medler, D. A. (2005). Distinct brain systems for processing concrete and abstract concepts. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 17(6), 905–917.
- Binney, R. J., Embleton, K. V., Jefferies, E., Parker, G. J. M. & Lambon Ralph, M. A. (2010). The ventral and inferolateral aspects of the anterior temporal lobe are crucial in semantic memory: evidence from a novel direct comparison of distortion-corrected fMRI, rTMS, and semantic dementia. *Cerebral Cortex*, 20(11), 2728–2738.
- Bird, H., Howard, D. & Franklin, S. (2000). Why is a verb like an inanimate object? Grammatical category and semantic category deficits. *Brain and Language*, 72(3), 246–309.
- Birkett, P. B., Hunter, M. D., Parks, R. W., Farrow, T. F., Lowe, H., Wilkinson, I. D. & Woodruff, P. W. R. (2007). Voice familiarity engages auditory cortex. *Neuroreport*, 18(13), 1375–1378.

- Blaizot, X., Mansilla, F., Insausti, A. M., Constans, J. M., Salinas-Alamán, A., Pró-Sistiaga, P., Mohedano-Moriano, A. & Insausti, R. (2010). The human parahippocampal region: I. Temporal pole cytoarchitectonic and MRI correlation. *Cerebral Cortex*, 20(9), 2198–2212.
- Blumberg, J. & Kreiman, G. (2010). How cortical neurons help us see: visual recognition in the human brain. *The Journal of Clinical Investigation*, 120(9), 3054–3063.
- Blundo, C., Ricci, M. & Miller, L. (2006). Category-specific knowledge deficit for animals in a patient with herpes simplex encephalitis. *Cognitive Neuropsychology*, 23(8), 1248–1268.
- Bonner, M. F., Vesely, L., Price, C. J., Anderson, C., Richmond, L., Farag, C., Avants, B. & Grossman, M. (2009). Reversal of the concreteness effect in semantic dementia. *Cognitive Neuropsychology*, 26(6), 568–579.
- Bookheimer, S. (2002). Functional MRI of language: new approaches to understanding the cortical organization of semantic processing. *Annual Review of Neuroscience*, 25(1), 151–188.
- Boronat, C. B., Buxbaum, L. J., Coslett, H. B., Tang, K., Saffran, E. M., Kimberg, D. Y. & Detre, J. A. (2005). Distinctions between manipulation and function knowledge of objects: evidence from functional magnetic resonance imaging. *Cognitive Brain Research*, 23(2-3), 361–373.
- Bottini, G., Corcoran, R., Sterzi, R., Paulesu, E., Schenone, P., Scarpa, P., Frackowiak, R. S. J. & Frith, C. D. (1994). The role of the right hemisphere in the interpretation of figurative aspects of language: a positron emission tomography activation study. *Brain*, 117(6), 1241–1253.
- Bouvier, S. E. & Engel, S. A. (2006). Behavioral deficits and cortical damage loci in cerebral achromatopsia. *Cerebral Cortex*, 16(2), 183–191.
- Bozeat, S., Lambon Ralph, M. A., Graham, K. S., Patterson, K., Wilkin, H., Rowland, J., Rogers, T. T. & Hodges, J. R. (2003). A duck with four legs: investigating the structure of conceptual knowledge using picture drawing in semantic dementia. *Cognitive Neuropsychology*, 20(1), 27–47.
- Brambati, S. M., Benoit, S., Monetta, L., Belleville, S. & Joubert, S. (2010). The role of the left anterior temporal lobe in the semantic processing of famous faces. *NeuroImage*, 53(2), 674–681.
- Brambati, S. M., Myers, D., Wilson, A., Rankin, K. P., Allison, S. C., Rosen, H. J., Miller, B. L. & Gorno-Tempini, M. L. (2006). The anatomy of category-specific object naming in neurodegenerative diseases. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 18(10), 1644–1653.
- Brambati, S. M., Rankin, K. P., Narvid, J., Seeley, W. W., Dean, D., Rosen, H. J., Miller, B. L., Ashburner, J. & Gorno-Tempini, M. L. (2009). Atrophy progression in semantic dementia with asymmetric temporal involvement: a tensor-based morphometry study. *Neurobiology of Aging*, 30(1), 103–111.

- Brechmann, A., Baumgart, F. & Scheich, H. (2002). Sound-level-dependent representation of frequency modulations in human auditory cortex: a low-noise fMRI study. *Journal of Neurophysiology*, 87(1), 423–433.
- Bredart, S., Barsics, C. & Hanley, J. R. (2009). Recalling semantic information about personally known faces and voices. *European Journal of Cognitive Psychology*, 21(7), 1013–1021.
- Bredart, S. & Valentine, T. (1998). Descriptiveness and proper name retrieval. *Memory*, 6(2), 199–206.
- Breedin, S. D., Saffran, E. M. & Coslett, H. B. (1994). Reversal of the concreteness effect in a patient with semantic dementia. *Cognitive Neuropsychology*, 11(6), 617–660.
- Brennan, J., Nir, Y., Hasson, U., Malach, R., Heeger, D. J. & Pylkkänen, L. (2012). Syntactic structure building in the anterior temporal lobe during natural story listening. *Brain and language*, 120(2), 163–173.
- Bright, P., Moss, H. E. & Tyler, L. K. (2004). Unitary vs multiple semantics: PET studies of word and picture processing. *Brain and Language*, 89(3), 417–432.
- Bruce, V. & Young, A. W. (1986). Understanding face recognition. *British Journal of Psychology*, 77(3), 305–327.
- Buchsbaum, B. R. & D'Esposito, M. (2009). Repetition suppression and reactivation in auditory-verbal short-term recognition memory. *Cerebral Cortex*, 19(6), 1474–1485.
- Buchsbaum, B. R., Olsen, R. K., Koch, P. & Berman, K. F. (2005). Human dorsal and ventral auditory streams subservise rehearsal-based and echoic processes during verbal working memory. *Neuron*, 48(4), 687–697.
- Budinger, E. & Scheich, H. (2009). Anatomical connections suitable for the direct processing of neuronal information of different modalities via the rodent primary auditory cortex. *Hearing Research*, 258(1-2), 16–27.
- Burianova, H. & Grady, C. L. (2007). Common and unique neural activations in autobiographical, episodic, and semantic retrieval. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 19(9), 1520–1534.
- Burke, D. M., MacKay, D. G., Worthley, J. S. & Wade, E. (1991). On the tip of the tongue: what causes word finding failures in young and older adults? *Journal of Memory and Language*, 30(5), 542–579.
- Busigny, T., Graf, M., Mayer, E. & Rossion, B. (2010). Acquired prosopagnosia as a face-specific disorder: ruling out the general visual similarity account. *Neuropsychologia*, 48(7), 2051–2067.
- Busigny, T., Robaye, L., Dricot, L. & Rossion, B. (2009). Right anterior temporal lobe atrophy and person-based semantic defect: a detailed case study. *Neurocase*, 15(6), 485–508.
- Butler, C. R., Brambati, S. M., Miller, B. L. & Gorno-Tempini, M. L. (2009). The neural correlates of verbal and nonverbal semantic processing deficits in neurodegenerative disease. *Cognitive and Behavioral Neurology*, 22(2), 73–80.

- Buxbaum, L. J. & Kalénine, S. (2010). Action knowledge, visuomotor activation, and embodiment in the two action systems. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1191(1), 201–218.
- Cabeza, R. & St Jacques, P. (2007). Functional neuroimaging of autobiographical memory. *Trends in Cognitive Sciences*, 11(5), 219–227.
- Calvert, G. A., Bullmore, E. T., Brammer, M. J., Campbell, R., Williams, S. C. R., McGuire, P. K., Woodruff, P. W. R., Iversen, S. D. & David, A. S. (1997). Activation of auditory cortex during silent lipreading. *Science*, 276(5312), 593–596.
- Campanella, F., D'Agostini, S., Skrap, M. & Shallice, T. (2010). Naming manipulable objects: anatomy of a category specific effect in left temporal tumours. *Neuropsychologia*, 48(6), 1583–1597.
- Canessa, N., Borgo, F., Cappa, S. F., Perani, D., Falini, A., Buccino, G., Tettamanti, M. & Shallice, T. (2008). The different neural correlates of action and functional knowledge in semantic memory: an fMRI study. *Cerebral Cortex*, 18(4), 740–751.
- Capitani, E., Laiacona, M., Mahon, B. Z. & Caramazza, A. (2003). What are the facts of semantic category-specific deficits? A critical review of the clinical evidence. *Cognitive Neuropsychology*, 20(3), 213–261.
- Capitani, E., Laiacona, M., Pagani, R., Capasso, R., Zampetti, P. & Miceli, G. (2009). Posterior cerebral artery infarcts and semantic category dissociations: a study of 28 patients. *Brain*, 132(4), 965–981.
- Cappa, S., Frugoni, M., Pasquali, P., Perani, D. & Zorat, F. (1998a). Category-specific naming impairment for artefacts: a new case. *Neurocase*, 4(4-5), 391–397.
- Cappa, S. F., Perani, D., Schnur, T., Tettamanti, M. & Fazio, F. (1998b). The effects of semantic category and knowledge type on lexical-semantic access: a PET study. *NeuroImage*, 8(4), 350–359.
- Cappe, C., Rouiller, E. M. & Barone, P. (2009). Multisensory anatomical pathways. *Hearing Research*, 258(1-2), 28–36.
- Caramazza, A., Hillis, A. E., Rapp, B. C. & Romani, C. (1990). The multiple semantics hypothesis: multiple confusions? *Cognitive Neuropsychology*, 7(3), 161–189.
- Caramazza, A. & Shelton, J. R. (1998). Domain-specific knowledge systems in the brain the animate-inanimate distinction. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 10(1), 1–34.
- Carmichael, S. T. & Price, J. L. (1996). Connectional networks within the orbital and medial prefrontal cortex of macaque monkeys. *The Journal of Comparative Neurology*, 371(2), 179–207.
- Carney, R. & Temple, C. M. (1993). Prosopagnosia? A possible category-specific anomia for faces. *Cognitive Neuropsychology*, 10(2), 185–185.
- Caspers, S., Zilles, K., Laird, A. R. & Eickhoff, S. B. (2010). ALE meta-analysis of action observation and imitation in the human brain. *NeuroImage*, 50(3), 1148–1167.

- Catani, M., Jones, D. K., Donato, R. & Ffytche, D. H. (2003). Occipito-temporal connections in the human brain. *Brain*, 126(9), 2093–2107.
- Catani, M. & Thiebaut de Schotten, M. (2008). A diffusion tensor imaging tractography atlas for virtual in vivo dissections. *Cortex*, 44(8), 1105–1132.
- Celsis, P., Boulanouar, K., Doyon, B., Ranjeva, J. P., Berry, I., Nespoulous, J. L. & Chollet, F. (1999). Differential fMRI responses in the left posterior superior temporal gyrus and left supramarginal gyrus to habituation and change detection in syllables and tones. *NeuroImage*, 9(1), 135–144.
- Chan, D., Anderson, V., Pijnenburg, Y., Whitwell, J., Barnes, J., Scahill, R., Stevens, J. M., Barkhof, F., Scheltens, P., Rossor, M. N. & Fox, N. C. (2009). The clinical profile of right temporal lobe atrophy. *Brain*, 132(5), 1287–1298.
- Chan, D., Fox, N. C., Scahill, R. I., Crum, W. R., Whitwell, J. L., Leschziner, G., Rossor, A. M., Stevens, J. M., Cipolotti, L. & Rossor, M. N. (2001). Patterns of temporal lobe atrophy in semantic dementia and Alzheimer's disease. *Annals of Neurology*, 49(4), 433–442.
- Chao, L. L., Haxby, J. V. & Martin, A. (1999). Attribute-based neural substrates in temporal cortex for perceiving and knowing about objects. *Nature Neuroscience*, 2(10), 913–919.
- Chao, L. L. & Martin, A. (1999). Cortical regions associated with perceiving, naming, and knowing about colors. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 11(1), 25–35.
- Chatterjee, A. (2010). Disembodying cognition. *Language and Cognition*, 2(1), 79–116.
- Chertkow, H., Bub, D., Deaudon, C. & Whitehead, V. (1997). On the status of object concepts in aphasia. *Brain and Language*, 58(2), 203–232.
- Chouinard, P. A. & Goodale, M. A. (2010). Category-specific neural processing for naming pictures of animals and naming pictures of tools: an ALE meta-analysis. *Neuropsychologia*, 48(2), 409–418.
- Chrysikopoulos, H. S. (2009). *Clinical MR Imaging and Physics*. Berlin: Springer.
- Cipolotti, L., McNeil, J. E. & Warrington, E. K. (1993). Spared written naming of proper nouns: a case report. *Memory*, 1(4), 289–311.
- Cloutier, J., Kelley, W. M. & Heatherton, T. F. (2011). The influence of perceptual and knowledge-based familiarity on the neural substrates of face perception. *Social Neuroscience*, 6(1), 63–75.
- Cohen, M. S. (1996). Rapid MRI and functional applications. In: A. W. Toga & J. C. Mazziotta (Hrsg.). *Brain Mapping: The Methods*, S. 223–255. San Diego, CA: Academic Press.
- Corbetta, M., Miezin, F. M., Dobmeyer, S., Shulman, G. L. & Petersen, S. E. (1991). Selective and divided attention during visual discriminations of shape, color, and speed: functional anatomy by positron emission tomography. *The Journal of Neuroscience*, 11(8), 2383–2402.

- Coslett, H. B. & Saffran, E. M. (1992). Optic aphasia and the right hemisphere: a replication and extension. *Brain and Language*, 43(1), 148–161.
- Crinion, J. T., Lambon Ralph, M. A., Warburton, E. A., Howard, D. & Wise, R. J. S. (2003). Temporal lobe regions engaged during normal speech comprehension. *Brain*, 126(5), 1193–1201.
- Crutch, S. J. & Warrington, E. K. (2003). The selective impairment of fruit and vegetable knowledge: a multiple processing channels account of fine-grain category specificity. *Cognitive Neuropsychology*, 20(3), 355–372.
- Crutch, S. J. & Warrington, E. K. (2005). Abstract and concrete concepts have structurally different representational frameworks. *Brain*, 128(3), 615–627.
- Damasio, A. R. (1985). Prosopagnosia. *Trends in Neurosciences*, 8(1), 132–135.
- Damasio, A. R. (1989). Time-locked multiregional retroactivation: a systems-level proposal for the neural substrates of recall and recognition. *Cognition*, 33(1-2), 25–62.
- Damasio, A. R., Tranel, D. & Damasio, H. (1990). Face agnosia and the neural substrates of memory. *Annual Review of Neuroscience*, 13(1), 89–109.
- Damasio, H., Grabowski, T., Tranel, D., Hichwa, R. D. & Damasio, A. R. (1996). A neural basis for lexical retrieval. *Nature*, 380(6574), 499–505.
- Damasio, H., Tranel, D., Grabowski, T., Adolphs, R. & Damasio, A. (2004). Neural systems behind word and concept retrieval. *Cognition*, 92(1-2), 179–229.
- Damjanovic, L. & Hanley, J. R. (2007). Recalling episodic and semantic information about famous faces and voices. *Memory & Cognition*, 35(6), 1205–1210.
- Davies, K. G., Risse, G. L. & Gates, J. R. (2005). Naming ability after tailored left temporal resection with extraoperative language mapping: increased risk of decline with later epilepsy onset age. *Epilepsy & Behavior*, 7(2), 273–278.
- Davis, M. H. & Johnsrude, I. S. (2003). Hierarchical processing in spoken language comprehension. *The Journal of Neuroscience*, 23(8), 3423–3431.
- Davis, M. H. & Johnsrude, I. S. (2007). Hearing speech sounds: top-down influences on the interface between audition and speech perception. *Hearing Research*, 229(1-2), 132–147.
- Davis, M. H., Meunier, F. & Marslen-Wilson, W. D. (2004). Neural responses to morphological, syntactic, and semantic properties of single words: an fMRI study. *Brain and Language*, 89(3), 439–449.
- De Renzi, E. (2000). Disorders of visual recognition. *Seminars in Neurology*, 20(4), 479–485.
- De Renzi, E., Perani, D., Carlesimo, G. A., Silveri, M. C. & Fazio, F. (1994). Prosopagnosia can be associated with damage confined to the right hemisphere: an MRI and PET study and a review of the literature. *Neuropsychologia*, 32(8), 893–902.
- Dehaene-Lambertz, G., Pallier, C., Serniclaes, W., Sprenger-Charolles, L., Jobert, A. & Dehaene, S. (2005). Neural correlates of switching from auditory to speech perception. *NeuroImage*, 24(1), 21–33.

- DeLeon, J., Gottesman, R. F., Kleinman, J. T., Newhart, M., Davis, C., Heidler-Gary, J., Lee, A. & Hillis, A. E. (2007). Neural regions essential for distinct cognitive processes underlying picture naming. *Brain*, 130(5), 1408–1422.
- Denkova, E., Botzung, A. & Manning, L. (2006). Neural correlates of remembering/knowing famous people: an event-related fMRI study. *Neuropsychologia*, 44(14), 2783–2791.
- Desai, R., Liebenthal, E., Waldron, E. & Binder, J. R. (2008). Left posterior temporal regions are sensitive to auditory categorization. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 20(7), 1174–1188.
- Desgranges, B., Matuszewski, V., Piolino, P., Chételat, G., Mézenge, F., Landeau, B., de la Sayette, V., Belliard, S. & Eustache, F. (2007). Anatomical and functional alterations in semantic dementia: a voxel-based MRI and PET study. *Neurobiology of Aging*, 28(12), 1904–1913.
- Devinsky, O., Farah, M. J. & Barr, W. B. (2008). Visual agnosia. In: M. J. Aminoff, F. Boller, D. F. Swaab, G. Goldenberg & B. L. Miller (Hrsg.). *Handbook of Clinical Neurology*, S. 417–427. Amsterdam: Elsevier.
- Devlin, J. T., Moore, C. J., Mummery, C. J., Gorno-Tempini, M. L., Phillips, J. A., Noppeney, U., Frackowiak, R. S. J., Friston, K. J. & Price, C. J. (2002a). Anatomic constraints on cognitive theories of category specificity. *NeuroImage*, 15(3), 675–685.
- Devlin, J. T., Rushworth, M. F. S. & Matthews, P. M. (2005). Category-related activation for written words in the posterior fusiform is task specific. *Neuropsychologia*, 43(1), 69–74.
- Devlin, J. T., Russell, R. P., Davis, M. H., Price, C. J., Moss, H. E., Fadili, M. J. & Tyler, L. K. (2002b). Is there an anatomical basis for category-specificity? Semantic memory studies in PET and fMRI. *Neuropsychologia*, 40(1), 54–75.
- Dick, F., Saygin, A. P., Galati, G., Pitzalis, S., Bentrovato, S., D'Amico, S., Wilson, S., Bates, E. & Pizzamiglio, L. (2007). What is involved and what is necessary for complex linguistic and nonlinguistic auditory processing: evidence from functional magnetic resonance imaging and lesion data. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 19(5), 799–816.
- Dien, J. (2008). Looking both ways through time: the Janus model of lateralized cognition. *Brain and Cognition*, 67(3), 292–323.
- Dien, J. (2009). A tale of two recognition systems: implications of the fusiform face area and the visual word form area for lateralized object recognition models. *Neuropsychologia*, 47(1), 1–16.
- Ding, S.-L., Van Hoesen, G. W., Cassell, M. D. & Poremba, A. (2009). Parcellation of human temporal polar cortex: a combined analysis of multiple cytoarchitectonic, chemoarchitectonic, and pathological markers. *The Journal of Comparative Neurology*, 514(6), 595–623.
- Distler, C., Boussaoud, D., Desimone, R. & Ungerleider, L. G. (1993). Cortical connections of inferior temporal area TEO in macaque monkeys. *The Journal of Comparative Neurology*, 334(1), 125–150.

- Doehrmann, O., Naumer, M. J., Volz, S., Kaiser, J. & Altmann, C. F. (2008). Probing category selectivity for environmental sounds in the human auditory brain. *Neuropsychologia*, 46(11), 2776–2786.
- Dogil, G., Ackermann, H., Grodd, W., Haider, H., Kamp, H., Mayer, J., Riecker, A. & Wildgruber, D. (2002). The speaking brain: a tutorial introduction to fMRI experiments in the production of speech, prosody and syntax. *Journal of Neurolinguistics*, 15(1), 59–90.
- Downing, P. E., Chan, A. W.-Y., Peelen, M. V., Dodds, C. M. & Kanwisher, N. (2006). Domain specificity in visual cortex. *Cerebral Cortex*, 16(10), 1453–1461.
- Drane, D. L., Ojemann, G. A., Aylward, E., Ojemann, J. G., Johnson, L. C., Silbergeld, D. L., Miller, J. W. & Tranel, D. (2008). Category-specific naming and recognition deficits in temporal lobe epilepsy surgical patients. *Neuropsychologia*, 46(5), 1242–1255.
- Dronkers, N. F., Wilkins, D. P., Van Valin, J., Robert D, Redfern, B. B. & Jaeger, J. J. (2004). Lesion analysis of the brain areas involved in language comprehension. *Cognition*, 92(1-2), 145–177.
- Drosdowski, G. (1995). *Duden "Grammatik der deutschen Gegenwartssprache"*. Mannheim: Dudenverlag.
- Duchaine, B. C., Dingle, K., Butterworth, E. & Nakayama, K. (2004). Normal greeble learning in a severe case of developmental prosopagnosia. *Neuron*, 43(4), 469–473.
- Eacott, M. & Gaffan, D. (1991). The role of monkey inferior parietal cortex in visual discrimination of identity and orientation of shapes. *Behavioural Brain Research*, 46(1), 95–98.
- Eckert, M. A., Kamdar, N. V., Chang, C. E., Beckmann, C. F., Greicius, M. D. & Menon, V. (2008). A cross-modal system linking primary auditory and visual cortices: evidence from intrinsic fMRI connectivity analysis. *Human Brain Mapping*, 29(7), 848–857.
- Edwards-Lee, T., Miller, B. L., Benson, D. F., Cummings, J. L., Russell, G. L., Boone, K. & Mena, I. (1997). The temporal variant of frontotemporal dementia. *Brain*, 120(6), 1027–1040.
- Ellis, A. W., Young, A. W. & Critchley, E. M. (1989). Loss of memory for people following temporal lobe damage. *Brain*, 112(6), 1469–1483.
- Engel, L. R., Frum, C., Puce, A., Walker, N. A. & Lewis, J. W. (2009). Different categories of living and non-living sound-sources activate distinct cortical networks. *NeuroImage*, 47(4), 1778–1791.
- Engelien, A., Tüscher, O., Hermans, W., Isenberg, N., Eidelberg, D., Frith, C., Stern, E. & Silbersweig, D. (2006). Functional neuroanatomy of non-verbal semantic sound processing in humans. *Journal of Neural Transmission*, 113(5), 599–608.
- Epstein, R. & Kanwisher, N. (1998). A cortical representation of the local visual environment. *Nature*, 392(6676), 598–601.

- Eslinger, P. J., Easton, A., Grattan, L. M. & Van Hoesen, G. W. (1996). Distinctive forms of partial retrograde amnesia after asymmetric temporal lobe lesions: possible role of the occipitotemporal gyri in memory. *Cerebral Cortex*, 6(3), 530–539.
- Evans, J. J., Heggs, A. J., Antoun, N. & Hodges, J. R. (1995). Progressive prosopagnosia associated with selective right temporal lobe atrophy: a new syndrome? *Brain*, 118(1), 1–13.
- Evrard, M. (2002). Ageing and lexical access to common and proper names in picture naming. *Brain and Language*, 81(1-3), 174–179.
- Farah, M. J., Levinson, K. L. & Klein, K. L. (1995). Face perception and within-category discrimination in prosopagnosia. *Neuropsychologia*, 33(6), 661–674.
- Farah, M. J. & Wallace, M. A. (1992). Semantically-bounded anomia: implications for the neural implementation of naming. *Neuropsychologia*, 30(7), 609–621.
- Fecteau, S., Armony, J. L., Joanette, Y. & Belin, P. (2004). Is voice processing species-specific in human auditory cortex? An fMRI study. *NeuroImage*, 23(3), 840–848.
- Felleman, D. J. (2009). Visual system: multiple visual areas in monkeys. In: L. R. Squire (Hrsg.). *Encyclopedia of Neuroscience*, S. 359–368. Oxford, UK: Academic Press.
- Felleman, D. J. & Van Essen, D. C. (1991). Distributed hierarchical processing in the primate cerebral cortex. *Cerebral Cortex*, 1(1), 1–47.
- Ferstl, E. C., Neumann, J., Bogler, C. & von Cramon, D. Y. (2008). The extended language network: a meta-analysis of neuroimaging studies on text comprehension. *Human Brain Mapping*, 29(5), 581–593.
- Ferstl, E. C. & von Cramon, D. Y. (2007). Time, space and emotion: fMRI reveals content-specific activation during text comprehension. *Neuroscience Letters*, 427(3), 159–164.
- Fery, P., Vincent, E. & Brédart, S. (1995). Personal name anomia: a single case study. *Cortex*, 31(1), 191–198.
- Filley, C. M. (2002). Cerebral white matter disorders. In: V. S. Ramachandran (Hrsg.). *Encyclopedia of the Human Brain*, Vol. 1, S. 715–731. New York: Academic Press.
- Fletcher, P. C., Happé, F., Frith, U., Baker, S. C., Dolan, R. J., Frackowiak, R. S. J. & Frith, C. D. (1995). Other minds in the brain: a functional imaging study of “theory of mind” in story comprehension. *Cognition*, 57(2), 109–128.
- Fogler, K. A. & James, L. E. (2007). Charlie Brown versus Snow White: the effects of descriptiveness on young and older adults’ retrieval of proper names. *The Journals of Gerontology, Series B: Psychological Sciences and Social Sciences*, 62(4), 201–207.
- Fogler, K. A., James, L. E. & Crandall, E. A. (2010). How name descriptiveness impacts proper name learning in young and older adults. *Neuropsychology, Development, and Cognition, Section B: Aging, Neuropsychology and Cognition*, 17(5), 505–518.

- Forde, E. M. E., Francis, D., Riddoch, M. J., Rumiati, R. I. & Humphreys, G. W. (1997). On the links between visual knowledge and naming: a single case study of a patient with a category-specific impairment for living things. *Cognitive Neuropsychology*, *14*(3), 403–458.
- Fox, C. J., Iaria, G. & Barton, J. J. (2008). Disconnection in prosopagnosia and face processing. *Cortex*, *44*(8), 996–1009.
- Fox, C. J., Moon, S. Y., Iaria, G. & Barton, J. J. (2009). The correlates of subjective perception of identity and expression in the face network: an fMRI adaptation study. *NeuroImage*, *44*(2), 569–580.
- Friederici, A. D. (2004). The neural basis of syntactic processing. In: M. S. Gazzaniga (Hrsg.). *The Cognitive Neurosciences III*, S. 789–801. Cambridge, MA: The MIT Press.
- Friederici, A. D., Meyer, M. & von Cramon, D. Y. (2000). Auditory language comprehension: an event-related fMRI study on the processing of syntactic and lexical information. *Brain and Language*, *75*(3), 289–300.
- Friederici, A. D., Rüschemeyer, S.-A., Hahne, A. & Fiebach, C. J. (2003). The role of left inferior frontal and superior temporal cortex in sentence comprehension: localizing syntactic and semantic processes. *Cerebral Cortex*, *13*(2), 170–177.
- Frith, C. D. (2007). The social brain? *Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Series B: Biological Sciences*, *362*(1480), 671–678.
- Frith, U. & Frith, C. D. (2003). Development and neurophysiology of mentalizing. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Series B: Biological Sciences*, *358*(1431), 459–473.
- Fukatsu, R., Fujii, T., Tsukiura, T., Yamadori, A. & Otsuki, T. (1999). Proper name anomia after left temporal lobectomy: a patient study. *Neurology*, *52*(5), 1096–1099.
- Fuster, J. M. (2001). The prefrontal cortex – an update: time is of the essence. *Neuron*, *30*(2), 319–333.
- Gabrieli, J. D., Poldrack, R. A. & Desmond, J. E. (1998). The role of left prefrontal cortex in language and memory. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *95*(3), 906–913.
- Gainotti, G. (2000). What the locus of brain lesion tells us about the nature of the cognitive defect underlying category-specific disorders: a review. *Cortex*, *36*(4), 539–559.
- Gainotti, G. (2005). The influence of gender and lesion location on naming disorders for animals, plants and artefacts. *Neuropsychologia*, *43*(11), 1633–1644.
- Gainotti, G. (2007). Different patterns of famous people recognition disorders in patients with right and left anterior temporal lesions: a systematic review. *Neuropsychologia*, *45*(8), 1591–1607.
- Gainotti, G. (2010). The influence of anatomical locus of lesion and of gender-related familiarity factors in category-specific semantic disorders for animals, fruits and vegetables: a review of single-case studies. *Cortex*, *46*(9), 1072–1087.

- Gainotti, G. (2011a). The organization and dissolution of semantic-conceptual knowledge: is the “amodal hub” the only plausible model? *Brain and Cognition*, 75(3), 299–309.
- Gainotti, G. (2011b). What the study of voice recognition in normal subjects and brain-damaged patients tells us about models of familiar people recognition. *Neuropsychologia*, 49(9), 2273–2282.
- Gainotti, G., Barbier, A. & Marra, C. (2003). Slowly progressive defect in recognition of familiar people in a patient with right anterior temporal atrophy. *Brain*, 126(4), 792–803.
- Gainotti, G., Ferraccioli, M. & Marra, C. (2010). The relation between person identity nodes, familiarity judgment and biographical information: evidence from two patients with right and left anterior temporal atrophy. *Brain Research*, 1307(1), 103–114.
- Gainotti, G., Ferraccioli, M., Quaranta, D. & Marra, C. (2008). Cross-modal recognition disorders for persons and other unique entities in a patient with right fronto-temporal degeneration. *Cortex*, 44(3), 238–248.
- Gainotti, G. & Silveri, M. C. (1996). Cognitive and anatomical locus of lesion in a patient with a category-specific semantic impairment for living beings. *Cognitive Neuropsychology*, 13(3), 357–390.
- Galaburda, A. & Sanides, F. (1980). Cytoarchitectonic organization of the human auditory cortex. *The Journal of Comparative Neurology*, 190(3), 597–610.
- Galaburda, A. M. & Pandya, D. N. (1983). The intrinsic architectonic and connective organization of the superior temporal region of the rhesus monkey. *The Journal of Comparative Neurology*, 221(2), 169–184.
- Gallagher, H. L. & Frith, C. D. (2003). Functional imaging of “theory of mind”. *Trends in Cognitive Sciences*, 7(2), 77–83.
- Gallagher, H. L., Happé, F., Brunswick, N., Fletcher, P. C., Frith, U. & Frith, C. D. (2000). Reading the mind in cartoons and stories: an fMRI study of “theory of mind” in verbal and nonverbal tasks. *Neuropsychologia*, 38(1), 11–21.
- Gallese, V. & Lakoff, G. (2005). The brain’s concepts: the role of the sensory-motor system in conceptual knowledge. *Cognitive Neuropsychology*, 22(3), 455–479.
- Galton, C. J., Patterson, K., Graham, K. S., Lambon Ralph, M. A., Williams, G. B., Antoun, N., Sahakian, B. J. & Hodges, J. R. (2001). Differing patterns of temporal atrophy in Alzheimer’s disease and semantic dementia. *Neurology*, 57(2), 216–225.
- Gauthier, I., Anderson, A. W., Tarr, M. J., Skudlarski, P. & Gore, J. C. (1997). Levels of categorization in visual recognition studied using functional magnetic resonance imaging. *Current Biology*, 7(9), 645–651.
- Gauthier, I., Behrmann, M. & Tarr, M. J. (1999). Can face recognition really be dissociated from object recognition? *Journal of Cognitive Neuroscience*, 11(4), 349–370.

- Gauthier, I., Skudlarski, P., Gore, J. C. & Anderson, A. W. (2000). Expertise for cars and birds recruits brain areas involved in face recognition. *Nature Neuroscience*, 3(2), 191–197.
- Gentileschi, V., Sperber, S. & Spinnler, H. (1999). Progressive defective recognition of familiar people. *Neurocase*, 5(5), 407–424.
- Gentileschi, V., Sperber, S. & Spinnler, H. (2001). Crossmodal agnosia for familiar people as a consequence of right infero polar temporal atrophy. *Cognitive Neuropsychology*, 18(5), 439–463.
- George, N., Dolan, R. J., Fink, G. R., Baylis, G. C., Russell, C. & Driver, J. (1999). Contrast polarity and face recognition in the human fusiform gyrus. *Nature Neuroscience*, 2(6), 574–580.
- Ghashghaei, H. T. & Barbas, H. (2002). Pathways for emotion: interactions of prefrontal and anterior temporal pathways in the amygdala of the rhesus monkey. *Neuroscience*, 115(4), 1261–1279.
- Ghazanfar, A. A., Maier, J. X., Hoffman, K. L. & Logothetis, N. K. (2005). Multi-sensory integration of dynamic faces and voices in rhesus monkey auditory cortex. *The Journal of Neuroscience*, 25(20), 5004–5012.
- Gilbert, S. J., Gonen-Yaacovi, G., Benoit, R. G., Volle, E. & Burgess, P. W. (2010). Distinct functional connectivity associated with lateral versus medial rostral prefrontal cortex: a meta-analysis. *NeuroImage*, 53(4), 1359–1367.
- Gilboa, A., Winocur, G., Grady, C. L., Hevenor, S. J. & Moscovitch, M. (2004). Remembering our past: functional neuroanatomy of recollection of recent and very remote personal events. *Cerebral Cortex*, 14(11), 1214–1225.
- Giovanello, K. S., Alexander, M. & Verfaellie, M. (2003). Differential impairment of person-specific knowledge in a patient with semantic dementia. *Neurocase*, 9(1), 15–26.
- Giraud, A.-L. & Price, C. J. (2001). The constraints functional neuroimaging places on classical models of auditory word processing. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 13(6), 754–765.
- Glosser, G., Salvucci, A. E. & Chiaravalloti, N. D. (2003). Naming and recognizing famous faces in temporal lobe epilepsy. *Neurology*, 61(1), 81–86.
- Glover, S. (2004). Separate visual representations in the planning and control of action. *The Behavioral and Brain Sciences*, 27(1), 3–24.
- Gobbini, M. I., Gentili, C., Ricciardi, E., Bellucci, C., Salvini, P., Laschi, C., Guazzelli, M. & Pietrini, P. (2011). Distinct neural systems involved in agency and animacy detection. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 23(8), 1911–1920.
- Gobbini, M. I. & Haxby, J. V. (2007). Neural systems for recognition of familiar faces. *Neuropsychologia*, 45(1), 32–41.
- Gobbini, M. I., Koralek, A. C., Bryan, R. E., Montgomery, K. J. & Haxby, J. V. (2007). Two takes on the social brain: a comparison of theory of mind tasks. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 19(11), 1803–1814.

- Goebel, R., Esposito, F. & Formisano, E. (2006). Analysis of functional image analysis contest (FIAC) data with brainvoyager QX: from single-subject to cortically aligned group general linear model analysis and self-organizing group independent component analysis. *Human Brain Mapping*, 27(5), 392–401.
- Goel, V., Grafman, J., Sadato, N. & Hallett, M. (1995). Modeling other minds. *Neuroreport*, 6(13), 1741–1746.
- Gold, B. T., Balota, D. A., Jones, S. J., Powell, D. K., Smith, C. D. & Andersen, A. H. (2006). Dissociation of automatic and strategic lexical-semantics: functional magnetic resonance imaging evidence for differing roles of multiple frontotemporal regions. *The Journal of Neuroscience*, 26(24), 6523–6532.
- Goldberg, E. & Costa, L. D. (1981). Hemisphere differences in the acquisition and use of descriptive systems. *Brain and Language*, 14(1), 144–173.
- Goll, J. C., Crutch, S. J., Loo, J. H. Y., Rohrer, J. D., Frost, C., Bamiou, D.-E. & Warren, J. D. (2010a). Non-verbal sound processing in the primary progressive aphasias. *Brain*, 133(1), 272–285.
- Goll, J. C., Crutch, S. J. & Warren, J. D. (2010b). Central auditory disorders: toward a neuropsychology of auditory objects. *Current Opinion in Neurology*, 23(6), 617–627.
- Gollan, T. H., Montoya, R. I. & Bonanni, M. P. (2005). Proper names get stuck on bilingual and monolingual speakers' tip of the tongue equally often. *Neuropsychology*, 19(3), 278–287.
- González, J., Cervera-Crespo, T. & McLennan, C. T. (2010). Hemispheric differences in specificity effects in talker identification. *Attention, Perception & Psychophysics*, 72(8), 2265–2273.
- González, J. & McLennan, C. T. (2007). Hemispheric differences in indexical specificity effects in spoken word recognition. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 33(2), 410–424.
- González, J. & McLennan, C. T. (2009). Hemispheric differences in the recognition of environmental sounds. *Psychological Science*, 20(7), 887–894.
- Goodale, M. A. & Milner, A. D. (1992). Separate visual pathways for perception and action. *Trends in Neurosciences*, 15(1), 20–25.
- Gorno-Tempini, M. L., Cipolotti, L. & Price, C. J. (2000). Category differences in brain activation studies: where do they come from? *Proceedings of the Royal Society of London, Series B: Biological Sciences*, 267(1449), 1253–1258.
- Gorno-Tempini, M. L., Dronkers, N. F., Rankin, K. P., Ogar, J. M., Phengrasamy, L., Rosen, H. J., Johnson, J. K., Weiner, M. W. & Miller, B. L. (2004a). Cognition and anatomy in three variants of primary progressive aphasia. *Annals of Neurology*, 55(3), 335–346.
- Gorno-Tempini, M. L., Hillis, A. E., Weintraub, S., Kertesz, A., Mendez, M. F., Cappa, S. F., Ogar, J. M., Rohrer, J. D., Black, S. E., Boeve, B. F., Manes, F., Dronkers, N. F., Vandenberghe, R., Rascovsky, K., Patterson, K., Miller, B. L., Knopman, D. S., Hodges, J. R., Mesulam, M.-M. & Grossman, M. (2011). Classification of primary progressive aphasia and its variants. *Neurology*, 76(11), 1006–1014.

- Gorno-Tempini, M. L. & Price, C. J. (2001). Identification of famous faces and buildings: a functional neuroimaging study of semantically unique items. *Brain*, *124*(10), 2087–2097.
- Gorno-Tempini, M. L., Price, C. J., Josephs, O., Vandenberghe, R., Cappa, S. F., Kapur, N. & Frackowiak, R. S. J. (1998). The neural systems sustaining face and proper-name processing. *Brain*, *121*(11), 2103–2118.
- Gorno-Tempini, M. L., Rankin, K. P., Woolley, J. D., Rosen, H. J., Phengrasamy, L. & Miller, B. L. (2004b). Cognitive and behavioral profile in a case of right anterior temporal lobe neurodegeneration. *Cortex*, *40*(4-5), 631–644.
- Gour, N., Ranjeva, J.-P., Ceccaldi, M., Confort-Gouny, S., Barbeau, E., Soulier, E., Guye, M., Didic, M. & Felician, O. (2011). Basal functional connectivity within the anterior temporal network is associated with performance on declarative memory tasks. *NeuroImage*, *58*(2), 687–697.
- Grabowski, T. J., Damasio, H., Tranel, D., Ponto, L. L., Hichwa, R. D. & Damasio, A. R. (2001). A role for left temporal pole in the retrieval of words for unique entities. *Human Brain Mapping*, *13*(4), 199–212.
- Graham, K. S., Barense, M. D. & Lee, A. C. H. (2010). Going beyond LTM in the MTL: a synthesis of neuropsychological and neuroimaging findings on the role of the medial temporal lobe in memory and perception. *Neuropsychologia*, *48*(4), 831–853.
- Graham, K. S. & Hodges, J. R. (1997). Differentiating the roles of the hippocampal complex and the neocortex in long-term memory storage: evidence from the study of semantic dementia and Alzheimer's disease. *Neuropsychology*, *11*(1), 77–89.
- Graham, K. S., Kropelnicki, A., Goldman, W. P. & Hodges, J. R. (2003a). Two further investigations of autobiographical memory in semantic dementia. *Cortex*, *39*(4-5), 729–750.
- Graham, K. S., Lee, A. C. H., Brett, M. & Patterson, K. (2003b). The neural basis of autobiographical and semantic memory: new evidence from three PET studies. *Cognitive, Affective & Behavioral Neuroscience*, *3*(3), 234–254.
- Grelotti, D. J., Klin, A. J., Gauthier, I., Skudlarski, P., Cohen, D. J., Gore, J. C., Volkmar, F. R. & Schultz, R. T. (2005). fMRI activation of the fusiform gyrus and amygdala to cartoon characters but not to faces in a boy with autism. *Neuropsychologia*, *43*(3), 373–385.
- Griffiths, T. D. & Warren, J. D. (2002). The planum temporale as a computational hub. *Trends in Neurosciences*, *25*(7), 348–353.
- Grill-Spector, K., Knouf, N. & Kanwisher, N. (2004). The fusiform face area subserves face perception, not generic within-category identification. *Nature Neuroscience*, *7*(5), 555–562.
- Grill-Spector, K., Kourtzi, Z. & Kanwisher, N. (2001). The lateral occipital complex and its role in object recognition. *Vision Research*, *41*(10-11), 1409–1422.
- Grill-Spector, K. & Malach, R. (2004). The human visual cortex. *Annual Review of Neuroscience*, *27*(1), 649–677.

- Gross, C. G. (1978). Inferior temporal lesions do not impair discrimination of rotated patterns in monkeys. *Journal of Comparative and Physiological Psychology*, 92(6), 1095–1109.
- Grossman, M., Koenig, P., DeVita, C., Glosser, G., Alsop, D., Detre, J. & Gee, J. (2002). Neural representation of verb meaning: an fMRI study. *Human Brain Mapping*, 15(2), 124–134.
- Hackett, T. A. (2011). Information flow in the auditory cortical network. *Hearing Research*, 271(1-2), 133–146.
- Hackett, T. A. & Kaas, J. H. (2004). Auditory cortex in primates: functional subdivisions and processing streams. In: M. S. Gazzaniga (Hrsg.). *The Cognitive Neurosciences III*, S. 215–232. Cambridge, MA: The MIT Press.
- Hackett, T. A., Stepniewska, I. & Kaas, J. H. (1998). Subdivisions of auditory cortex and ipsilateral cortical connections of the parabelt auditory cortex in macaque monkeys. *The Journal of Comparative Neurology*, 394(4), 475–495.
- Hagoort, P., Brown, C. M. & Osterhout, L. (1999). The neurocognition of syntactic processing. In: C. M. Brown & P. Hagoort (Hrsg.). *The Neurocognition of Language*, S. 273–316. Oxford, UK: Oxford University Press.
- Hailstone, J. C., Crutch, S. J., Vestergaard, M. D., Patterson, R. D. & Warren, J. D. (2010). Progressive associative phonagnosia: a neuropsychological analysis. *Neuropsychologia*, 48(4), 1104–1114.
- Haist, F., Lee, K. & Stiles, J. (2010). Individuating faces and common objects produces equal responses in putative face-processing areas in the ventral occipitotemporal cortex. *Frontiers in Human Neuroscience*, 4(181), 1–15.
- Halgren, E., Dale, A. M., Sereno, M. I., Tootell, R. B. H., Marinkovic, K. & Rosen, B. R. (1999). Location of human face-selective cortex with respect to retinotopic areas. *Human Brain Mapping*, 7(1), 29–37.
- Hall, D. G., Veltkamp, B. C. & Turkel, W. J. (2004). Children's and adults' understanding of proper namable things. *First Language*, 24(1), 5–32.
- Hamberger, M. J., Seidel, W. T., Goodman, R. R., Williams, A., Perrine, K., Devinsky, O. & McKhann, n., Guy M (2007). Evidence for cortical reorganization of language in patients with hippocampal sclerosis. *Brain*, 130(11), 2942–2950.
- Hamberger, M. J., Seidel, W. T., McKhann, G. M., Perrine, K. & Goodman, R. R. (2005). Brain stimulation reveals critical auditory naming cortex. *Brain*, 128(11), 2742–2749.
- Hanley, J. R. & Damjanovic, L. (2009). It is more difficult to retrieve a familiar person's name and occupation from their voice than from their blurred face. *Memory*, 17(8), 830–839.
- Hanley, J. R., Smith, S. T. & Hadfield, J. (1998). I recognise you but I can't place you: an investigation of familiar-only experiences during tests of voice and face recognition. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology, Section A: Human Experimental Psychology*, 51(1), 179–195.

- Hanley, J. R. & Turner, J. M. (2000). Why are familiar-only experiences more frequent for voices than for faces? *The Quarterly Journal of Experimental Psychology, Section A: Human Experimental Psychology*, 53(4), 1105–1116.
- Hanley, J. R., Young, A. W. & Pearson, N. A. (1989). Defective recognition of familiar people. *Cognitive Neuropsychology*, 6(2), 179–179.
- Harasty, J. A., Halliday, G. M., Code, C. & Brooks, W. S. (1996). Quantification of cortical atrophy in a case of progressive fluent aphasia. *Brain*, 119(1), 181–190.
- Harris, D. M. & Kay, J. (1995). Selective impairment of the retrieval of people's names: a case of category specificity. *Cortex*, 31(3), 575–582.
- Hart, J., Berndt, R. S. & Caramazza, A. (1985). Category-specific naming deficit following cerebral infarction. *Nature*, 316(6027), 439–440.
- Hart, J. & Gordon, B. (1990). Delineation of single-word semantic comprehension deficits in aphasia, with anatomical correlation. *Annals of Neurology*, 27(3), 226–231.
- Hart, J. & Gordon, B. (1992). Neural subsystems for object knowledge. *Nature*, 359(6390), 60–64.
- Hassabis, D., Kumaran, D. & Maguire, E. A. (2007). Using imagination to understand the neural basis of episodic memory. *The Journal of Neuroscience*, 27(52), 14365–14374.
- Hasson, U., Harel, M., Levy, I. & Malach, R. (2003). Large-scale mirror-symmetry organization of human occipito-temporal object areas. *Neuron*, 37(6), 1027–1041.
- Haxby, J. V., Gobbini, M. I., Furey, M. L., Ishai, A., Schouten, J. L. & Pietrini, P. (2001). Distributed and overlapping representations of faces and objects in ventral temporal cortex. *Science*, 293(5539), 2425–2430.
- Haxby, J. V., Hoffman, E. A. & Gobbini, M. I. (2000). The distributed human neural system for face perception. *Trends in Cognitive Sciences*, 4(6), 223–233.
- Haxby, J. V., Horwitz, B., Ungerleider, L. G., Maisog, J. M., Pietrini, P. & Grady, C. L. (1994). The functional organization of human extrastriate cortex: a PET-rCBF study of selective attention to faces and locations. *The Journal of Neuroscience*, 14(11), 6336–6353.
- Haxby, J. V., Ungerleider, L. G., Clark, V. P., Schouten, J. L., Hoffman, E. A. & Martin, A. (1999). The effect of face inversion on activity in human neural systems for face and object perception. *Neuron*, 22(1), 189–199.
- Heeger, D. J. & Ress, D. (2002). What does fMRI tell us about neuronal activity? *Nature Reviews Neuroscience*, 3(2), 142–151.
- Hendrix, A. (2004). *Magnete, Fluss und Artefakte: Grundlagen, Techniken und Anwendungen der Magnetresonanztomographie*. Erlangen: Siemens.
- Henke, K., Schweinberger, S. R., Grigo, A., Klos, T. & Sommer, W. (1998). Specificity of face recognition: recognition of exemplars of non-face objects in prosopagnosia. *Cortex*, 34(2), 289–296.

- Hermann, B. P., Perrine, K., Chelune, G. J., Barr, W., Loring, D. W., Strauss, E., Trenerry, M. R. & Westerveld, M. (1999). Visual confrontation naming following left anterior temporal lobectomy: a comparison of surgical approaches. *Neuropsychology*, 13(1), 3–9.
- Hermann, B. P., Wyler, A. R. & Somes, G. (1991). Language function following anterior temporal lobectomy. *Journal of Neurosurgery*, 74(4), 560–566.
- Hickok, G. & Poeppel, D. (2004). Dorsal and ventral streams: a framework for understanding aspects of the functional anatomy of language. *Cognition*, 92(1-2), 67–99.
- Hickok, G. & Poeppel, D. (2007). The cortical organization of speech processing. *Nature Reviews Neuroscience*, 8(5), 393–402.
- Hillis, A. E., Wityk, R. J., Tuffiash, E., Beauchamp, N. J., Jacobs, M. A., Barker, P. B. & Selnes, O. A. (2001). Hypoperfusion of Wernicke's area predicts severity of semantic deficit in acute stroke. *Annals of Neurology*, 50(5), 561–566.
- Hittmair-Delazer, M., Denes, G., Semenza, C. & Mantovan, M. C. (1994). Anomia for people's names. *Neuropsychologia*, 32(4), 465–476.
- Hocking, J., McMahan, K. L. & de Zubicaray, G. I. (2011). Cortical organization of environmental sounds by attribute. *Human Brain Mapping*, 32(5), 688–698.
- Hodges, J. R., Graham, N. & Patterson, K. (1995). Charting the progression in semantic dementia: implications for the organisation of semantic memory. *Memory*, 3(3-4), 463–495.
- Hodges, J. R. & McCarthy, R. A. (1993). Autobiographical amnesia resulting from bilateral paramedian thalamic infarction: a case study in cognitive neurobiology. *Brain*, 116(4), 921–940.
- Hodges, J. R., Patterson, K., Oxbury, S. & Funnell, E. (1992). Semantic dementia: progressive fluent aphasia with temporal lobe atrophy. *Brain*, 115(6), 1783–1806.
- Hodges, J. R., Spatt, J. & Patterson, K. (1999). “What” and “how”: evidence for the dissociation of object knowledge and mechanical problem-solving skills in the human brain. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 96(16), 9444–9448.
- Holdstock, J. S., Hocking, J., Notley, P., Devlin, J. T. & Price, C. J. (2009). Integrating visual and tactile information in the perirhinal cortex. *Cerebral Cortex*, 19(12), 2993–3000.
- Holmes, E. J. & Gross, C. G. (1984). Effects of inferior temporal lesions on discrimination of stimuli differing in orientation. *The Journal of Neuroscience*, 4(12), 3063–3068.
- Hou, C. E., Miller, B. L. & Kramer, J. H. (2005). Patterns of autobiographical memory loss in dementia. *International Journal of Geriatric Psychiatry*, 20(9), 809–815.
- Humphreys, G. W. & Forde, E. M. E. (2001). Hierarchies, similarity, and interactivity in object recognition: “category-specific” neuropsychological deficits. *The Behavioral and Brain Sciences*, 24(3), 453–509.

- Humphreys, G. W. & Riddoch, M. J. (2003). A case series analysis of “category-specific” deficits of living things: the HIT account. *Cognitive Neuropsychology*, 20(3), 263–306.
- Humphries, C., Binder, J. R., Medler, D. A. & Liebenthal, E. (2006). Syntactic and semantic modulation of neural activity during auditory sentence comprehension. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 18(4), 665–679.
- Humphries, C., Willard, K., Buchsbaum, B. R. & Hickok, G. (2001). Role of anterior temporal cortex in auditory sentence comprehension: an fMRI study. *Neuroreport*, 12(8), 1749–1752.
- Hwang, K., Palmer, E. D., Basho, S., Zadra, J. R. & Müller, R.-A. (2009). Category-specific activations during word generation reflect experiential sensorimotor modalities. *NeuroImage*, 48(4), 717–725.
- Imaizumi, S., Mori, K., Kiritani, S., Kawashima, R., Sugiura, M., Fukuda, H., Itoh, K., Kato, T., Nakamura, A., Hatano, K., Kojima, S. & Nakamura, K. (1997). Vocal identification of speaker and emotion activates different brain regions. *Neuroreport*, 8(12), 2809–2812.
- Ishai, A., Haxby, J. V. & Ungerleider, L. G. (2002). Visual imagery of famous faces: effects of memory and attention revealed by fMRI. *NeuroImage*, 17(4), 1729–1741.
- Ishibashi, R., Lambon Ralph, M. A., Saito, S. & Pobric, G. (2011). Different roles of lateral anterior temporal lobe and inferior parietal lobule in coding function and manipulation tool knowledge: evidence from an rTMS study. *Neuropsychologia*, 49(5), 1128–1135.
- Ivanou, A., Cooper, J. M., Shanks, M. F. & Venneri, A. (2006). Patterns of impairment in autobiographical memory in the degenerative dementias constrain models of memory. *Neuropsychologia*, 44(10), 1936–1955.
- Jacquemot, C., Pallier, C., LeBihan, D., Dehaene, S. & Dupoux, E. (2003). Phonological grammar shapes the auditory cortex: a functional magnetic resonance imaging study. *The Journal of Neuroscience*, 23(29), 9541–9546.
- James, L. E. (2006). Specific effects of aging on proper name retrieval: now you see them, now you don't. *The Journals of Gerontology, Series B: Psychological Sciences and Social Sciences*, 61(3), 180–183.
- James, T. W., Culham, J., Humphrey, G. K., Milner, A. D. & Goodale, M. A. (2003). Ventral occipital lesions impair object recognition but not object-directed grasping: an fMRI study. *Brain*, 126(11), 2463–2475.
- Jefferies, E. & Lambon Ralph, M. A. (2006). Semantic impairment in stroke aphasia versus semantic dementia: a case-series comparison. *Brain*, 129(8), 2132–2147.
- Jefferies, E., Patterson, K., Jones, R. W. & Lambon Ralph, M. A. (2009). Comprehension of concrete and abstract words in semantic dementia. *Neuropsychology*, 23(4), 492–499.

- Jefferies, E., Patterson, K. & Lambon Ralph, M. A. (2008). Deficits of knowledge versus executive control in semantic cognition: insights from cued naming. *Neuropsychologia*, 46(2), 649–658.
- Jeshion, R. (2009). The significance of names. *Mind & Language*, 24(4), 370–403.
- Joanisse, M. F., Zevin, J. D. & McCandliss, B. D. (2007). Brain mechanisms implicated in the preattentive categorization of speech sounds revealed using fMRI and a short-interval habituation trial paradigm. *Cerebral Cortex*, 17(9), 2084–2093.
- Joassin, F., Pesenti, M., Maurage, P., Verreclt, E., Bruyer, R. & Campanella, S. (2011). Cross-modal interactions between human faces and voices involved in person recognition. *Cortex*, 47(3), 367–376.
- Johnson, K. E. & Mervis, C. B. (1997). Effects of varying levels of expertise on the basic level of categorization. *Journal of Experimental Psychology: General*, 126(3), 248–277.
- Joseph, J. E., Cerullo, M. A., Farley, A. B., Steinmetz, N. A. & Mier, C. R. (2006). fMRI correlates of cortical specialization and generalization for letter processing. *NeuroImage*, 32(2), 806–820.
- Josephs, K. A., Whitwell, J. L., Vemuri, P., Senjem, M. L., Boeve, B. F., Knopman, D. S., Smith, G. E., Ivnik, R. J., Petersen, R. C. & Jack, C. R. (2008). The anatomic correlate of prosopagnosia in semantic dementia. *Neurology*, 71(20), 1628–1633.
- Joubert, S., Felician, O., Barbeau, E., Ranjeva, J.-P., Christophe, M., Didic, M., Poncet, M. & Ceccaldi, M. (2006). The right temporal lobe variant of frontotemporal dementia: cognitive and neuroanatomical profile of three patients. *Journal of Neurology*, 253(11), 1447–1458.
- Joubert, S., Felician, O., Barbeau, E., Sontheimer, A., Guedj, E., Ceccaldi, M. & Poncet, M. (2004a). Progressive prosopagnosia: clinical and neuroimaging results. *Neurology*, 63(10), 1962–1965.
- Joubert, S., Mauries, S., Barbeau, E., Ceccaldi, M. & Poncet, M. (2004b). The role of context in remembering familiar persons: insights from semantic dementia. *Brain and Cognition*, 55(2), 254–261.
- Jung-Beeman, M. (2005). Bilateral brain processes for comprehending natural language. *Trends in Cognitive Sciences*, 9(11), 512–518.
- Kaas, J. H. & Hackett, T. A. (1998). Subdivisions of auditory cortex and levels of processing in primates. *Audiology & Neuro-Otology*, 3(2-3), 73–85.
- Kaas, J. H. & Hackett, T. A. (2000). Subdivisions of auditory cortex and processing streams in primates. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 97(22), 11793–11799.
- Kahn, I., Andrews-Hanna, J. R., Vincent, J. L., Snyder, A. Z. & Buckner, R. L. (2008). Distinct cortical anatomy linked to subregions of the medial temporal lobe revealed by intrinsic functional connectivity. *Journal of Neurophysiology*, 100(1), 129–139.

- Kaléline, S., Buxbaum, L. J. & Coslett, H. B. (2010). Critical brain regions for action recognition: lesion symptom mapping in left hemisphere stroke. *Brain*, 133(11), 3269–3280.
- Kaléline, S., Peyrin, C., Pichat, C., Segebarth, C., Bonthoux, F. & Baciú, M. (2009). The sensory-motor specificity of taxonomic and thematic conceptual relations: a behavioral and fMRI study. *NeuroImage*, 44(3), 1152–1162.
- Kanwisher, N. (2010). Functional specificity in the human brain: a window into the functional architecture of the mind. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 107(25), 11163–11170.
- Kanwisher, N., McDermott, J. & Chun, M. M. (1997a). The fusiform face area: a module in human extrastriate cortex specialized for face perception. *The Journal of Neuroscience*, 17(11), 4302–4311.
- Kanwisher, N., Woods, R. P., Iacoboni, M. & Mazziotta, J. C. (1997b). A locus in human extrastriate cortex for visual shape analysis. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 9(1), 133–142.
- Kanwisher, N. & Yovel, G. (2006). The fusiform face area: a cortical region specialized for the perception of faces. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Series B: Biological Sciences*, 361(1476), 2109–2128.
- Kapur, N., Barker, S., Burrows, E. H., Ellison, D., Brice, J., Illis, L. S., Scholey, K., Colbourn, C., Wilson, B. & Loates, M. (1994). Herpes simplex encephalitis: long term magnetic resonance imaging and neuropsychological profile. *Journal of Neurology, Neurosurgery, and Psychiatry*, 57(11), 1334–1342.
- Kay, J. & Hanley, J. R. (2002). Preservation of memory for people in semantic memory disorder: further category-specific semantic dissociation. *Cognitive Neuropsychology*, 19(2), 113–133.
- Kellenbach, M. L., Brett, M. & Patterson, K. (2003). Actions speak louder than functions: the importance of manipulability and action in tool representation. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 15(1), 30–46.
- Kellenbach, M. L., Hovius, M. & Patterson, K. (2005). A PET study of visual and semantic knowledge about objects. *Cortex*, 41(2), 121–132.
- Kemmerer, D., Castillo, J. G., Talavage, T., Patterson, S. & Wiley, C. (2008). Neuro-anatomical distribution of five semantic components of verbs: evidence from fMRI. *Brain and Language*, 107(1), 16–43.
- Kho, K. H., Indefrey, P., Hagoort, P., van Veelen, C. W. M., van Rijen, P. C. & Ramsey, N. F. (2008). Unimpaired sentence comprehension after anterior temporal cortex resection. *Neuropsychologia*, 46(4), 1170–1178.
- Kiehl, K. A., Liddle, P. F., Smith, A. M., Mendrek, A., Forster, B. B. & Hare, R. D. (1999). Neural pathways involved in the processing of concrete and abstract words. *Human Brain Mapping*, 7(4), 225–233.
- Kipps, C. M., Knibb, J. A., Patterson, K. & Hodges, J. R. (2008). Neuropsychology of frontotemporal dementia. In: G. Goldenberg & B. L. Miller (Hrsg.). *Handbook of Clinical Neurology, Vol. 88: Neuropsychology and Behavioral Neurology*, S. 527–548. Amsterdam: Elsevier.

- Kipps, C. M., Nestor, P. J., Acosta-Cabronero, J., Arnold, R. & Hodges, J. R. (2009). Understanding social dysfunction in the behavioural variant of frontotemporal dementia: the role of emotion and sarcasm processing. *Brain*, 132(3), 592–603.
- Kitchener, E. G. & Hodges, J. R. (1999). Impaired knowledge of famous people and events with intact autobiographical memory in a case of progressive right temporal lobe degeneration: implications for the organisation of remote memory. *Cognitive Neuropsychology*, 16(6), 589–607.
- Kitchener, E. G., Hodges, J. R. & McCarthy, R. A. (1998). Acquisition of post-morbid vocabulary and semantic facts in the absence of episodic memory. *Brain*, 121(7), 1313–1327.
- Kondo, H., Saleem, K. S. & Price, J. L. (2003). Differential connections of the temporal pole with the orbital and medial prefrontal networks in macaque monkeys. *The Journal of Comparative Neurology*, 465(4), 499–523.
- Kondo, H., Saleem, K. S. & Price, J. L. (2005). Differential connections of the perirhinal and parahippocampal cortex with the orbital and medial prefrontal networks in macaque monkeys. *The Journal of Comparative Neurology*, 493(4), 479–509.
- Kousta, S.-T., Vigliocco, G., Vinson, D. P., Andrews, M. & Del Campo, E. (2011). The representation of abstract words: why emotion matters. *Journal of Experimental Psychology: General*, 140(1), 14–34.
- Kreisler, P. & Trümmel, K.-H. (1998). Magnetresonanztomographie. In: K. Ewen (Hrsg.). *Moderne Bildgebung: Physik, Gerätechnik, Bildbearbeitung und -kommunikation, Strahlenschutz, Qualitätskontrolle*, S. 171–196. Stuttgart: Thieme.
- Kurimoto, M., Takaiwa, A., Nagai, S., Hayashi, N. & Endo, S. (2010). Anomia for people's names after left anterior temporal lobe resection: case report. *Neurologia Medico-Chirurgica*, 50(1), 36–40.
- Kuzniecky, R. I. & Jackson, G. D. (1995). Magnetic resonance. In: R. I. Kuzniecky & G. D. Jackson (Hrsg.). *Magnetic Resonance in Epilepsy*, S. 15–26. New York: Raven Press.
- Laeng, B., Zarrinpar, A. & Kosslyn, S. M. (2003). Do separate processes identify objects as exemplars versus members of basic-level categories? Evidence from hemispheric specialization. *Brain and Cognition*, 53(1), 15–27.
- Laiacona, M., Capitani, E. & Caramazza, A. (2003). Category-specific semantic deficits do not reflect the sensory/functional organization of the brain: a test of the “sensory quality” hypothesis. *Neurocase*, 9(3), 221–231.
- Lambon Ralph, M. A., Cipolotti, L., Manes, F. & Patterson, K. (2010a). Taking both sides: do unilateral anterior temporal lobe lesions disrupt semantic memory? *Brain*, 133(11), 3243–3255.
- Lambon Ralph, M. A., Howard, D., Nightingale, G. & Ellis, A. (1998). Are living and non-living category-specific deficits causally linked to impaired perceptual or associative knowledge? Evidence from a category-specific double dissociation. *Neurocase*, 4(4-5), 311–338.

- Lambon Ralph, M. A., Lowe, C. & Rogers, T. T. (2007). Neural basis of category-specific semantic deficits for living things: evidence from semantic dementia, HSVE and a neural network model. *Brain*, 130(4), 1127–1137.
- Lambon Ralph, M. A. & Patterson, K. (2008). Generalization and differentiation in semantic memory: insights from semantic dementia. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1124(1), 61–76.
- Lambon Ralph, M. A., Patterson, K., Garrard, P. & Hodges, J. R. (2003). Semantic dementia with category specificity: a comparative case-series study. *Cognitive Neuropsychology*, 20(3), 307–326.
- Lambon Ralph, M. A., Pobric, G. & Jefferies, E. (2009). Conceptual knowledge is underpinned by the temporal pole bilaterally: convergent evidence from rTMS. *Cerebral Cortex*, 19(4), 832–838.
- Lambon Ralph, M. A., Sage, K., Jones, R. W. & Mayberry, E. J. (2010b). Coherent concepts are computed in the anterior temporal lobes. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 107(6), 2717–2722.
- Lang, C. J. G., Kneidl, O., Hielscher-Fastabend, M. & Heckmann, J. G. (2009). Voice recognition in aphasic and non-aphasic stroke patients. *Journal of Neurology*, 256(8), 1303–1306.
- Leaver, A. M. & Rauschecker, J. P. (2010). Cortical representation of natural complex sounds: effects of acoustic features and auditory object category. *The Journal of Neuroscience*, 30(22), 7604–7612.
- Lebreton, M., Barnes, A., Miettunen, J., Peltonen, L., Ridler, K., Veijola, J., Tanskanen, P., Suckling, J., Jarvelin, M.-R., Jones, P. B., Isohanni, M., Bullmore, E. T. & Murray, G. K. (2009). The brain structural disposition to social interaction. *The European Journal of Neuroscience*, 29(11), 2247–2252.
- Lee, A. C. H., Barense, M. D. & Graham, K. S. (2005). The contribution of the human medial temporal lobe to perception: bridging the gap between animal and human studies. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology, Section B: Comparative and Physiological Psychology*, 58(3-4), 300–325.
- Lee, A. C. H., Buckley, M. J., Gaffan, D., Emery, T., Hodges, J. R. & Graham, K. S. (2006). Differentiating the roles of the hippocampus and perirhinal cortex in processes beyond long-term declarative memory: a double dissociation in dementia. *The Journal of Neuroscience*, 26(19), 5198–5203.
- Leech, R. & Saygin, A. P. (2011). Distributed processing and cortical specialization for speech and environmental sounds in human temporal cortex. *Brain and Language*, 116(2), 83–90.
- Lehmann, C., Herdener, M., Esposito, F., Hubl, D., di Salle, F., Scheffler, K., Bach, D. R., Federspiel, A., Kretz, R., Dierks, T. & Seifritz, E. (2006). Differential patterns of multisensory interactions in core and belt areas of human auditory cortex. *NeuroImage*, 31(1), 294–300.

- Lehmann, M., Douiri, A., Kim, L. G., Modat, M., Chan, D., Ourselin, S., Barnes, J. & Fox, N. C. (2010). Atrophy patterns in Alzheimer's disease and semantic dementia: a comparison of FreeSurfer and manual volumetric measurements. *NeuroImage*, 49(3), 2264–2274.
- Leveroni, C. L., Seidenberg, M., Mayer, A. R., Mead, L. A., Binder, J. R. & Rao, S. M. (2000). Neural systems underlying the recognition of familiar and newly learned faces. *The Journal of Neuroscience*, 20(2), 878–886.
- Levy, I., Hasson, U., Avidan, G., Hendler, T. & Malach, R. (2001). Center-periphery organization of human object areas. *Nature Neuroscience*, 4(5), 533–539.
- Lewis, J. W. (2006). Cortical networks related to human use of tools. *The Neuroscientist*, 12(3), 211–231.
- Lewis, J. W., Brefczynski, J. A., Phinney, R. E., Janik, J. J. & DeYoe, E. A. (2005). Distinct cortical pathways for processing tool versus animal sounds. *The Journal of Neuroscience*, 25(21), 5148–5158.
- Lewis, J. W., Talkington, W. J., Puce, A., Engel, L. R. & Frum, C. (2011). Cortical networks representing object categories and high-level attributes of familiar real-world action sounds. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 23(8), 2079–2101.
- Lewis, J. W., Wightman, F. L., Brefczynski, J. A., Phinney, R. E., Binder, J. R. & DeYoe, E. A. (2004). Human brain regions involved in recognizing environmental sounds. *Cerebral Cortex*, 14(9), 1008–1021.
- Liebenthal, E., Binder, J. R., Spitzer, S. M., Possing, E. T. & Medler, D. A. (2005). Neural substrates of phonemic perception. *Cerebral Cortex*, 15(10), 1621–1631.
- Lin, N., Guo, Q., Han, Z. & Bi, Y. (2011a). Motor knowledge is one dimension for concept organization: further evidence from a Chinese semantic dementia case. *Brain and language*, 119(2), 110–118.
- Lin, N., Lu, X., Fang, F., Han, Z. & Bi, Y. (2011b). Is the semantic category effect in the lateral temporal cortex due to motion property differences? *NeuroImage*, 55(4), 1853–1864.
- Lipton, M. L. (2008). *Totally Accessible MRI: A User's Guide to Principles, Technology, and Applications*. New York: Springer.
- Lucchelli, F. & De Renzi, E. (1992). Proper name anomia. *Cortex*, 28(2), 221–230.
- Luzzatti, C., Aggijaro, S. & Crepaldi, D. (2006). Verb-noun double dissociation in aphasia: theoretical and neuroanatomical foundations. *Cortex*, 42(6), 875–883.
- Lyons, F., Hanley, J. R. & Kay, J. (2002). Anomia for common names and geographical names with preserved retrieval of names of people: a semantic memory disorder. *Cortex*, 38(1), 23–35.
- Lyons, F., Kay, J., Hanley, J. R. & Haslam, C. (2006). Selective preservation of memory for people in the context of semantic memory disorder: patterns of association and dissociation. *Neuropsychologia*, 44(14), 2887–2898.
- Machery, E. (2007). Concept empiricism: a methodological critique. *Cognition*, 104(1), 19–46.

- Macoir, J. (2009). Is a plum a memory problem? Longitudinal study of the reversal of concreteness effect in a patient with semantic dementia. *Neuropsychologia*, 47(2), 518–535.
- Maeder, P. P., Meuli, R. A., Adriani, M., Bellmann, A., Fornari, E., Thiran, J. P., Pittet, A. & Clarke, S. (2001). Distinct pathways involved in sound recognition and localization: a human fMRI study. *NeuroImage*, 14(4), 802–816.
- Maguire, E. A. (2001). Neuroimaging studies of autobiographical event memory. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Series B: Biological Sciences*, 356(1413), 1441–1451.
- Maguire, E. A. & Frith, C. D. (2003). Aging affects the engagement of the hippocampus during autobiographical memory retrieval. *Brain*, 126(7), 1511–1523.
- Maguire, E. A., Frith, C. D. & Morris, R. G. (1999). The functional neuroanatomy of comprehension and memory: the importance of prior knowledge. *Brain*, 122(10), 1839–1850.
- Maguire, E. A., Kumaran, D., Hassabis, D. & Kopelman, M. D. (2010). Autobiographical memory in semantic dementia: a longitudinal fMRI study. *Neuropsychologia*, 48(1), 123–136.
- Maguire, E. A., Mummery, C. J. & Büchel, C. (2000). Patterns of hippocampal-cortical interaction dissociate temporal lobe memory subsystems. *Hippocampus*, 10(4), 475–482.
- Mahon, B. Z. & Caramazza, A. (2008). A critical look at the embodied cognition hypothesis and a new proposal for grounding conceptual content. *Journal of Physiology Paris*, 102(1-3), 59–70.
- Mahon, B. Z. & Caramazza, A. (2009). Concepts and categories: a cognitive neuropsychological perspective. *Annual Review of Psychology*, 60(1), 27–51.
- Mahon, B. Z. & Caramazza, A. (2011). What drives the organization of object knowledge in the brain? *Trends in Cognitive Sciences*, 15(3), 97–103.
- Makris, N., Papadimitriou, G. M., Kaiser, J. R., Sorg, S., Kennedy, D. N. & Pandya, D. N. (2009). Delineation of the middle longitudinal fascicle in humans: a quantitative, in vivo, DT-MRI study. *Cerebral Cortex*, 19(4), 777–785.
- Malach, R., Levy, I. & Hasson, U. (2002). The topography of high-order human object areas. *Trends in Cognitive Sciences*, 6(4), 176–184.
- Malach, R., Reppas, J. B., Benson, R. R., Kwong, K. K., Jiang, H., Kennedy, W. A., Ledden, P. J., Brady, T. J., Rosen, B. R. & Tootell, R. B. H. (1995). Object-related activity revealed by functional magnetic resonance imaging in human occipital cortex. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 92(18), 8135–8139.
- Mar, R. A. (2004). The neuropsychology of narrative: story comprehension, story production and their interrelation. *Neuropsychologia*, 42(10), 1414–1434.
- Marinkovic, K., Dhond, R. P., Dale, A. M., Glessner, M., Carr, V. & Halgren, E. (2003). Spatiotemporal dynamics of modality-specific and supramodal word processing. *Neuron*, 38(3), 487–497.

- Markowitsch, H. J., Calabrese, P., Neufeld, H., Gehlen, W. & Durwen, H. F. (1999). Retrograde amnesia for world knowledge and preserved memory for autobiographic events: a case report. *Cortex*, 35(2), 243–252.
- Markowitsch, H. J., Emmans, D., Irle, E., Streicher, M. & Preilowski, B. (1985). Cortical and subcortical afferent connections of the primate's temporal pole: a study of rhesus monkeys, squirrel monkeys, and marmosets. *The Journal of Comparative Neurology*, 242(3), 425–458.
- Marques, J. F., Canessa, N., Siri, S., Catricalà, E. & Cappa, S. (2008). Conceptual knowledge in the brain: fMRI evidence for a featural organization. *Brain Research*, 1194(1), 90–99.
- Marsolek, C. J. (1999). Dissociable neural subsystems underlie abstract and specific object recognition. *Psychological Science*, 10(2), 111–118.
- Marsolek, C. J. & Burgund, E. D. (2008). Dissociable neural subsystems underlie visual working memory for abstract categories and specific exemplars. *Cognitive, Affective & Behavioral Neuroscience*, 8(1), 17–24.
- Martin, A., Haxby, J. V., Lalonde, F. M., Wiggs, C. L. & Ungerleider, L. G. (1995). Discrete cortical regions associated with knowledge of color and knowledge of action. *Science*, 270(5233), 102–105.
- Martin, A., Wiggs, C. L., Ungerleider, L. G. & Haxby, J. V. (1996). Neural correlates of category-specific knowledge. *Nature*, 379(6566), 649–652.
- Martuzzi, R., Murray, M. M., Michel, C. M., Thiran, J.-P., Maeder, P. P., Clarke, S. & Meuli, R. A. (2007). Multisensory interactions within human primary cortices revealed by BOLD dynamics. *Cerebral Cortex*, 17(7), 1672–1679.
- Matuszewski, V., Piolino, P., Belliard, S., de la Sayette, V., Laisney, M., Lalevée, C., Pélerin, A., Viader, F., Eustache, F. & Desgranges, B. (2009). Patterns of autobiographical memory impairment according to disease severity in semantic dementia. *Cortex*, 45(4), 456–472.
- Maylor, E. A. (1997). Proper name retrieval in old age: converging evidence against disproportionate impairment. *Aging, Neuropsychology, and Cognition*, 4(3), 211–226.
- Mazoyer, B. M., Tzourio, N., Frak, V., Syrota, A., Murayama, N., Levrier, O., Salamon, G., Dehaene, S., Cohen, L. & Mehler, J. (1993). The cortical representation of speech. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 5(4), 467–479.
- McCarthy, G., Puce, A., Gore, J. C. & Allison, T. (1997). Face-specific processing in the human fusiform gyrus. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 9(5), 605–610.
- McKenna, P. & Warrington, E. K. (1980). Testing for nominal dysphasia. *Journal of Neurology, Neurosurgery, and Psychiatry*, 43(9), 781–788.
- McKone, E., Kanwisher, N. & Duchaine, B. C. (2007). Can generic expertise explain simple processing for faces? *Trends in Cognitive Sciences*, 11(1), 8–15.
- McNeil, J. E., Cipolotti, L. & Warrington, E. K. (1994). The accessibility of proper names. *Neuropsychologia*, 32(2), 193–208.

- McNeil, J. E. & Warrington, E. K. (1993). Prosopagnosia: a face-specific disorder. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology, Section A: Human Experimental Psychology*, 46(1), 1–10.
- Meadows, J. C. (1974). The anatomical basis of prosopagnosia. *Journal of Neurology, Neurosurgery, and Psychiatry*, 37(5), 489–501.
- Medin, D. L., Lynch, E. B. & Solomon, K. O. (2000). Are there kinds of concepts? *Annual Review of Psychology*, 51(1), 121–147.
- Mellet, E., Tzourio, N., Denis, M. & Mazoyer, B. M. (1998). Cortical anatomy of mental imagery of concrete nouns based on their dictionary definition. *Neuroreport*, 9(5), 803–808.
- Meyer, K. & Damasio, A. R. (2009). Convergence and divergence in a neural architecture for recognition and memory. *Trends in Neurosciences*, 32(7), 376–382.
- Meyer, M., Zysset, S., von Cramon, D. Y. & Alter, K. (2005). Distinct fMRI responses to laughter, speech, and sounds along the human peri-sylvian cortex. *Cognitive Brain Research*, 24(2), 291–306.
- Miceli, G., Capasso, R., Daniele, A., Esposito, T., Magarelli, M. & Tomaiuolo, F. (2000). Selective deficit for people's names following left temporal damage: an impairment of domain-specific conceptual knowledge. *Cognitive Neuropsychology*, 17(6), 489–516.
- Miller, L. A., Caine, D., Harding, A., Thompson, E. J., Large, M. & Watson, J. D. G. (2001). Right medial thalamic lesion causes isolated retrograde amnesia. *Neuropsychologia*, 39(10), 1037–1046.
- Milner, A. D., Perrett, D. I., Johnston, R. S., Benson, P. J., Jordan, T. R., Heeley, D. W., Bettucci, D., Mortara, F., Mutani, R., Terazzi, E. & Davidson, D. L. W. (1991). Perception and action in “visual form agnosia”. *Brain*, 114(1), 405–428.
- Mion, M., Patterson, K., Acosta-Cabronero, J., Pengas, G., Izquierdo-Garcia, D., Hong, Y. T., Fryer, T. D., Williams, G. B., Hodges, J. R. & Nestor, P. J. (2010). What the left and right anterior fusiform gyri tell us about semantic memory. *Brain*, 133(11), 3256–3268.
- Mishkin, M., Ungerleider, L. G. & Macko, K. A. (1983). Object vision and spatial vision: two cortical pathways. *Trends in Neurosciences*, 6(1), 414–417.
- Mitchell, J. P., Heatherton, T. F. & Macrae, C. N. (2002). Distinct neural systems subserve person and object knowledge. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 99(23), 15238–15243.
- Moll, J., de Oliveira-Souza, R., Bramati, I. E. & Grafman, J. (2002). Functional networks in emotional moral and nonmoral social judgments. *NeuroImage*, 16(3), 696–703.
- Moll, J., Zahn, R., de Oliveira-Souza, R., Krueger, F. & Grafman, J. (2005). The neural basis of human moral cognition. *Nature Reviews Neuroscience*, 6(10), 799–809.

- Moore, C. J. & Price, C. J. (1999). A functional neuroimaging study of the variables that generate category-specific object processing differences. *Brain*, 122(5), 943–962.
- Morán, M. A., Mufson, E. J. & Mesulam, M.-M. (1987). Neural inputs into the temporopolar cortex of the rhesus monkey. *The Journal of Comparative Neurology*, 256(1), 88–103.
- Morecraft, R. J. & Yeterian, E. H. (2002). Prefrontal cortex. In: V. S. Ramachandran (Hrsg.). *Encyclopedia of the Human Brain*, Vol. 4, S. 11–26. New York: Academic Press.
- Morosan, P., Rademacher, J., Schleicher, A., Amunts, K., Schormann, T. & Zilles, K. (2001). Human primary auditory cortex: cytoarchitectonic subdivisions and mapping into a spatial reference system. *NeuroImage*, 13(4), 684–701.
- Moscovitch, C., Kapur, S., Köhler, S. & Houle, S. (1995). Distinct neural correlates of visual long-term memory for spatial location and object identity: a positron emission tomography study in humans. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 92(9), 3721–3725.
- Moscovitch, M., Rosenbaum, R. S., Gilboa, A., Addis, D. R., Westmacott, R., Grady, C., McAndrews, M. P., Levine, B., Black, S. E., Winocur, G. & Nadel, L. (2005). Functional neuroanatomy of remote episodic, semantic and spatial memory: a unified account based on multiple trace theory. *Journal of Anatomy*, 207(1), 35–66.
- Moss, H. E., Rodd, J. M., Stamatakis, E. A., Bright, P. & Tyler, L. K. (2005). Anteromedial temporal cortex supports fine-grained differentiation among objects. *Cerebral Cortex*, 15(5), 616–627.
- Möttönen, R., Calvert, G. A., Jääskeläinen, I. P., Matthews, P. M., Thesen, T., Tuomainen, J. & Sams, M. (2006). Perceiving identical sounds as speech or non-speech modulates activity in the left posterior superior temporal sulcus. *NeuroImage*, 30(2), 563–569.
- Müller, R. A., Rothermel, R. D., Behen, M. E., Muzik, O., Mangner, T. J. & Chugani, H. T. (1997). Receptive and expressive language activations for sentences: a PET study. *Neuroreport*, 8(17), 3767–3770.
- Mummary, C. J., Patterson, K., Hodges, J. R. & Price, C. J. (1998). Functional neuroanatomy of the semantic system: divisible by what? *Journal of Cognitive Neuroscience*, 10(6), 766–777.
- Mummary, C. J., Patterson, K., Price, C. J., Ashburner, J., Frackowiak, R. S. J. & Hodges, J. R. (2000). A voxel-based morphometry study of semantic dementia: relationship between temporal lobe atrophy and semantic memory. *Annals of Neurology*, 47(1), 36–45.
- Myers, E. B., Blumstein, S. E., Walsh, E. & Eliassen, J. (2009). Inferior frontal regions underlie the perception of phonetic category invariance. *Psychological Science*, 20(7), 895–903.

- Nakamura, K., Kawashima, R., Sato, N., Nakamura, A., Sugiura, M., Kato, T., Hatano, K., Ito, K., Fukuda, H., Schormann, T. & Zilles, K. (2000). Functional delineation of the human occipito-temporal areas related to face and scene processing: a PET study. *Brain*, *123*(9), 1903–1912.
- Nakamura, K., Kawashima, R., Sugiura, M., Kato, T., Nakamura, A., Hatano, K., Nagumo, S., Kubota, K., Fukuda, H., Ito, K. & Kojima, S. (2001). Neural substrates for recognition of familiar voices: a PET study. *Neuropsychologia*, *39*(10), 1047–1054.
- Nakamura, K. & Kubota, K. (1996). The primate temporal pole: its putative role in object recognition and memory. *Behavioural Brain Research*, *77*(1-2), 53–77.
- Narain, C., Scott, S. K., Wise, R. J. S., Rosen, S., Leff, A., Iversen, S. D. & Matthews, P. M. (2003). Defining a left-lateralized response specific to intelligible speech using fMRI. *Cerebral Cortex*, *13*(12), 1362–1368.
- Narasimhan, M. S. & Jacobs, R. E. (1996). Neuroanatomical micromagnetic resonance imaging. In: A. W. Toga & J. C. Mazziotta (Hrsg.). *Brain Mapping: The Methods*, S. 147–167. San Diego, CA: Academic Press.
- Neary, D., Snowden, J. S., Gustafson, L., Passant, U., Stuss, D., Black, S. E., Freedman, M., Kertesz, A., Robert, P. H., Albert, M., Boone, K., Miller, B. L., Cummings, J. & Benson, D. F. (1998). Frontotemporal lobar degeneration: a consensus on clinical diagnostic criteria. *Neurology*, *51*(6), 1546–1554.
- Neuner, F. & Schweinberger, S. R. (2000). Neuropsychological impairments in the recognition of faces, voices, and personal names. *Brain and Cognition*, *44*(3), 342–366.
- Noppeney, U. (2008). The neural systems of tool and action semantics: a perspective from functional imaging. *Journal of Physiology Paris*, *102*(1-3), 40–49.
- Noppeney, U., Patterson, K., Tyler, L. K., Moss, H., Stamatakis, E. A., Bright, P., Mummery, C. J. & Price, C. J. (2007). Temporal lobe lesions and semantic impairment: a comparison of herpes simplex virus encephalitis and semantic dementia. *Brain*, *130*(4), 1138–1147.
- Noppeney, U., Phillips, J. A. & Price, C. J. (2004). The neural areas that control the retrieval and selection of semantics. *Neuropsychologia*, *42*(9), 1269–1280.
- Noppeney, U. & Price, C. J. (2004). Retrieval of abstract semantics. *NeuroImage*, *22*(1), 164–170.
- Noppeney, U., Price, C. J., Penny, W. D. & Friston, K. J. (2006). Two distinct neural mechanisms for category-selective responses. *Cerebral Cortex*, *16*(3), 437–445.
- Obleser, J., Boecker, H., Drzezga, A., Haslinger, B., Hennenlotter, A., Roetinger, M., Eulitz, C. & Rauschecker, J. P. (2006). Vowel sound extraction in anterior superior temporal cortex. *Human Brain Mapping*, *27*(7), 562–571.
- Ogar, J. M., Baldo, J. V., Wilson, S. M., Brambati, S. M., Miller, B. L., Dronkers, N. F. & Gorno-Tempini, M. L. (2011). Semantic dementia and persisting Wernicke's aphasia: linguistic and anatomical profiles. *Brain and Language*, *117*(1), 28–33.

- Ogawa, S., Tank, D. W., Menon, R., Ellermann, J. M., Kim, S.-G., Merkle, H. & Ugurbil, K. (1992). Intrinsic signal changes accompanying sensory stimulation: functional brain mapping with magnetic resonance imaging. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 89(13), 5951–5955.
- Ohnesorge, C. & Van Lancker, D. (2001). Cerebral laterality for famous proper nouns: visual recognition by normal subjects. *Brain and Language*, 77(2), 135–165.
- Ojemann, G. A. (1991). Cortical organization of language. *The Journal of Neuroscience*, 11(8), 2281–2287.
- Okada, K., Rong, F., Venezia, J., Matchin, W., Hsieh, I.-H., Saberi, K., Serences, J. T. & Hickok, G. (2010). Hierarchical organization of human auditory cortex: evidence from acoustic invariance in the response to intelligible speech. *Cerebral Cortex*, 20(10), 2486–2495.
- Oldfield, R. C. (1971). The assessment and analysis of handedness: the Edinburgh inventory. *Neuropsychologia*, 9(1), 97–113.
- Olson, I. R., Plotzker, A. & Ezzyat, Y. (2007). The Enigmatic temporal pole: a review of findings on social and emotional processing. *Brain*, 130(7), 1718–1731.
- Öngür, D. & Price, J. L. (2000). The organization of networks within the orbital and medial prefrontal cortex of rats, monkeys and humans. *Cerebral Cortex*, 10(3), 206–219.
- Op de Beeck, H. P., Haushofer, J. & Kanwisher, N. (2008). Interpreting fMRI data: maps, modules and dimensions. *Nature Reviews Neuroscience*, 9(2), 123–135.
- Otsuka, Y., Suzuki, K., Fujii, T., Miura, R., Endo, K., Kondo, H. & Yamadori, A. (2005). Proper name anomia after left temporal subcortical hemorrhage. *Cortex*, 41(1), 39–47.
- Paivio, A. (1991). Dual coding theory: retrospect and current status. *Canadian Journal of Psychology*, 45(3), 255–287.
- Papagno, C., Capasso, R. & Miceli, G. (2009). Reversed concreteness effect for nouns in a subject with semantic dementia. *Neuropsychologia*, 47(4), 1138–1148.
- Papagno, C. & Capitani, E. (1998). Proper name anomia: a case with sparing of the first-letter knowledge. *Neuropsychologia*, 36(7), 669–679.
- Papagno, C. & Capitani, E. (2001). Slowly progressive aphasia: a four-year follow-up study. *Neuropsychologia*, 39(7), 678–686.
- Partiot, A., Grafman, J., Sadato, N., Wachs, J. & Hallett, M. (1995). Brain activation during the generation of non-emotional and emotional plans. *Neuroreport*, 6(10), 1397–1400.
- Patterson, K., Nestor, P. J. & Rogers, T. T. (2007). Where do you know what you know? The representation of semantic knowledge in the human brain. *Nature Reviews Neuroscience*, 8(12), 976–987.

- Pavão Martins, I. & Farrajota, L. (2007). Proper and common names: a double dissociation. *Neuropsychologia*, *45*(8), 1744–1756.
- Pekkola, J., Ojanen, V., Autti, T., Jääskeläinen, I. P., Möttönen, R., Tarkiainen, A. & Sams, M. (2005). Primary auditory cortex activation by visual speech: an fMRI study at 3 T. *Neuroreport*, *16*(2), 125–128.
- Pelphrey, K. A., Morris, J. P., Michelich, C. R., Allison, T. & McCarthy, G. (2005). Functional anatomy of biological motion perception in posterior temporal cortex: an fMRI study of eye, mouth and hand movements. *Cerebral Cortex*, *15*(12), 1866–1876.
- Perani, D., Cappa, S. F., Schnur, T., Tettamanti, M., Collina, S., Rosa, M. M. & Fazio, F. (1999a). The neural correlates of verb and noun processing: a PET study. *Brain*, *122*(12), 2337–2344.
- Perani, D., Schnur, T., Tettamanti, M., Gorno-Tempini, M. L., Cappa, S. F. & Fazio, F. (1999b). Word and picture matching: a PET study of semantic category effects. *Neuropsychologia*, *37*(3), 293–306.
- Pernet, C., Schyns, P. G. & Demonet, J.-F. (2007). Specific, selective or preferential: comments on category specificity in neuroimaging. *NeuroImage*, *35*(3), 991–997.
- Pexman, P. M., Hargreaves, I. S., Edwards, J. D., Henry, L. C. & Goodyear, B. G. (2007). Neural correlates of concreteness in semantic categorization. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *19*(8), 1407–1419.
- Phillips, J. A., Noppeney, U., Humphreys, G. W. & Price, C. J. (2002). Can segregation within the semantic system account for category-specific deficits? *Brain*, *125*(9), 2067–2080.
- Piguet, O., Hornberger, M., Mioshi, E. & Hodges, J. R. (2011). Behavioural-variant frontotemporal dementia: diagnosis, clinical staging, and management. *Lancet Neurology*, *10*(2), 162–172.
- Piolino, P., Giffard-Quillon, G., Desgranges, B., Chételat, G., Baron, J.-C. & Eustache, F. (2004). Re-experiencing old memories via hippocampus: a PET study of autobiographical memory. *NeuroImage*, *22*(3), 1371–1383.
- Pitcher, D., Walsh, V., Yovel, G. & Duchaine, B. (2007). TMS evidence for the involvement of the right occipital face area in early face processing. *Current Biology*, *17*(18), 1568–1573.
- Pobric, G., Jefferies, E. & Lambon Ralph, M. A. (2007). Anterior temporal lobes mediate semantic representation: mimicking semantic dementia by using rTMS in normal participants. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *104*(50), 20137–20141.
- Pobric, G., Jefferies, E. & Lambon Ralph, M. A. (2010a). Amodal semantic representations depend on both anterior temporal lobes: evidence from repetitive transcranial magnetic stimulation. *Neuropsychologia*, *48*(5), 1336–1342.
- Pobric, G., Jefferies, E. & Lambon Ralph, M. A. (2010b). Category-specific versus category-general semantic impairment induced by transcranial magnetic stimulation. *Current Biology*, *20*(10), 964–968.

- Pobric, G., Lambon Ralph, M. A. & Jefferies, E. (2009). The role of the anterior temporal lobes in the comprehension of concrete and abstract words: rTMS evidence. *Cortex*, 45(9), 1104–1110.
- Poremba, A., Saunders, R. C., Crane, A. M., Cook, M., Sokoloff, L. & Mishkin, M. (2003). Functional mapping of the primate auditory system. *Science*, 299(5606), 568–572.
- Pourtois, G., Schwartz, S., Seghier, M. L., Lazeyras, F. & Vuilleumier, P. (2005). View-independent coding of face identity in frontal and temporal cortices is modulated by familiarity: an event-related fMRI study. *NeuroImage*, 24(4), 1214–1224.
- Powell, H. W. R., Parker, G. J. M., Alexander, D. C., Symms, M. R., Boulby, P. A., Wheeler-Kingshott, C. A. M., Barker, G. J., Koepp, M. J. & Duncan, J. S. (2007). Abnormalities of language networks in temporal lobe epilepsy. *NeuroImage*, 36(1), 209–221.
- Price, C. J., Devlin, J. T., Moore, C. J., Morton, C. & Laird, A. R. (2005a). Meta-analyses of object naming: effect of baseline. *Human Brain Mapping*, 25(1), 70–82.
- Price, C. J., Moore, C. J., Humphreys, G. W. & Wise, R. J. S. (1997). Segregating semantic from phonological processes during reading. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 9(6), 727–733.
- Price, C. J., Noppeney, U., Phillips, J. A. & Devlin, J. T. (2003). How is the fusiform gyrus related to category-specificity? *Cognitive Neuropsychology*, 20(3), 561–574.
- Price, C. J., Thierry, G. & Griffiths, T. D. (2005b). Speech-specific auditory processing: where is it? *Trends in Cognitive Sciences*, 9(6), 271–276.
- Pulvermüller, F. (1999). Words in the brain's language. *The Behavioral and Brain Sciences*, 22(2), 253–336.
- Puri, A. M., Wojciulik, E. & Ranganath, C. (2009). Category expectation modulates baseline and stimulus-evoked activity in human inferotemporal cortex. *Brain Research*, 1301(1), 89–99.
- Raizada, R. D. S. & Poldrack, R. A. (2007). Selective amplification of stimulus differences during categorical processing of speech. *Neuron*, 56(4), 726–740.
- Rajimehr, R. & Tootell, R. B. H. (2008). Organisation of human visual cortex. In: R. H. Masland & T. D. Albright (Hrsg.). *The Senses: A Comprehensive Reference*, Vol. 1, S. 595–614. Amsterdam: Elsevier.
- Rämä, P. & Courtney, S. M. (2005). Functional topography of working memory for face or voice identity. *NeuroImage*, 24(1), 224–234.
- Rämä, P., Poremba, A., Sala, J. B., Yee, L., Malloy, M., Mishkin, M. & Courtney, S. M. (2004). Dissociable functional cortical topographies for working memory maintenance of voice identity and location. *Cerebral Cortex*, 14(7), 768–780.
- Ramon, M., Dricot, L. & Rossion, B. (2010). Personally familiar faces are perceived categorically in face-selective regions other than the fusiform face area. *The European Journal of Neuroscience*, 32(9), 1587–1598.

- Rankin, K. P., Gorno-Tempini, M. L., Allison, S. C., Stanley, C. M., Glenn, S., Weiner, M. W. & Miller, B. L. (2006). Structural anatomy of empathy in neurodegenerative disease. *Brain*, 129(11), 2945–2956.
- Rankin, K. P., Kramer, J. H., Mychack, P. & Miller, B. L. (2003). Double dissociation of social functioning in frontotemporal dementia. *Neurology*, 60(2), 266–271.
- Rankin, K. P., Salazar, A., Gorno-Tempini, M. L., Sollberger, M., Wilson, S. M., Pavlic, D., Stanley, C. M., Glenn, S., Weiner, M. W. & Miller, B. L. (2009). Detecting sarcasm from paralinguistic cues: anatomic and cognitive correlates in neurodegenerative disease. *NeuroImage*, 47(4), 2005–2015.
- Rastle, K. & Burke, D. M. (1996). Priming the tip of the tongue: effects of prior processing on word retrieval in young and older adults. *Journal of Memory and Language*, 35(4), 586–605.
- Rauschecker, J. P. & Tian, B. (2000). Mechanisms and streams for processing of “what” and “where” in auditory cortex. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 97(22), 11800–11806.
- Reilly, J., Peelle, J. E. & Grossman, M. (2007). A unitary semantics account of reverse concreteness effects in semantic dementia. *Brain and Language*, 103(1–2), 86–87.
- Reinholz, J. & Pollmann, S. (2005). Differential activation of object-selective visual areas by passive viewing of pictures and words. *Cognitive Brain Research*, 24(3), 702–714.
- Reinkemeier, M., Markowitsch, H. J., Rauch, M. & Kessler, J. (1997). Differential impairments in recalling people’s names: a case study in search of neuro-anatomical correlates. *Neuropsychologia*, 35(5), 677–684.
- Rekkas, P. V. & Constable, R. T. (2005). Evidence that autobiographic memory retrieval does not become independent of the hippocampus: an fMRI study contrasting very recent with remote events. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 17(12), 1950–1961.
- Relander, K. & Rämä, P. (2009). Separate neural processes for retrieval of voice identity and word content in working memory. *Brain Research*, 1252(1), 143–151.
- Rendell, P. G., Castel, A. D. & Craik, F. I. M. (2005). Memory for proper names in old age: a disproportionate impairment? *The Quarterly Journal of Experimental Psychology, Section A: Human Experimental Psychology*, 58(1), 54–71.
- Rhodes, G., Byatt, G., Michie, P. T. & Puce, A. (2004). Is the fusiform face area specialized for faces, individuation, or expert individuation? *Journal of Cognitive Neuroscience*, 16(2), 189–203.
- Riddoch, M. J. & Humphreys, G. W. (1987). A case of integrative visual agnosia. *Brain*, 110(6), 1431–1462.
- Riddoch, M. J. & Humphreys, G. W. (2001). Object recognition. In: B. Rapp (Hrsg.). *The Handbook of Cognitive Neuropsychology*, S. 45–74. Hove, UK: Psychology Press.

- Riddoch, M. J., Humphreys, G. W., Akhtar, N., Allen, H., Bracewell, R. M. & Schofield, A. J. (2008). A tale of two agnosias: distinctions between form and integrative agnosia. *Cognitive Neuropsychology*, 25(1), 56–92.
- Rimol, L. M., Specht, K., Weis, S., Savoy, R. & Hugdahl, K. (2005). Processing of sub-syllabic speech units in the posterior temporal lobe: an fMRI study. *NeuroImage*, 26(4), 1059–1067.
- Rizzolatti, G., Fogassi, L. & Gallese, V. (1997). Parietal cortex: from sight to action. *Current Opinion in Neurobiology*, 7(4), 562–567.
- Rizzolatti, G. & Matelli, M. (2003). Two different streams form the dorsal visual system: anatomy and functions. *Experimental Brain Research*, 153(2), 146–157.
- Robinson, G., Shallice, T. & Cipolotti, L. (2005). A failure of high level verbal response selection in progressive dynamic aphasia. *Cognitive Neuropsychology*, 22(6), 661–694.
- Rodríguez-Ferreiro, J., Gennari, S. P., Davies, R. & Cuetos, F. (2011). Neural correlates of abstract verb processing. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 23(1), 106–118.
- Rogalsky, C. & Hickok, G. (2009). Selective attention to semantic and syntactic features modulates sentence processing networks in anterior temporal cortex. *Cerebral Cortex*, 19(4), 786–796.
- Rogers, T. T., Hocking, J., Noppeney, U., Mechelli, A., Gorno-Tempini, M. L., Patterson, K. & Price, C. J. (2006). Anterior temporal cortex and semantic memory: reconciling findings from neuropsychology and functional imaging. *Cognitive, Affective & Behavioral Neuroscience*, 6(3), 201–213.
- Rogers, T. T. & Patterson, K. (2007). Object categorization: reversals and explanations of the basic-level advantage. *Journal of Experimental Psychology: General*, 136(3), 451–469.
- Rohrer, J. D., McNaught, E., Foster, J., Clegg, S. L., Barnes, J., Omar, R., Warrington, E. K., Rossor, M. N., Warren, J. D. & Fox, N. C. (2008). Tracking progression in frontotemporal lobar degeneration: serial MRI in semantic dementia. *Neurology*, 71(18), 1445–1451.
- Rohrer, J. D. & Warren, J. D. (2010). Phenomenology and anatomy of abnormal behaviours in primary progressive aphasia. *Journal of the Neurological Sciences*, 293(1-2), 35–38.
- Rohrer, J. D., Warren, J. D., Modat, M., Ridgway, G. R., Douiri, A., Rossor, M. N., Ourselin, S. & Fox, N. C. (2009). Patterns of cortical thinning in the language variants of frontotemporal lobar degeneration. *Neurology*, 72(18), 1562–1569.
- Romanski, L. M., Bates, J. F. & Goldman-Rakic, P. S. (1999). Auditory belt and parabelt projections to the prefrontal cortex in the rhesus monkey. *The Journal of Comparative Neurology*, 403(2), 141–157.
- Rosa, M. G. P. (2002). Visual cortex. In: V. S. Ramachandran (Hrsg.). *Encyclopedia of the Human Brain*, Vol. 4, S. 753–773. New York: Academic Press.
- Rosch, E., Mervis, C. B., Gray, W. D., Johnson, D. M. & Boyes-Braem, P. (1976). Basic objects in natural categories. *Cognitive Psychology*, 8(3), 382–439.

- Rosen, H. J., Allison, S. C., Ogar, J. M., Amici, S., Rose, K., Dronkers, N. F., Miller, B. L. & Gorno-Tempini, M. L. (2006). Behavioral features in semantic dementia vs other forms of progressive aphasia. *Neurology*, 67(10), 1752–1756.
- Rosen, H. J., Allison, S. C., Schauer, G. F., Gorno-Tempini, M. L., Weiner, M. W. & Miller, B. L. (2005). Neuroanatomical correlates of behavioural disorders in dementia. *Brain*, 128(11), 2612–2625.
- Rosen, H. J., Gorno-Tempini, M. L., Goldman, W. P., Perry, R. J., Schuff, N., Weiner, M. W., Feiwell, R., Kramer, J. H. & Miller, B. L. (2002). Patterns of brain atrophy in frontotemporal dementia and semantic dementia. *Neurology*, 58(2), 198–208.
- Ross, L. A. & Olson, I. R. (2010). Social cognition and the anterior temporal lobes. *NeuroImage*, 49(4), 3452–3462.
- Rossion, B., Dricot, L., Devolder, A., Bodart, J. M., Crommelinck, M., De Gelder, B. & Zoontjes, R. (2000). Hemispheric asymmetries for whole-based and part-based face processing in the human fusiform gyrus. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 12(5), 793–802.
- Rossion, B. & Pourtois, G. (2004). Revisiting Snodgrass and Vanderwart's object pictorial set: the role of surface detail in basic-level object recognition. *Perception*, 33(2), 217–236.
- Rotshtein, P., Henson, R. N. A., Treves, A., Driver, J. & Dolan, R. J. (2005). Morphing Marilyn into Maggie dissociates physical and identity face representations in the brain. *Nature Neuroscience*, 8(1), 107–113.
- Rudrauf, D., Mehta, S., Bruss, J., Tranel, D., Damasio, H. & Grabowski, T. J. (2008). Thresholding lesion overlap difference maps: application to category-related naming and recognition deficits. *NeuroImage*, 41(3), 970–984.
- Rugg, M. D. (1999). Functional neuroimaging in cognitive neuroscience. In: C. M. Brown & P. Hagoort (Hrsg.). *The Neurocognition of Language*, S. 15–36. Oxford, UK: Oxford University Press.
- Sabsevitz, D. S., Medler, D. A., Seidenberg, M. & Binder, J. R. (2005). Modulation of the semantic system by word imageability. *NeuroImage*, 27(1), 188–200.
- Saetti, M. C., Marangolo, P., De Renzi, E., Rinaldi, M. C. & Lattanzi, E. (1999). The nature of the disorder underlying the inability to retrieve proper names. *Cortex*, 35(5), 675–685.
- Saffran, E. M., Schwartz, M. F. & Marin, O. S. M. (1976). Semantic mechanisms in paralexia. *Brain and Language*, 3(2), 255–265.
- Saleem, K. S., Kondo, H. & Price, J. L. (2008). Complementary circuits connecting the orbital and medial prefrontal networks with the temporal, insular, and opercular cortex in the macaque monkey. *The Journal of Comparative Neurology*, 506(4), 659–693.
- Saleem, K. S., Suzuki, W., Tanaka, K. & Hashikawa, T. (2000). Connections between anterior inferotemporal cortex and superior temporal sulcus regions in the macaque monkey. *The Journal of Neuroscience*, 20(13), 5083–5101.

- Samson, D. & Pillon, A. (2003). A case of impaired knowledge for fruit and vegetables. *Cognitive Neuropsychology*, 20(3), 373–400.
- Sanders, J. A. (1995). Magnetic resonance imaging. In: W. W. Orrison, J. D. Lewine, J. A. Sanders & M. F. Hartshorne (Hrsg.). *Functional Brain Imaging*, S. 145–186. St. Louis: Mosby.
- Sartori, G. & Job, R. (1988). The oyster with four legs: A neuropsychological study on the interaction of visual and semantic information. *Cognitive Neuropsychology*, 5(1), 105–132.
- Sartori, G., Job, R., Miozzo, M., Zago, S. & Marchiori, G. (1993). Category-specific form-knowledge deficit in a patient with herpes simplex virus encephalitis. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 15(2), 280–299.
- Savoy, R. L. (2002). Functional magnetic resonance imaging. In: V. S. Ramachandran (Hrsg.). *Encyclopedia of the Human Brain*, Vol. 2, S. 327–351. San Diego, CA: Academic Press.
- Schmahmann, J. D., Pandya, D. N., Wang, R., Dai, G., D'Arceuil, H. E., de Crespigny, A. J. & Wedeen, V. J. (2007). Association fibre pathways of the brain: parallel observations from diffusion spectrum imaging and autoradiography. *Brain*, 130(3), 630–653.
- Schmidt, D. & Buchanan, L. (2004). Sparing of written production of proper nouns and dates in aphasia. *Brain and Cognition*, 55(2), 406–408.
- Schroeder, C. E. & Foxe, J. (2005). Multisensory contributions to low-level, “unisensory” processing. *Current Opinion in Neurobiology*, 15(4), 454–458.
- Schultz, R. T., Grelotti, D. J., Klin, A., Kleinman, J., Van der Gaag, C., Marois, R. & Skudlarski, P. (2003). The role of the fusiform face area in social cognition: implications for the pathobiology of autism. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Series B: Biological Sciences*, 358(1430), 415–427.
- Schwartz, M. F., Kimberg, D. Y., Walker, G. M., Brecher, A., Faseyitan, O. K., Dell, G. S., Mirman, D. & Coslett, H. B. (2011). Neuroanatomical dissociation for taxonomic and thematic knowledge in the human brain. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 108(20), 8520–8524.
- Schwartz, M. F., Kimberg, D. Y., Walker, G. M., Faseyitan, O., Brecher, A., Dell, G. S. & Coslett, H. B. (2009). Anterior temporal involvement in semantic word retrieval: voxel-based lesion-symptom mapping evidence from aphasia. *Brain*, 132(12), 3411–3427.
- Scott, S. K., Blank, C. C., Rosen, S. & Wise, R. J. S. (2000). Identification of a pathway for intelligible speech in the left temporal lobe. *Brain*, 123(12), 2400–2406.
- Scott, S. K. & Johnsrude, I. S. (2003). The neuroanatomical and functional organization of speech perception. *Trends in Neurosciences*, 26(2), 100–107.

- Scott, S. K., Rosen, S., Lang, H. & Wise, R. J. S. (2006). Neural correlates of intelligibility in speech investigated with noise vocoded speech: a positron emission tomography study. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 120(2), 1075–1083.
- Scott, S. K. & Wise, R. J. S. (2004). The functional neuroanatomy of prelexical processing in speech perception. *Cognition*, 92(1-2), 13–45.
- Seeley, W. W., Bauer, A. M., Miller, B. L., Gorno-Tempini, M. L., Kramer, J. H., Weiner, M. W. & Rosen, H. J. (2005). The natural history of temporal variant frontotemporal dementia. *Neurology*, 64(8), 1384–1390.
- Seidenberg, M., Griffith, R., Sabsevitz, D., Moran, M., Haltiner, A., Bell, B., Swanson, S., Hammeke, T. & Hermann, B. (2002). Recognition and identification of famous faces in patients with unilateral temporal lobe epilepsy. *Neuropsychologia*, 40(4), 446–456.
- Seltzer, B. & Pandya, D. N. (1978). Afferent cortical connections and architectonics of the superior temporal sulcus and surrounding cortex in the rhesus monkey. *Brain Research*, 149(1), 1–24.
- Seltzer, B. & Pandya, D. N. (1984). Further observations on parieto-temporal connections in the rhesus monkey. *Experimental Brain Research*, 55(2), 301–312.
- Seltzer, B. & Pandya, D. N. (1989). Intrinsic connections and architectonics of the superior temporal sulcus in the rhesus monkey. *The Journal of Comparative Neurology*, 290(4), 451–471.
- Seltzer, B. & Pandya, D. N. (1994). Parietal, temporal, and occipital projections to cortex of the superior temporal sulcus in the rhesus monkey: a retrograde tracer study. *The Journal of Comparative Neurology*, 343(3), 445–463.
- Semenza, C. (2006). Retrieval pathways for common and proper names. *Cortex*, 42(6), 884–891.
- Semenza, C. (2009). The neuropsychology of proper names. *Mind & Language*, 24(4), 347–369.
- Semenza, C., Mondini, S. & Zettin, M. (1995). The anatomical basis of proper name processing: a critical review. *Neurocase*, 1(2), 183–188.
- Semenza, C. & Sgaramella, T. M. (1993). Production of proper names: a clinical case study of the effects of phonemic cueing. *Memory*, 1(4), 265–280.
- Semenza, C. & Zettin, M. (1988). Generating proper names: a case of selective inability. *Cognitive Neuropsychology*, 5(6), 711–721.
- Semenza, C. & Zettin, M. (1989). Evidence from aphasia for the role of proper names as pure referring expressions. *Nature*, 342(6250), 678–679.
- Sergent, J., MacDonald, B. & Zuck, E. (1994). Structural and functional organization of knowledge about faces and proper names: a positron emission tomography study. In: C. Umiltà & M. Moscovitch (Hrsg.). *Attention and Performance XV: Conscious and Nonconscious Information Processing*, S. 203–228. Cambridge, MA: MIT Press.

- Sergent, J., Ohta, S. & MacDonald, B. (1992). Functional neuroanatomy of face and object processing: a positron emission tomography study. *Brain*, 115(1), 15–36.
- Servos, P. & Goodale, M. A. (1995). Preserved visual imagery in visual form agnosia. *Neuropsychologia*, 33(11), 1383–1394.
- Shah, N. J., Marshall, J. C., Zafiris, O., Schwab, A., Zilles, K., Markowitsch, H. J. & Fink, G. R. (2001). The neural correlates of person familiarity: a functional magnetic resonance imaging study with clinical implications. *Brain*, 124(4), 804–815.
- Shallice, T. & Kartsounis, L. D. (1993). Selective impairment of retrieving people's names: a category specific disorder? *Cortex*, 29(2), 281–291.
- Shelton, P. A., Bowers, D., Duara, R. & Heilman, K. M. (1994). Apperceptive visual agnosia: a case study. *Brain and Cognition*, 25(1), 1–23.
- Silveri, M. C. & Gainotti, G. (1988). Interaction between vision and language in category-specific semantic impairment. *Cognitive Neuropsychology*, 5(6), 677–709.
- Simmons, W. K. & Barsalou, L. W. (2003). The similarity-in-topography principle: reconciling theories of conceptual deficits. *Cognitive Neuropsychology*, 20(3), 451–486.
- Simmons, W. K., Ramjee, V., Beauchamp, M. S., McRae, K., Martin, A. & Barsalou, L. W. (2007). A common neural substrate for perceiving and knowing about color. *Neuropsychologia*, 45(12), 2802–2810.
- Simmons, W. K., Reddish, M., Bellgowan, P. S. F. & Martin, A. (2010). The selectivity and functional connectivity of the anterior temporal lobes. *Cerebral Cortex*, 20(4), 813–825.
- Simons, J. S., Graham, K. S., Owen, A. M., Patterson, K. & Hodges, J. R. (2001). Perceptual and semantic components of memory for objects and faces: a PET study. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 13(4), 430–443.
- Sirigu, A., Duhamel, J.-R. & Poncet, M. (1991). The role of sensorimotor experience in object recognition: a case of multimodal agnosia. *Brain*, 114(6), 2555–2573.
- Smiley, J. F. & Falchier, A. (2009). Multisensory connections of monkey auditory cerebral cortex. *Hearing Research*, 258(1-2), 37–46.
- Snijders, T. M., Vosse, T., Kempen, G., Van Berkum, J. J. A., Petersson, K. M. & Hagoort, P. (2009). Retrieval and unification of syntactic structure in sentence comprehension: an fMRI study using word-category ambiguity. *Cerebral Cortex*, 19(7), 1493–1503.
- Snowden, J. S., Griffiths, H. L. & Neary, D. (1996). Semantic-episodic memory interactions in semantic dementia: implications for retrograde memory function. *Cognitive Neuropsychology*, 13(8), 1101–1139.
- Snowden, J. S., Thompson, J. C. & Neary, D. (2004). Knowledge of famous faces and names in semantic dementia. *Brain*, 127(4), 860–872.

- Specht, K. & Reul, J. (2003). Functional segregation of the temporal lobes into highly differentiated subsystems for auditory perception: an auditory rapid event-related fMRI-task. *NeuroImage*, 20(4), 1944–1954.
- Spiridon, M. & Kanwisher, N. (2002). How distributed is visual category information in human occipito-temporal cortex? An fMRI study. *Neuron*, 35(6), 1157–1165.
- Spitsyna, G., Warren, J. E., Scott, S. K., Turkheimer, F. E. & Wise, R. J. S. (2006). Converging language streams in the human temporal lobe. *The Journal of Neuroscience*, 26(28), 7328–7336.
- Stark, C. E. & Squire, L. R. (2001). When zero is not zero: the problem of ambiguous baseline conditions in fMRI. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 98(22), 12760–12766.
- Steeves, J. K. E., Culham, J. C., Duchaine, B. C., Cavina-Pratesi, C., Valyear, K. F., Schindler, I., Humphrey, G. K., Milner, A. D. & Goodale, M. A. (2006). The fusiform face area is not sufficient for face recognition: evidence from a patient with dense prosopagnosia and no occipital face area. *Neuropsychologia*, 44(4), 594–609.
- Steinvorth, S., Corkin, S. & Halgren, E. (2006). Ecphory of autobiographical memories: an fMRI study of recent and remote memory retrieval. *NeuroImage*, 30(1), 285–298.
- Steinvorth, S., Levine, B. & Corkin, S. (2005). Medial temporal lobe structures are needed to re-experience remote autobiographical memories: evidence from H.M. and W.R. *Neuropsychologia*, 43(4), 479–496.
- Stevens, A. A. (2004). Dissociating the cortical basis of memory for voices, words and tones. *Cognitive Brain Research*, 18(2), 162–171.
- Stöcker, T. & Shah, N. J. (2007). Grundlagen der MR-Bildgebung. In: F. Schneider & G. R. Fink (Hrsg.). *Funktionelle MRT in Psychiatrie und Neurologie*, S. 61–78. Heidelberg: Springer.
- Stowe, L. A., Broere, C. A., Paans, A. M., Wijers, A. A., Mulder, G., Vaalburg, W. & Zwarts, F. (1998). Localizing components of a complex task: sentence processing and working memory. *Neuroreport*, 9(13), 2995–2999.
- Stowe, L. A., Haverkort, M. & Zwarts, F. (2005). Rethinking the neurological basis of language. *Lingua*, 115(7), 997–1042.
- Studer, T. & Hübner, R. (2008). The direction of hemispheric asymmetries for object categorization at different levels of abstraction depends on the task. *Brain and Cognition*, 67(2), 197–211.
- Sugiura, M., Kawashima, R., Nakamura, K., Sato, N., Nakamura, A., Kato, T., Hatanoto, K., Schormann, T., Zilles, K., Sato, K., Ito, K. & Fukuda, H. (2001). Activation reduction in anterior temporal cortices during repeated recognition of faces of personal acquaintances. *NeuroImage*, 13(5), 877–890.
- Sugiura, M., Mano, Y., Sasaki, A. & Sadato, N. (2011). Beyond the memory mechanism: person-selective and nonselective processes in recognition of personally familiar faces. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 23(3), 699–715.

- Sugiura, M., Sassa, Y., Watanabe, J., Akitsuki, Y., Maeda, Y., Matsue, Y., Fukuda, H. & Kawashima, R. (2006). Cortical mechanisms of person representation: recognition of famous and personally familiar names. *NeuroImage*, 31(2), 853–860.
- Sugiura, M., Sassa, Y., Watanabe, J., Akitsuki, Y., Maeda, Y., Matsue, Y. & Kawashima, R. (2009). Anatomical segregation of representations of personally familiar and famous people in the temporal and parietal cortices. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 21(10), 1855–1868.
- Sugiura, M., Shah, N. J., Zilles, K. & Fink, G. R. (2005). Cortical representations of personally familiar objects and places: functional organization of the human posterior cingulate cortex. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 17(2), 183–198.
- Sunaert, S., Van Hecke, P., Marchal, G. & Orban, G. A. (1999). Motion-responsive regions of the human brain. *Experimental Brain Research*, 127(4), 355–370.
- Svoboda, E., McKinnon, M. C. & Levine, B. (2006). The functional neuroanatomy of autobiographical memory: a meta-analysis. *Neuropsychologia*, 44(12), 2189–2208.
- Talairach, J. & Tournoux, P. (1988). *3-Dimensional Proportional System: An Approach to Cerebral Imaging*. Stuttgart: Thieme.
- Tanaka, J. W. (2001). The entry point of face recognition: evidence for face expertise. *Journal of Experimental Psychology: General*, 130(3), 534–543.
- Tanaka, J. W. & Taylor, M. (1991). Object categories and expertise: is the basic level in the eye of the beholder? *Cognitive Psychology*, 23(3), 457–482.
- Tavares, P., Lawrence, A. D. & Barnard, P. J. (2008). Paying attention to social meaning: an fMRI study. *Cerebral Cortex*, 18(8), 1876–1885.
- Taylor, K. I., Moss, H. E., Stamatakis, E. A. & Tyler, L. K. (2006). Binding crossmodal object features in perirhinal cortex. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 103(21), 8239–8244.
- Taylor, K. I., Stamatakis, E. A. & Tyler, L. K. (2009). Crossmodal integration of object features: voxel-based correlations in brain-damaged patients. *Brain*, 132(3), 671–683.
- Tettamanti, M., Manenti, R., Della Rosa, P. A., Falini, A., Perani, D., Cappa, S. F. & Moro, A. (2008). Negation in the brain: modulating action representations. *NeuroImage*, 43(2), 358–367.
- Thierry, G., Giraud, A.-L. & Price, C. J. (2003). Hemispheric dissociation in access to the human semantic system. *Neuron*, 38(3), 499–506.
- Thierry, G. & Price, C. J. (2006). Dissociating verbal and nonverbal conceptual processing in the human brain. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 18(6), 1018–1028.
- Thompson, S. A., Graham, K. S., Williams, G., Patterson, K., Kapur, N. & Hodges, J. R. (2004). Dissociating person-specific from general semantic knowledge: roles of the left and right temporal lobes. *Neuropsychologia*, 42(3), 359–370.

- Thompson, S. A., Patterson, K. & Hodges, J. R. (2003). Left/right asymmetry of atrophy in semantic dementia: behavioral-cognitive implications. *Neurology*, 61(9), 1196–1203.
- Thompson-Schill, S. L., Swick, D., Farah, M. J., D'Esposito, M., Kan, I. P. & Knight, R. T. (1998). Verb generation in patients with focal frontal lesions: a neuropsychological test of neuroimaging findings. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 95(26), 15855–15860.
- Tippett, L. J., Glosser, G. & Farah, M. J. (1996). A category-specific naming impairment after temporal lobectomy. *Neuropsychologia*, 34(2), 139–146.
- Tippett, L. J., Miller, L. A. & Farah, M. J. (2000). Prosopamnesia: a selective impairment in face learning. *Cognitive Neuropsychology*, 17(1), 241–255.
- Todorov, A., Gobbini, M. I., Evans, K. K. & Haxby, J. V. (2007). Spontaneous retrieval of affective person knowledge in face perception. *Neuropsychologia*, 45(1), 163–173.
- Tong, F., Nakayama, K., Moscovitch, M., Weinrib, O. & Kanwisher, N. (2000). Response properties of the human fusiform face area. *Cognitive Neuropsychology*, 17(1), 257–280.
- Tootell, R. B. H., Reppas, J. B., Kwong, K. K., Malach, R., Born, R. T., Brady, T. J., Rosen, B. R. & Belliveau, J. W. (1995). Functional analysis of human MT and related visual cortical areas using magnetic resonance imaging. *The Journal of Neuroscience*, 15(4), 3215–3230.
- Tranel, D. (2009). The left temporal pole is important for retrieving words for unique concrete entities. *Aphasiology*, 23(7), 867–867.
- Tranel, D., Damasio, H. & Damasio, A. R. (1997). A neural basis for the retrieval of conceptual knowledge. *Neuropsychologia*, 35(10), 1319–1327.
- Tranel, D., Damasio, H., Eichhorn, G. R., Grabowski, T., Ponto, L. L. & Hichwa, R. D. (2003a). Neural correlates of naming animals from their characteristic sounds. *Neuropsychologia*, 41(7), 847–854.
- Tranel, D., Grabowski, T. J., Lyon, J. & Damasio, H. (2005). Naming the same entities from visual or from auditory stimulation engages similar regions of left inferotemporal cortices. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 17(8), 1293–1305.
- Tranel, D., Kemmerer, D., Adolphs, R., Damasio, H. & Damasio, A. R. (2003b). Neural correlates of conceptual knowledge for actions. *Cognitive Neuropsychology*, 20(3), 409–432.
- Tsukiura, T., Fujii, T., Fukatsu, R., Otsuki, T., Okuda, J., Umetsu, A., Suzuki, K., Tabuchi, M., Yanagawa, I., Nagasaka, T., Kawashima, R., Fukuda, H., Takahashi, S. & Yamadori, A. (2002). Neural basis of the retrieval of people's names: evidence from brain-damaged patients and fMRI. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 14(6), 922–937.
- Tsukiura, T., Mano, Y., Sekiguchi, A., Yomogida, Y., Hoshi, K., Kambara, T., Takeuchi, H., Sugiura, M. & Kawashima, R. (2010). Dissociable roles of the anterior temporal regions in successful encoding of memory for person identity information. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 22(10), 2226–2237.

- Tsukiura, T., Mochizuki-Kawai, H. & Fujii, T. (2006). Dissociable roles of the bilateral anterior temporal lobe in face-name associations: an event-related fMRI study. *NeuroImage*, 30(2), 617–626.
- Tsukiura, T., Suzuki, C., Shigemune, Y. & Mochizuki-Kawai, H. (2008). Differential contributions of the anterior temporal and medial temporal lobe to the retrieval of memory for person identity information. *Human Brain Mapping*, 29(12), 1343–1354.
- Turner, R., Howseman, A., Rees, G. E., Josephs, O. & Friston, K. J. (1998). Functional magnetic resonance imaging of the human brain: data acquisition and analysis. *Experimental Brain Research*, 123(1-2), 5–12.
- Tusa, R. J. & Ungerleider, L. G. (1985). The inferior longitudinal fasciculus: a reexamination in humans and monkeys. *Annals of Neurology*, 18(5), 583–591.
- Tyler, L. K. & Moss, H. E. (2001). Towards a distributed account of conceptual knowledge. *Trends in Cognitive Sciences*, 5(6), 244–252.
- Tyler, L. K., Stamatakis, E. A., Bright, P., Acres, K., Abdallah, S., Rodd, J. M. & Moss, H. E. (2004). Processing objects at different levels of specificity. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 16(3), 351–362.
- Uchiyama, H., Seki, A., Kageyama, H., Saito, D. N., Koeda, T., Ohno, K. & Sada- to, N. (2006). Neural substrates of sarcasm: a functional magnetic-resonance imaging study. *Brain Research*, 1124(1), 100–110.
- Ungerleider, L. G., Galkin, T. W., Desimone, R. & Gattass, R. (2008). Cortical connections of area V4 in the macaque. *Cerebral Cortex*, 18(3), 477–499.
- Ungerleider, L. G. & Haxby, J. V. (1994). “What” and “where” in the human brain. *Current Opinion in Neurobiology*, 4(2), 157–165.
- Ungerleider, L. G. & Mishkin, M. (1982). Two cortical visual systems. In: D. J. Ingle, M. A. Goodale & R. J. W. Mansfield (Hrsg.). *Analysis of Visual Behavior*, S. 549–586. Cambridge, MA: The MIT Press.
- Valentine, T., Brennen, T. & Brédart, S. (1996). *The Cognitive Psychology of Proper Names: On the Importance of Being Ernest*. London: Routledge.
- van Dam, W. O., Rueschemeyer, S.-A. & Bekkering, H. (2010). How specifically are action verbs represented in the neural motor system: an fMRI study. *Neuro- Image*, 53(4), 1318–1325.
- Van Lancker, D. (1991). Personal relevance and the human right hemisphere. *Brain and Cognition*, 17(1), 64–92.
- Van Lancker, D. & Canter, G. J. (1982). Impairment of voice and face recognition in patients with hemispheric damage. *Brain and Cognition*, 1(2), 185–195.
- Van Lancker, D. & Klein, K. (1990). Preserved recognition of familiar personal names in global aphasia. *Brain and Language*, 39(4), 511–529.
- Vandenberghe, R., Nobre, A. C. & Price, C. J. (2002). The response of left temporal cortex to sentences. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 14(4), 550–560.

- Vandenberghe, R., Price, C. J., Wise, R. J. S., Josephs, O. & Frackowiak, R. S. J. (1996). Functional anatomy of a common semantic system for words and pictures. *Nature*, 383(6597), 254–256.
- Vannuscorps, G. & Pillon, A. (2011). A domain-specific system for representing knowledge of both man-made objects and human actions: evidence from a case with an association of deficits. *Neuropsychologia*, 49(9), 2321–2341.
- Vigliocco, G., Meteyard, L., Andrews, M. & Kousta, S. (2009). Toward a theory of semantic representation. *Language and Cognition*, 1(2), 219–247.
- Viskontas, I. V., McAndrews, M. P. & Moscovitch, M. (2002). Memory for famous people in patients with unilateral temporal lobe epilepsy and excisions. *Neuropsychology*, 16(4), 472–480.
- Visser, M., Embleton, K. V., Jefferies, E., Parker, G. J. & Lambon Ralph, M. A. (2010a). The inferior, anterior temporal lobes and semantic memory clarified: novel evidence from distortion-corrected fMRI. *Neuropsychologia*, 48(6), 1689–1696.
- Visser, M., Jefferies, E. & Lambon Ralph, M. A. (2010b). Semantic processing in the anterior temporal lobes: a meta-analysis of the functional neuroimaging literature. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 22(6), 1083–1094.
- Visser, M. & Lambon Ralph, M. A. (2011). Differential contributions of bilateral ventral anterior temporal lobe and left anterior superior temporal gyrus to semantic processes. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 23(10), 3121–3131.
- Vitali, P., Abutalebi, J., Tettamanti, M., Rowe, J., Scifo, P., Fazio, F., Cappa, S. F. & Perani, D. (2005). Generating animal and tool names: an fMRI study of effective connectivity. *Brain and Language*, 93(1), 32–45.
- Vogeley, K., Bussfeld, P., Newen, A., Herrmann, S., Happé, F., Falkai, P., Maier, W., Shah, N. J., Fink, G. R. & Zilles, K. (2001). Mind reading: neural mechanisms of theory of mind and self-perspective. *NeuroImage*, 14(1), 170–181.
- von Kriegstein, K., Eger, E., Kleinschmidt, A. & Giraud, A.-L. (2003). Modulation of neural responses to speech by directing attention to voices or verbal content. *Cognitive Brain Research*, 17(1), 48–55.
- von Kriegstein, K. & Giraud, A.-L. (2004). Distinct functional substrates along the right superior temporal sulcus for the processing of voices. *NeuroImage*, 22(2), 948–955.
- von Kriegstein, K., Kleinschmidt, A., Sterzer, P. & Giraud, A.-L. (2005). Interaction of face and voice areas during speaker recognition. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 17(3), 367–376.
- Vouloumanos, A., Kiehl, K. A., Werker, J. F. & Liddle, P. F. (2001). Detection of sounds in the auditory stream: event-related fMRI evidence for differential activation to speech and nonspeech. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 13(7), 994–1005.
- Wakana, S., Jiang, H., Nagae-Poetscher, L. M., van Zijl, P. C. M. & Mori, S. (2004). Fiber tract-based atlas of human white matter anatomy. *Radiology*, 230(1), 77–87.

- Wakusawa, K., Sugiura, M., Sassa, Y., Jeong, H., Horie, K., Sato, S., Yokoyama, H., Tsuchiya, S., Inuma, K. & Kawashima, R. (2007). Comprehension of implicit meanings in social situations involving irony: a functional MRI study. *NeuroImage*, 37(4), 1417–1426.
- Walker, G. M., Schwartz, M. F., Kimberg, D. Y., Faseyitan, O., Brecher, A., Dell, G. S. & Coslett, H. B. (2011). Support for anterior temporal involvement in semantic error production in aphasia: new evidence from VLSM. *Brain and Language*, 117(3), 110–122.
- Wallentin, M., Ostergaard, S., Lund, T. E., Ostergaard, L. & Roepstorff, A. (2005). Concrete spatial language: see what I mean? *Brain and Language*, 92(3), 221–233.
- Warren, J. D. & Griffiths, T. D. (2003). Distinct mechanisms for processing spatial sequences and pitch sequences in the human auditory brain. *The Journal of Neuroscience*, 23(13), 5799–5804.
- Warren, J. D., Jennings, A. R. & Griffiths, T. D. (2005a). Analysis of the spectral envelope of sounds by the human brain. *NeuroImage*, 24(4), 1052–1057.
- Warren, J. D., Scott, S. K., Price, C. J. & Griffiths, T. D. (2006). Human brain mechanisms for the early analysis of voices. *NeuroImage*, 31(3), 1389–1397.
- Warren, J. E., Wise, R. J. S. & Warren, J. D. (2005b). Sounds do-able: auditory-motor transformations and the posterior temporal plane. *Trends in Neurosciences*, 28(12), 636–643.
- Warrington, E. K. & McCarthy, R. A. (1987). Categories of knowledge: further fractionations and an attempted integration. *Brain*, 110(5), 1273–1296.
- Warrington, E. K. & Shallice, T. (1984). Category specific semantic impairments. *Brain*, 107(3), 829–854.
- Watson, J. D., Myers, R., Frackowiak, R. S. J., Hajnal, J. V., Woods, R. P., Mazziotta, J. C., Shipp, S. & Zeki, S. (1993). Area V5 of the human brain: evidence from a combined study using positron emission tomography and magnetic resonance imaging. *Cerebral Cortex*, 3(2), 79–94.
- Weishaupt, D., Köchli, V. D. & Marinček, B. (2009). *Wie funktioniert MRI? Eine Einführung in Physik und Funktionsweise der Magnetresonanztomographie*. Heidelberg: Springer.
- Westmacott, R., Black, S. E., Freedman, M. & Moscovitch, M. (2004). The contribution of autobiographical significance to semantic memory: evidence from Alzheimer's disease, semantic dementia, and amnesia. *Neuropsychologia*, 42(1), 25–48.
- Westmacott, R. & Moscovitch, M. (2003). The contribution of autobiographical significance to semantic memory. *Memory & Cognition*, 31(5), 761–774.
- Wheatley, T., Weisberg, J., Beauchamp, M. S. & Martin, A. (2005). Automatic priming of semantically related words reduces activity in the fusiform gyrus. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 17(12), 1871–1885.

- Whitney, C., Jefferies, E. & Kircher, T. (2011). Heterogeneity of the left temporal lobe in semantic representation and control: priming multiple versus single meanings of ambiguous words. *Cerebral Cortex*, *21*(4), 831–844.
- Whitwell, J. L., Przybelski, S. A., Weigand, S. D., Ivnik, R. J., Vemuri, P., Gunter, J. L., Senjem, M. L., Shiung, M. M., Boeve, B. F., Knopman, D. S., Parisi, J. E., Dickson, D. W., Petersen, R. C., Jack, C. R. & Josephs, K. A. (2009). Distinct anatomical subtypes of the behavioural variant of frontotemporal dementia: a cluster analysis study. *Brain*, *132*(11), 2932–2946.
- Wiggett, A. J., Pritchard, I. C. & Downing, P. E. (2009). Animate and inanimate objects in human visual cortex: evidence for task-independent category effects. *Neuropsychologia*, *47*(14), 3111–3117.
- Williams, G. B., Nestor, P. J. & Hodges, J. R. (2005). Neural correlates of semantic and behavioural deficits in frontotemporal dementia. *NeuroImage*, *24*(4), 1042–1051.
- Wilson, F. A., Scaldidhe, S. P. & Goldman-Rakic, P. S. (1993). Dissociation of object and spatial processing domains in primate prefrontal cortex. *Science*, *260*(5116), 1955–1958.
- Wirth, M., Jann, K., Dierks, T., Federspiel, A., Wiest, R. & Horn, H. (2011). Semantic memory involvement in the default mode network: a functional neuroimaging study using independent component analysis. *NeuroImage*, *54*(4), 3057–3066.
- Wolk, D. A., Coslett, H. B. & Glosser, G. (2005). The role of sensory-motor information in object recognition: evidence from category-specific visual agnosia. *Brain and Language*, *94*(2), 131–146.
- Yarkoni, T., Speer, N. K. & Zacks, J. M. (2008). Neural substrates of narrative comprehension and memory. *NeuroImage*, *41*(4), 1408–1425.
- Yasuda, K., Beckmann, B. & Nakamura, T. (2000). Brain processing of proper names. *Aphasiology*, *14*(11), 1067–1089.
- Yasuda, K. & Ono, Y. (1998). Comprehension of famous personal and geographical names in global aphasic subjects. *Brain and Language*, *61*(2), 274–287.
- Yi, H.-A., Moore, P. & Grossman, M. (2007). Reversal of the concreteness effect for verbs in patients with semantic dementia. *Neuropsychology*, *21*(1), 9–19.
- Yucus, C. J. & Tranel, D. (2007). Preserved proper naming following left anterior temporal lobectomy is associated with early age of seizure onset. *Epilepsia*, *48*(12), 2241–2252.
- Zaehle, T., Geiser, E., Alter, K., Jäncke, L. & Meyer, M. (2008). Segmental processing in the human auditory dorsal stream. *Brain Research*, *1220*(1), 179–190.
- Zahn, R., Moll, J., Iyengar, V., Huey, E. D., Tierney, M., Krueger, F. & Grafman, J. (2009). Social conceptual impairments in frontotemporal lobar degeneration with right anterior temporal hypometabolism. *Brain*, *132*(3), 604–616.

- Zahn, R., Moll, J., Krueger, F., Huey, E. D., Garrido, G. & Grafman, J. (2007). Social concepts are represented in the superior anterior temporal cortex. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 104(15), 6430–6435.
- Zamboni, G., Huey, E. D., Krueger, F., Nichelli, P. F. & Grafman, J. (2008). Apathy and disinhibition in frontotemporal dementia: insights into their neural correlates. *Neurology*, 71(10), 736–742.
- Zannino, G. D., Buccione, I., Perri, R., Macaluso, E., Lo Gerfo, E., Caltagirone, C. & Carlesimo, G. A. (2010). Visual and semantic processing of living things and artifacts: an fMRI study. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 22(3), 554–570.
- Zatorre, R. J., Bouffard, M. & Belin, P. (2004). Sensitivity to auditory object features in human temporal neocortex. *The Journal of Neuroscience*, 24(14), 3637–3642.

A. Anhang

Erläuterungen zu den Tabellen

Im Folgenden sind die statistischen Daten für die beschriebenen Resultate der vier Experimente aufgeführt. Die statistischen Werte in den Tabellen zu den Bedingungen, Regionen und Hemisphären wurden mittels Wilcoxon-Test (zweiseitig) berechnet. Große Markierungen stehen in diesen Tabellen für signifikante Unterschiede auf einem Signifikanzniveau von $p < 0,05$ und kleine Markierungen für Trends ($p < 0,10$). ROIs, in denen keine statistisch verifizierbaren Unterschiede vorlagen ($p \geq 0,10$), wurden nicht markiert.

Werte Sämtliche Werte sind als Mittelwerte (große Zahlen) \pm Standardfehler (kleine Zahlen darunter) angegeben. Angegeben sind jeweils die Anzahl aktivierter Voxel in jedem ROI (Voxel), das prozentuale BOLD-Signal für jede Bedingung, die Differenz des BOLD-Signals verschiedener Bedingungen (Bedingung 1 $>$ Bedingung 2), die Selektivitätsindizes (SEL) sowie die prozentualen Signalvergleichswerte entlang der zwei Raumrichtungen (% SI, % AP). Positive Werte bei den Bedingungen zeigen Aktivierungen an, negative Werte Deaktivierungen. Bei den Vergleichen zwischen zwei Bedingungen stehen positive Werte für ein stärkeres Signal der Bedingung 1, negative Werte für ein stärkeres Signal der Bedingung 2.

Bedingungen In diesen Tabellen ist angegeben, in welchen ROIs sich die Bedingungen voneinander unterscheiden und welche Bedingung das stärkere Signal erzeugte. Das Zeichen + zeigt einen Signalunterschied zugunsten von Bedingung 1 an, das Zeichen – gibt an, dass Bedingung 2 das stärkere Signal hervorrief.

Regionen In diesen Tabellen ist angegeben, ob und in welche Richtung sich Werte oder Unterschiede zwischen Bedingungen von einem ROI zum nächsten veränderten. Der Vergleich über die Regionen wurde einmal entlang der superior-inferior-Achse durchgeführt und einmal entlang der anterior-posterior-Achse. Das Zeichen – steht für eine Signalabnahme oder eine Abnahme des Unterschieds zwischen Bedingungen, das Zeichen + für eine Signalzunahme oder die Zunahme des Unterschieds zwischen Bedingungen in Richtung des mittels Pfeil gekennzeichneten ROIs. Klammern beim Vergleich von zwei Bedingungen geben an, dass im mittels Pfeilspitze markierten ROI Bedingung 1 zwar ein stärkeres Signal erzeugte als Bedingung 2, im anderen ROI jedoch Bedingung 2 zu einem stärkeren Signal führte, wobei der absolute Unterschied zwischen den Bedingungen in diesem ROI größer ausfiel.

Hemisphären In diesen Tabellen ist angegeben, ob und zugunsten welcher Hemisphäre sich Werte oder Unterschiede zwischen Bedingungen in den jeweils homologen ROIs beider Hemisphären voneinander unterscheiden. Der Buchstabe R steht für ein stärkeres Signal oder einen größeren Unterschied zwischen zwei Bedingungen in der rechten Hemisphäre, der Buchstabe L für ein stärkeres Signal oder einen größeren Unterschied zwischen zwei Bedingungen in der linken Hemisphäre. Klammern beim Vergleich von zwei Bedingungen geben an, dass in der angezeigten Hemisphäre Bedingung 1 zwar ein stärkeres Signal erzeugte als Bedingung 2, in der kontralateralen Hemisphäre jedoch Bedingung 2 zu einem stärkeren Signal führte, wobei der absolute Unterschied zwischen den Bedingungen in der kontralateralen Hemisphäre größer ausfiel.

A.1. Experiment 1

A.1.1. Werte

Tabelle A.1. Experiment 1 – Werte.

		a		ma		mp		p		gesamt	
		LH	RH	LH	RH	LH	RH	LH	RH	LH	RH
(a)	sSTG	457	400	1810	1600	2792	2566	939	742	5998	5308
		130	73	193	155	261	302	162	191	526	581
Voxel	iSTG	273	452	1601	1806	2425	2586	950	1293	5249	6137
		66	92	212	166	140	243	172	303	499	688
	sMTG	65	165	293	692	655	1557	463	819	1477	3234
		18	41	73	132	121	207	97	190	231	445
	gesamt	795	1018	3705	4098	5872	6709	2352	2854	12724	14680
		202	165	404	293	351	578	345	605	1051	1434
(b)	sSTG	0,656	0,619	1,045	1,072	1,240	1,170	0,725	0,654	1,074	1,047
		0,114	0,075	0,074	0,101	0,065	0,064	0,098	0,083	0,049	0,066
U	iSTG	0,492	0,573	0,690	0,791	0,861	0,905	0,636	0,692	0,767	0,830
		0,045	0,069	0,039	0,051	0,051	0,067	0,061	0,089	0,042	0,053
	sMTG	0,281	0,429	0,377	0,511	0,513	0,778	0,455	0,735	0,440	0,708
		0,076	0,069	0,034	0,056	0,064	0,055	0,052	0,084	0,054	0,051
	gesamt	0,515	0,590	0,860	0,891	1,002	0,989	0,687	0,727	0,884	0,895
		0,067	0,060	0,055	0,055	0,037	0,042	0,065	0,079	0,036	0,044
(c)	sSTG	0,819	0,782	1,088	1,078	1,234	1,142	0,757	0,637	1,103	1,043
		0,093	0,058	0,065	0,087	0,073	0,069	0,107	0,079	0,059	0,064
B	iSTG	0,609	0,631	0,677	0,813	0,861	0,928	0,642	0,711	0,769	0,852
		0,079	0,063	0,037	0,046	0,050	0,062	0,053	0,085	0,041	0,048
	sMTG	0,433	0,460	0,384	0,531	0,544	0,791	0,407	0,730	0,451	0,713
		0,099	0,057	0,051	0,071	0,069	0,069	0,037	0,073	0,055	0,058
	gesamt	0,655	0,677	0,874	0,898	1,006	0,992	0,693	0,722	0,900	0,903
		0,075	0,047	0,054	0,051	0,052	0,047	0,065	0,076	0,045	0,044
(d)	sSTG	1,117	0,995	1,215	1,229	1,351	1,260	0,937	0,786	1,251	1,190
		0,072	0,074	0,076	0,097	0,074	0,070	0,098	0,072	0,063	0,067
N	iSTG	0,898	0,813	0,915	0,984	1,054	1,045	0,877	0,888	0,986	1,000
		0,099	0,070	0,046	0,061	0,049	0,050	0,062	0,080	0,046	0,047
	sMTG	0,775	0,789	0,696	0,747	0,827	1,003	0,712	0,924	0,765	0,930
		0,137	0,099	0,043	0,059	0,066	0,063	0,050	0,076	0,053	0,057
	gesamt	0,965	0,911	1,067	1,072	1,175	1,133	0,915	0,894	1,095	1,068
		0,077	0,060	0,059	0,064	0,050	0,042	0,068	0,069	0,050	0,045

Fortsetzung auf der nächsten Seite

Fortsetzung der Tabelle A.1

		a		ma		mp		p		gesamt		
		LH	RH	LH	RH	LH	RH	LH	RH	LH	RH	
(e)	sSTG	0,164 0,099	0,163 0,071	0,043 0,040	0,006 0,036	-0,006 0,039	-0,027 0,029	0,031 0,035	-0,017 0,033	0,029 0,040	-0,004 0,029	
	B > U	iSTG	0,117 0,056	0,057 0,039	-0,014 0,039	0,022 0,027	0,000 0,034	0,024 0,024	0,007 0,027	0,020 0,025	0,003 0,032	0,022 0,022
		sMTG	0,153 0,058	0,031 0,046	0,007 0,039	0,020 0,039	0,032 0,039	0,013 0,039	-0,048 0,037	-0,006 0,035	0,010 0,038	0,006 0,036
		gesamt	0,140 0,078	0,087 0,054	0,014 0,038	0,007 0,031	0,004 0,035	0,003 0,029	0,007 0,031	-0,004 0,026	0,016 0,036	0,008 0,028
(f)	sSTG	0,461 0,117	0,376 0,095	0,170 0,034	0,157 0,041	0,111 0,031	0,090 0,035	0,212 0,041	0,132 0,034	0,177 0,037	0,143 0,036	
	N > U	iSTG	0,407 0,089	0,240 0,063	0,225 0,033	0,193 0,034	0,193 0,035	0,140 0,029	0,241 0,035	0,196 0,035	0,219 0,032	0,170 0,030
		sMTG	0,495 0,132	0,360 0,077	0,319 0,050	0,236 0,040	0,314 0,058	0,225 0,050	0,257 0,052	0,188 0,038	0,325 0,049	0,222 0,042
		gesamt	0,450 0,100	0,321 0,073	0,207 0,028	0,181 0,034	0,173 0,026	0,144 0,032	0,228 0,038	0,167 0,032	0,211 0,032	0,173 0,033
(g)	sSTG	0,298 0,064	0,213 0,050	0,127 0,031	0,151 0,025	0,117 0,023	0,117 0,018	0,180 0,028	0,149 0,031	0,148 0,027	0,147 0,019	
	N > B	iSTG	0,289 0,083	0,182 0,036	0,238 0,042	0,171 0,033	0,193 0,036	0,117 0,024	0,235 0,026	0,176 0,027	0,217 0,034	0,148 0,024
		sMTG	0,342 0,112	0,329 0,074	0,312 0,060	0,216 0,041	0,283 0,056	0,212 0,046	0,305 0,044	0,194 0,036	0,314 0,046	0,216 0,039
		gesamt	0,311 0,066	0,234 0,046	0,193 0,038	0,174 0,027	0,169 0,030	0,140 0,022	0,222 0,027	0,171 0,028	0,194 0,031	0,165 0,023
(h)	sSTG	34 6	28 5	12 2	13 2	8 1	8 2	23 4	19 4	13 2	12 2	
	SEL	iSTG	35 7	25 4	24 3	18 3	18 3	13 2	27 2	23 4	22 3	16 2
		sMTG	50 12	41 7	43 6	30 5	36 6	22 4	39 5	21 4	42 5	23 4
		gesamt	38 6	29 4	18 2	16 2	14 2	13 2	25 3	20 4	18 2	16 2

Fortsetzung auf der nächsten Seite

Fortsetzung der Tabelle A.1

		a		ma		mp		p		gesamt	
		LH	RH	LH	RH	LH	RH	LH	RH	LH	RH
(i)	sSTG	20	15	2	5	0	4	15	19	1	5
		8	6	2	4	0	4	6	6	1	3
	% SI U	24	22	32	26	29	26	23	17	28	24
		8	5	5	5	5	4	6	5	4	3
	sMTG	58	38	61	50	56	36	43	14	58	34
		12	10	5	7	7	5	7	5	6	5
(j)	sSTG	8	3	0	4	0	5	14	21	0	4
		4	2	0	3	0	4	7	5	0	3
	% SI B	21	21	36	24	29	23	22	11	29	21
		6	6	5	5	4	4	6	5	4	3
	sMTG	53	42	63	50	55	36	49	13	59	34
		9	8	5	7	6	4	5	5	5	4
(k)	sSTG	3	4	0	3	0	3	12	20	0	3
		2	3	0	3	0	3	5	4	0	2
	% SI N	18	22	23	21	21	19	15	10	20	17
		6	4	5	4	3	3	5	4	3	3
	sMTG	35	25	40	39	38	23	29	9	38	23
		6	6	4	5	5	4	5	4	4	4
(l)	sSTG	47	51	18	13	3	4	42	49		
		8	5	4	5	2	2	7	5		
	% AP U	44	42	21	18	3	8	28	29		
		5	6	4	5	3	3	6	7		
	sMTG	51	49	31	39	14	7	25	19		
		14	8	6	6	6	5	7	5		
	gesamt	50	43	16	12	2	3	33	31		
		6	5	4	4	1	1	5	5		
(m)	sSTG	37	37	15	11	4	5	42	50		
		5	4	3	5	2	2	7	5		
	% AP B	32	36	23	17	4	8	27	28		
		7	6	5	4	2	3	5	6		
	sMTG	40	47	36	38	16	9	35	21		
		11	7	7	6	5	5	7	5		
	gesamt	37	34	15	12	3	4	33	32		
		6	4	4	4	1	2	5	5		
(n)	sSTG	21	29	15	10	5	7	34	44		
		4	4	3	5	2	2	6	5		
	% AP N	22	28	17	14	5	8	21	21		
		5	5	4	4	2	3	5	5		
	sMTG	23	31	19	32	11	9	24	20		
		7	6	5	4	5	4	5	4		
	gesamt	21	24	12	11	3	5	25	26		
		4	4	3	4	2	2	4	4		

A.1.3. Regionen

A.1.3.1. Superior – inferior

Tabelle A.3. Experiment 1 – Regionen superior-inferior:

		a		ma		mp		p		gesamt	
		LH	RH	LH	RH	LH	RH	LH	RH	LH	RH
(a) U	sSTG → iSTG			-	-	-	-			-	-
	sSTG → sMTG	-		-	-	-	-	-		-	-
	iSTG → sMTG	-		-	-	-	-	-		-	-
(b) B	sSTG → iSTG		-	-	-	-	-			-	-
	sSTG → sMTG	-	-	-	-	-	-	-		-	-
	iSTG → sMTG	-	-	-	-	-	-	-		-	-
(c) N	sSTG → iSTG	-	-	-	-	-	-		+	-	-
	sSTG → sMTG	-	-	-	-	-	-			-	-
	iSTG → sMTG	-		-	-	-	-	-		-	-
(d) B > U	sSTG → iSTG			-			(+)				
	sSTG → sMTG		-				(+)	(-)			
	iSTG → sMTG							(-)			
(e) N > U	sSTG → iSTG		-	+		+			+		
	sSTG → sMTG		+	+	+	+			+	+	+
	iSTG → sMTG		+	+	+	+			+	+	+
(f) N > B	sSTG → iSTG			+				+	+	+	
	sSTG → sMTG			+	+	+	+	+	+	+	+
	iSTG → sMTG		+	+		+	+	+	+	+	+
(g) SEL	sSTG → iSTG			+		+	+			+	
	sSTG → sMTG		+	+	+	+	+	+		+	+
	iSTG → sMTG	+	+	+	+	+	+	+		+	+

A.1.4. Hemisphären

Tabelle A.5. Experiment 1 – Hemisphären.

		a	ma	mp	p	gesamt
(a) Voxel	sSTG					L
	iSTG	R				R
	sMTG	R	R	R	R	R
	gesamt			R		R
(b) U	sSTG					
	iSTG		R			
	sMTG		R	R	R	R
	gesamt					
(c) B	sSTG					
	iSTG		R			
	sMTG		R	R	R	R
	gesamt					
(d) N	sSTG					
	iSTG					
	sMTG			R	R	R
	gesamt					
(e) B > U	sSTG		L		L	
	iSTG					
	sMTG	L				
	gesamt					
(f) N > U	sSTG				L	L
	iSTG	L			L	L
	sMTG			L	L	L
	gesamt	L	L		L	L
(g) N > B	sSTG	L				L
	iSTG		L	L	L	L
	sMTG		L	L	L	L
	gesamt					
(h) SEL	sSTG		L			L
	iSTG		L			L
	sMTG			L	L	L
	gesamt	L				

A.2. Experiment 2

A.2.1. Werte

Tabelle A.6. Experiment 2 – Werte.

		a		ma		mp		p		gesamt	
		LH	RH	LH	RH	LH	RH	LH	RH	LH	RH
(a)	sSTG	677	660	2156	2076	3252	3250	1497	1202	7582	7188
		111	122	166	157	186	185	206	178	564	558
Voxel	iSTG	535	589	1780	2153	2733	3089	1476	1680	6524	7511
		81	103	189	186	213	202	209	216	605	608
	sMTG	247	291	614	956	968	1727	1036	1127	2865	4101
		56	56	139	147	155	221	169	160	476	509
	gesamt	1460	1541	4550	5185	6953	8065	4008	4009	16970	18799
		227	268	439	443	490	551	536	511	1539	1588
(b)	sSTG	1,054	1,252	1,668	1,965	2,026	2,109	1,272	1,062	1,720	1,865
		0,068	0,119	0,097	0,171	0,114	0,143	0,129	0,135	0,091	0,144
U	iSTG	0,769	1,113	1,148	1,404	1,449	1,478	1,064	1,337	1,267	1,406
		0,067	0,090	0,085	0,079	0,101	0,070	0,116	0,146	0,096	0,073
	sMTG	0,482	0,628	0,649	0,923	0,908	1,358	0,732	0,927	0,779	1,119
		0,063	0,074	0,106	0,089	0,101	0,103	0,066	0,066	0,072	0,073
	gesamt	0,889	1,143	1,369	1,595	1,657	1,740	1,103	1,155	1,409	1,567
		0,048	0,080	0,093	0,123	0,101	0,118	0,104	0,124	0,092	0,120
(c)	sSTG	1,324	1,452	1,817	2,172	2,219	2,322	1,438	1,232	1,899	2,070
		0,094	0,151	0,108	0,183	0,135	0,157	0,129	0,154	0,106	0,155
B	iSTG	0,943	1,407	1,202	1,511	1,573	1,628	1,170	1,406	1,371	1,536
		0,068	0,106	0,094	0,082	0,117	0,073	0,119	0,142	0,106	0,077
	sMTG	0,646	0,821	0,691	1,035	1,103	1,485	0,862	0,989	0,916	1,210
		0,098	0,089	0,113	0,128	0,143	0,111	0,103	0,087	0,105	0,091
	gesamt	1,119	1,390	1,476	1,742	1,825	1,916	1,231	1,250	1,554	1,725
		0,064	0,105	0,103	0,127	0,119	0,126	0,110	0,133	0,104	0,127
(d)	sSTG	1,680	1,837	1,972	2,301	2,363	2,459	1,533	1,349	2,058	2,219
		0,128	0,145	0,108	0,178	0,121	0,147	0,120	0,145	0,090	0,146
S	iSTG	1,139	1,548	1,351	1,661	1,703	1,720	1,304	1,594	1,513	1,666
		0,100	0,099	0,079	0,087	0,100	0,073	0,102	0,141	0,089	0,073
	sMTG	0,857	0,958	0,923	1,196	1,272	1,630	1,058	1,204	1,112	1,389
		0,097	0,068	0,086	0,102	0,120	0,106	0,081	0,063	0,082	0,076
	gesamt	1,367	1,632	1,629	1,886	1,965	2,034	1,357	1,420	1,707	1,866
		0,090	0,093	0,089	0,129	0,101	0,122	0,093	0,123	0,086	0,122
(e)	sSTG	2,097	2,082	2,176	2,410	2,466	2,509	1,739	1,443	2,222	2,305
		0,127	0,135	0,136	0,199	0,147	0,169	0,165	0,145	0,129	0,169
N	iSTG	1,310	1,710	1,601	1,823	1,864	1,850	1,569	1,763	1,726	1,817
		0,087	0,138	0,138	0,134	0,133	0,116	0,170	0,170	0,142	0,122
	sMTG	0,995	1,227	1,236	1,481	1,501	1,768	1,316	1,414	1,385	1,638
		0,091	0,110	0,187	0,199	0,167	0,119	0,137	0,077	0,134	0,144
	gesamt	1,734	1,859	1,861	2,039	2,104	2,122	1,608	1,581	1,904	1,994
		0,109	0,119	0,137	0,178	0,136	0,149	0,149	0,137	0,134	0,157

Fortsetzung auf der nächsten Seite

Fortsetzung der Tabelle A.6

		a		ma		mp		p		gesamt	
		LH	RH	LH	RH	LH	RH	LH	RH	LH	RH
(f)	sSTG	2,223	2,112	2,249	2,496	2,546	2,596	1,835	1,564	2,305	2,386
		0,169	0,121	0,149	0,229	0,149	0,186	0,191	0,187	0,138	0,184
	N _L iSTG	1,364	1,745	1,687	1,908	1,929	1,897	1,655	1,834	1,793	1,877
		0,100	0,123	0,173	0,161	0,142	0,127	0,176	0,197	0,150	0,137
	sMTG	1,006	1,284	1,329	1,525	1,642	1,796	1,421	1,447	1,480	1,679
		0,089	0,119	0,259	0,210	0,212	0,126	0,157	0,091	0,165	0,154
	gesamt	1,843	1,879	1,927	2,121	2,183	2,184	1,698	1,670	1,982	2,063
		0,155	0,096	0,155	0,206	0,143	0,162	0,165	0,176	0,145	0,173
(g)	sSTG	1,961	2,027	2,112	2,342	2,388	2,437	1,667	1,355	2,147	2,237
		0,116	0,159	0,136	0,188	0,150	0,163	0,158	0,131	0,130	0,165
	N _S iSTG	1,250	1,672	1,536	1,755	1,806	1,809	1,488	1,711	1,664	1,765
		0,087	0,162	0,121	0,122	0,129	0,113	0,172	0,160	0,141	0,115
	sMTG	0,980	1,173	1,182	1,446	1,388	1,733	1,233	1,377	1,310	1,600
		0,109	0,108	0,156	0,200	0,144	0,117	0,132	0,074	0,123	0,140
	gesamt	1,617	1,826	1,806	1,973	2,031	2,068	1,533	1,518	1,836	1,936
		0,089	0,144	0,133	0,165	0,134	0,145	0,147	0,122	0,132	0,151
(h)	sSTG	0,270	0,200	0,149	0,207	0,193	0,213	0,165	0,169	0,180	0,205
		0,058	0,073	0,051	0,047	0,059	0,051	0,057	0,047	0,052	0,048
	B > U iSTG	0,174	0,294	0,053	0,107	0,124	0,150	0,106	0,069	0,104	0,131
		0,051	0,061	0,038	0,040	0,047	0,032	0,061	0,048	0,048	0,035
	sMTG	0,164	0,193	0,041	0,112	0,195	0,127	0,130	0,062	0,137	0,091
		0,060	0,058	0,042	0,087	0,069	0,053	0,055	0,049	0,057	0,054
	gesamt	0,230	0,247	0,107	0,148	0,168	0,176	0,128	0,094	0,145	0,158
		0,051	0,058	0,043	0,042	0,050	0,041	0,054	0,044	0,048	0,041
(i)	sSTG	0,625	0,585	0,304	0,336	0,337	0,350	0,261	0,286	0,339	0,354
		0,083	0,071	0,047	0,037	0,041	0,039	0,056	0,038	0,043	0,037
	S > U iSTG	0,370	0,435	0,203	0,257	0,254	0,242	0,240	0,257	0,246	0,260
		0,055	0,049	0,038	0,028	0,035	0,026	0,048	0,040	0,038	0,027
	sMTG	0,375	0,330	0,274	0,273	0,364	0,272	0,326	0,276	0,334	0,270
		0,058	0,047	0,053	0,037	0,064	0,044	0,049	0,046	0,047	0,035
	gesamt	0,478	0,488	0,259	0,291	0,308	0,294	0,254	0,265	0,298	0,300
		0,059	0,050	0,039	0,030	0,038	0,031	0,046	0,033	0,039	0,030
(j)	sSTG	1,043	0,830	0,508	0,445	0,440	0,401	0,466	0,380	0,502	0,440
		0,127	0,128	0,059	0,050	0,051	0,044	0,063	0,034	0,052	0,043
	N > U iSTG	0,541	0,597	0,453	0,419	0,415	0,372	0,505	0,426	0,458	0,412
		0,060	0,092	0,064	0,077	0,047	0,064	0,070	0,041	0,056	0,064
	sMTG	0,513	0,598	0,587	0,558	0,593	0,410	0,583	0,487	0,606	0,519
		0,044	0,078	0,100	0,146	0,090	0,045	0,100	0,051	0,086	0,095
	gesamt	0,845	0,716	0,492	0,444	0,446	0,382	0,505	0,426	0,495	0,428
		0,121	0,103	0,056	0,067	0,050	0,043	0,067	0,035	0,055	0,048

Fortsetzung auf der nächsten Seite

Fortsetzung der Tabelle A.6

		a		ma		mp		p		gesamt	
		LH	RH	LH	RH	LH	RH	LH	RH	LH	RH
(k)	sSTG	1,169	0,860	0,581	0,531	0,520	0,487	0,562	0,502	0,586	0,521
		0,180	0,096	0,077	0,083	0,063	0,061	0,094	0,067	0,066	0,059
	$N_L > U$ iSTG	0,595	0,632	0,539	0,504	0,480	0,419	0,591	0,497	0,525	0,472
		0,075	0,076	0,102	0,104	0,065	0,078	0,081	0,064	0,071	0,080
	sMTG	0,524	0,656	0,680	0,602	0,734	0,438	0,688	0,520	0,701	0,560
		0,050	0,081	0,178	0,152	0,143	0,056	0,122	0,056	0,123	0,103
	gesamt	0,954	0,736	0,558	0,526	0,525	0,445	0,595	0,515	0,572	0,496
		0,172	0,080	0,079	0,098	0,064	0,058	0,087	0,064	0,072	0,065
(l)	sSTG	0,907	0,775	0,444	0,377	0,362	0,328	0,395	0,293	0,428	0,372
		0,099	0,161	0,065	0,053	0,059	0,050	0,061	0,051	0,058	0,050
	$N_S > U$ iSTG	0,481	0,559	0,387	0,351	0,357	0,331	0,423	0,374	0,397	0,360
		0,064	0,121	0,047	0,067	0,041	0,061	0,076	0,045	0,053	0,061
	sMTG	0,498	0,545	0,533	0,523	0,480	0,376	0,500	0,450	0,532	0,481
		0,068	0,087	0,065	0,155	0,064	0,047	0,094	0,060	0,071	0,093
	gesamt	0,728	0,683	0,436	0,379	0,373	0,328	0,430	0,363	0,427	0,370
		0,089	0,129	0,055	0,057	0,050	0,045	0,067	0,044	0,055	0,047
(m)	sSTG	0,356	0,385	0,155	0,129	0,144	0,137	0,096	0,117	0,159	0,149
		0,091	0,089	0,063	0,047	0,065	0,048	0,053	0,050	0,061	0,048
	$S > B$ iSTG	0,196	0,141	0,149	0,150	0,130	0,092	0,135	0,188	0,142	0,129
		0,062	0,051	0,044	0,044	0,046	0,035	0,042	0,056	0,043	0,038
	sMTG	0,211	0,138	0,232	0,161	0,169	0,145	0,196	0,215	0,196	0,179
		0,061	0,047	0,061	0,073	0,059	0,051	0,050	0,053	0,048	0,051
	gesamt	0,249	0,242	0,153	0,143	0,140	0,118	0,126	0,170	0,153	0,141
		0,070	0,061	0,052	0,044	0,053	0,040	0,045	0,051	0,050	0,042
(n)	sSTG	0,773	0,630	0,359	0,238	0,247	0,187	0,301	0,211	0,322	0,235
		0,125	0,153	0,077	0,058	0,068	0,061	0,073	0,046	0,070	0,056
	$N > B$ iSTG	0,367	0,303	0,400	0,312	0,292	0,223	0,400	0,357	0,355	0,281
		0,075	0,102	0,078	0,088	0,059	0,068	0,090	0,069	0,073	0,072
	sMTG	0,349	0,406	0,545	0,446	0,399	0,283	0,453	0,425	0,469	0,428
		0,059	0,085	0,112	0,161	0,101	0,063	0,099	0,071	0,095	0,122
	gesamt	0,615	0,470	0,385	0,297	0,279	0,206	0,377	0,332	0,350	0,270
		0,118	0,117	0,067	0,074	0,065	0,053	0,080	0,057	0,070	0,058
(o)	sSTG	0,899	0,659	0,432	0,324	0,327	0,274	0,397	0,333	0,406	0,316
		0,177	0,127	0,090	0,081	0,072	0,068	0,108	0,080	0,080	0,067
	$N_L > B$ iSTG	0,421	0,338	0,486	0,397	0,356	0,269	0,485	0,428	0,422	0,341
		0,098	0,083	0,114	0,113	0,072	0,079	0,101	0,087	0,085	0,086
	sMTG	0,361	0,463	0,638	0,490	0,539	0,311	0,558	0,458	0,564	0,469
		0,082	0,078	0,186	0,176	0,154	0,069	0,122	0,071	0,133	0,128
	gesamt	0,724	0,489	0,452	0,379	0,358	0,269	0,467	0,421	0,427	0,338
		0,169	0,095	0,089	0,103	0,074	0,063	0,102	0,081	0,086	0,072

Fortsetzung auf der nächsten Seite

Fortsetzung der Tabelle A.6

		a		ma		mp		p		gesamt		
		LH	RH	LH	RH	LH	RH	LH	RH	LH	RH	
(p)	sSTG	0,637	0,575	0,295	0,170	0,169	0,115	0,230	0,123	0,248	0,167	
		0,100	0,180	0,084	0,067	0,077	0,070	0,063	0,055	0,073	0,062	
	$N_S > B$	iSTG	0,307	0,265	0,334	0,244	0,233	0,181	0,318	0,306	0,294	0,229
		0,066	0,130	0,065	0,079	0,057	0,068	0,092	0,070	0,070	0,068	
	sMTG	0,334	0,353	0,491	0,411	0,286	0,249	0,370	0,388	0,395	0,389	
		0,062	0,101	0,080	0,160	0,080	0,066	0,092	0,082	0,078	0,122	
	gesamt	0,498	0,436	0,330	0,231	0,206	0,152	0,302	0,268	0,281	0,211	
		0,086	0,140	0,065	0,067	0,066	0,057	0,074	0,061	0,067	0,057	
(q)	sSTG	0,417	0,245	0,204	0,109	0,103	0,050	0,206	0,094	0,163	0,086	
		0,146	0,124	0,077	0,051	0,049	0,043	0,071	0,038	0,059	0,041	
	$N > S$	iSTG	0,171	0,162	0,250	0,162	0,161	0,130	0,265	0,169	0,213	0,152
		0,058	0,104	0,085	0,075	0,048	0,055	0,086	0,041	0,068	0,060	
	sMTG	0,138	0,268	0,313	0,285	0,229	0,138	0,257	0,210	0,272	0,249	
		0,055	0,072	0,130	0,135	0,105	0,048	0,088	0,051	0,089	0,094	
	gesamt	0,367	0,228	0,232	0,153	0,138	0,088	0,251	0,161	0,197	0,128	
		0,143	0,106	0,075	0,062	0,052	0,040	0,077	0,033	0,065	0,046	
(r)	sSTG	0,544	0,275	0,277	0,195	0,183	0,137	0,302	0,216	0,247	0,167	
		0,202	0,103	0,097	0,083	0,051	0,059	0,108	0,062	0,075	0,060	
	$N_L > S$	iSTG	0,225	0,197	0,336	0,247	0,226	0,177	0,351	0,240	0,279	0,212
		0,086	0,086	0,123	0,102	0,066	0,071	0,098	0,065	0,082	0,077	
	sMTG	0,150	0,325	0,406	0,329	0,370	0,166	0,362	0,243	0,368	0,290	
		0,075	0,069	0,209	0,142	0,159	0,054	0,110	0,061	0,129	0,103	
	gesamt	0,476	0,247	0,299	0,235	0,217	0,151	0,341	0,250	0,274	0,196	
		0,199	0,085	0,099	0,094	0,064	0,056	0,101	0,062	0,083	0,064	
(s)	sSTG	0,281	0,190	0,140	0,041	0,025	-0,022	0,134	0,006	0,089	0,018	
		0,109	0,151	0,078	0,053	0,063	0,050	0,060	0,060	0,063	0,045	
	$N_S > S$	iSTG	0,111	0,124	0,185	0,094	0,103	0,089	0,183	0,117	0,151	0,100
		0,049	0,133	0,068	0,064	0,043	0,052	0,090	0,043	0,064	0,054	
	sMTG	0,123	0,215	0,259	0,251	0,116	0,104	0,174	0,174	0,198	0,210	
		0,063	0,085	0,091	0,143	0,082	0,054	0,084	0,057	0,072	0,093	
	gesamt	0,250	0,194	0,177	0,088	0,065	0,034	0,176	0,098	0,128	0,070	
		0,100	0,131	0,069	0,052	0,054	0,041	0,072	0,043	0,062	0,043	
(t)	sSTG	0,262	0,084	0,137	0,154	0,157	0,159	0,167	0,209	0,158	0,149	
		0,138	0,113	0,076	0,087	0,070	0,064	0,073	0,094	0,062	0,062	
	$N_L > N_S$	iSTG	0,114	0,073	0,152	0,153	0,123	0,088	0,167	0,122	0,128	0,112
		0,074	0,096	0,071	0,055	0,047	0,049	0,070	0,065	0,049	0,042	
	sMTG	0,027	0,110	0,147	0,079	0,254	0,063	0,188	0,070	0,169	0,079	
		0,084	0,064	0,124	0,072	0,101	0,055	0,056	0,060	0,072	0,041	
	gesamt	0,226	0,053	0,122	0,147	0,152	0,117	0,165	0,153	0,146	0,126	
		0,128	0,090	0,066	0,066	0,053	0,051	0,060	0,078	0,056	0,050	

Fortsetzung auf der nächsten Seite

Fortsetzung der Tabelle A.6

		a		ma		mp		p		gesamt	
		LH	RH	LH	RH	LH	RH	LH	RH	LH	RH
(u)	sSTG	40	33	19	14	13	11	22	24	18	15
		4	5	2	2	2	2	3	3	2	2
	SEL	34	25	26	18	19	15	29	23	23	18
		4	3	2	2	2	2	3	2	2	2
	sMTG	46	40	48	31	33	20	37	33	39	27
		4	4	4	4	4	2	5	4	4	3
	gesamt	39	30	23	17	17	13	28	25	22	17
		4	3	2	2	2	2	3	3	2	2
(v)	sSTG	5	13	0	2	0	0	7	27	0	0
		2	6	0	1	0	0	4	5	0	0
	% SI U	33	21	31	26	28	27	21	7	27	22
		6	5	3	3	3	3	4	3	3	2
	sMTG	57	54	63	53	56	35	41	26	55	38
		6	5	4	4	4	4	5	5	3	3
(w)	sSTG	5	17	0	2	1	0	4	22	0	0
		3	6	0	1	1	0	2	5	0	0
	% SI B	31	16	34	28	29	27	22	7	29	24
		5	4	3	4	3	3	4	3	3	3
	sMTG	55	49	63	53	52	35	39	28	53	40
		6	5	5	5	5	3	5	5	4	3
(x)	sSTG	1	6	1	1	1	0	6	24	0	0
		1	2	1	1	1	0	2	4	0	0
	% SI N	34	22	28	23	25	25	15	7	24	20
		5	4	3	3	3	3	3	3	2	2
	sMTG	50	43	45	40	41	28	26	18	39	29
		4	4	4	4	4	3	5	4	3	2

Fortsetzung auf der nächsten Seite

Fortsetzung der Tabelle A.6

		a		ma		mp		p		gesamt		
		LH	RH	LH	RH	LH	RH	LH	RH	LH	RH	
(y)	sSTG	47	40	19	13	4	6	40	54			
		4	5	4	3	2	2	5	4			
	% AP U	iSTG	42	33	24	17	5	12	31	25		
			6	4	3	3	2	3	5	4		
	sMTG	41	53	34	36	11	6	22	31			
		6	4	6	4	4	3	5	5			
	gesamt	41	33	17	12	1	4	34	37			
		5	4	3	2	1	1	4	4			
(z)	sSTG	40	38	20	13	5	6	39	52			
		4	5	4	3	2	2	4	5			
	% AP B	iSTG	34	23	26	18	4	10	29	27		
			5	4	3	3	2	3	5	4		
	sMTG	39	45	40	37	11	6	26	34			
		6	5	6	5	4	2	4	6			
	gesamt	34	28	19	13	1	4	34	39			
		4	4	3	2	1	2	4	4			
(aa)	sSTG	18	20	17	11	6	7	34	47			
		4	4	3	3	2	2	4	3			
	% AP N	iSTG	27	18	20	13	7	11	23	18		
			4	3	3	3	2	3	4	3		
	sMTG	24	33	21	27	8	9	16	21			
		5	4	4	4	2	2	3	4			
	gesamt	16	15	14	11	3	6	26	30			
		3	3	3	2	1	2	3	3			

A.2.2. Bedingungen

Tabelle A.7. Experiment 2 – Bedingungen.

		a		ma		mp		p		gesamt	
		LH	RH	LH	RH	LH	RH	LH	RH	LH	RH
(a) B > U	sSTG	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	iSTG	+	+		+	+	+		+	+	+
	sMTG	+	+			+	+	+		+	+
	gesamt	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
(b) S > U	sSTG	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	iSTG	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	sMTG	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	gesamt	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
(c) N > U	sSTG	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	iSTG	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	sMTG	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	gesamt	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
(d) N _L > U	sSTG	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	iSTG	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	sMTG	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	gesamt	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
(e) N _S > U	sSTG	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	iSTG	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	sMTG	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	gesamt	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
(f) S > B	sSTG	+	+	+	+	+		+	+	+	+
	iSTG	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	sMTG	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	gesamt	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
(g) N > B	sSTG	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	iSTG	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	sMTG	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	gesamt	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
(h) N _L > B	sSTG	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	iSTG	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	sMTG	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	gesamt	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
(i) N _S > B	sSTG	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	iSTG	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	sMTG	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	gesamt	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

Fortsetzung auf der nächsten Seite

A.2.3. Regionen

A.2.3.1. Superior – inferior

Tabelle A.8. Experiment 2 – Regionen superior-inferior:

		a		ma		mp		p		gesamt	
		LH	RH	LH	RH	LH	RH	LH	RH	LH	RH
(a) U	sSTG → iSTG	-		-	-	-	-	-	+	-	-
	sSTG → sMTG	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	iSTG → sMTG	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(b) B	sSTG → iSTG	-		-	-	-	-	-	+	-	-
	sSTG → sMTG	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	iSTG → sMTG	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(c) S	sSTG → iSTG	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-
	sSTG → sMTG	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	iSTG → sMTG	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(d) N	sSTG → iSTG	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-
	sSTG → sMTG	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	iSTG → sMTG	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(e) N _L	sSTG → iSTG	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-
	sSTG → sMTG	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	iSTG → sMTG	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(f) N _S	sSTG → iSTG	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-
	sSTG → sMTG	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	iSTG → sMTG	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Fortsetzung auf der nächsten Seite

A.2.3.2. Anterior – posterior

Tabelle A.9. Experiment 2 – Regionen anterior-posterior.

		a ← ma		a ← mp		a ← p		ma ← mp		ma → p		mp → p	
		LH	RH	LH	RH	LH	RH	LH	RH	LH	RH	LH	RH
(a) U	sSTG	-	-	-	-		+	-		-	-	-	-
	iSTG	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	sMTG	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	gesamt	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(b) B	sSTG	-	-	-	-		+	-		-	-	-	-
	iSTG	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	sMTG	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	gesamt	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(c) S	sSTG			-	-		+	-		-	-	-	-
	iSTG			-	-		-	-				-	-
	sMTG		-	-	-	-	-	-	-			-	-
	gesamt	-		-	-		+	-	-	-	-	-	-
(d) N	sSTG			-	-	+	+	-		-	-	-	-
	iSTG			-	-			-				-	-
	sMTG			-	-	-	-	-	-			-	-
	gesamt			-	-	+	+	-		-	-	-	-
(e) N _L	sSTG				-	+	+	-		-	-	-	-
	iSTG			-	-			-				-	-
	sMTG			-	-	-	-	-	-			-	-
	gesamt			-	-	+	+	-		-	-	-	-
(f) N _S	sSTG			-	-	+	+	-		-	-	-	-
	iSTG	-		-	-			-				-	-
	sMTG		-	-	-	-	-	-	-			-	-
	gesamt			-	-	+	+	-		-	-	-	-

Fortsetzung auf der nächsten Seite

A.2.4. Hemisphären

Tabelle A.10. Experiment 2 – Hemisphären.

		a	ma	mp	p	gesamt
(a) Voxel	sSTG				L	L
	iSTG		R	R		R
	sMTG		R	R		R
	gesamt		R	R		R
(b) U	sSTG	R	R			R
	iSTG	R	R		R	R
	sMTG		R	R	R	R
	gesamt	R	R		R	R
(c) B	sSTG	R	R			R
	iSTG	R	R	R	R	R
	sMTG		R	R		R
	gesamt	R	R			R
(d) S	sSTG	R	R			R
	iSTG	R	R		R	R
	sMTG		R	R	R	R
	gesamt	R	R		R	R
(e) N	sSTG		R		L	
	iSTG	R	R		R	R
	sMTG		R	R	R	R
	gesamt		R		R	R
(f) N _L	sSTG		R		L	
	iSTG	R	R		R	R
	sMTG		R	R		R
	gesamt		R	R		R
(g) N _S	sSTG		R		L	
	iSTG	R	R		R	R
	sMTG		R	R	R	R
	gesamt		R	R	R	R

Fortsetzung auf der nächsten Seite

Fortsetzung der Tabelle A.10

		a	ma	mp	p	gesamt
(h) B > U	sSTG iSTG sMTG gesamt	R	R			
(i) S > U	sSTG iSTG sMTG gesamt	R		L		L
(j) N > U	sSTG iSTG sMTG gesamt	L	L	L		L
(k) S > B	sSTG iSTG sMTG gesamt	L	L	L		L
(l) N > B	sSTG iSTG sMTG gesamt	L	L	L	L	L
(m) N > S	sSTG iSTG sMTG gesamt	L	L	L		L
(n) $N_L > N_S$	sSTG iSTG sMTG gesamt	L	L	L		L
(o) SEL	sSTG iSTG sMTG gesamt	L	L	L	L	L

A.3. Experiment 3

A.3.1. Werte

Tabelle A.11. Experiment 3 – Werte.

		a		ma		mp		p		gesamt	
		LH	RH	LH	RH	LH	RH	LH	RH	LH	RH
(a)	sSTG	646	685	1902	2080	3329	3135	1182	789	7059	6689
		175	180	190	135	163	172	179	214	523	391
Voxel	iSTG	549	563	2143	2392	3101	3184	1288	1283	7080	7421
		128	136	164	174	179	166	160	180	416	455
	sMTG	132	178	679	1097	963	2034	840	901	2614	4209
		38	67	145	149	164	219	160	205	303	494
	gesamt	1326	1425	4724	5569	7393	8353	3310	2973	16753	18320
		308	356	330	332	402	418	321	439	896	1085
(b)	sSTG	0,893	0,995	1,084	1,263	1,344	1,223	0,701	0,579	1,133	1,160
		0,102	0,060	0,087	0,116	0,082	0,085	0,049	0,058	0,046	0,048
P	iSTG	0,676	0,768	0,806	0,925	1,007	0,938	0,784	0,738	0,890	0,888
		0,044	0,037	0,021	0,041	0,052	0,043	0,051	0,076	0,026	0,040
	sMTG	0,643	0,659	0,632	0,806	0,817	0,894	0,661	0,725	0,740	0,835
		0,054	0,060	0,043	0,047	0,059	0,049	0,035	0,081	0,025	0,039
	gesamt	0,800	0,858	0,911	1,049	1,136	1,038	0,751	0,699	0,968	0,979
		0,067	0,042	0,041	0,057	0,061	0,041	0,034	0,048	0,029	0,032
(c)	sSTG	0,369	0,528	0,739	0,850	1,127	1,060	0,640	0,605	0,883	0,907
		0,099	0,107	0,090	0,107	0,068	0,076	0,075	0,097	0,059	0,062
T	iSTG	0,054	0,143	0,344	0,448	0,591	0,560	0,379	0,458	0,446	0,482
		0,049	0,071	0,053	0,051	0,057	0,051	0,068	0,086	0,049	0,045
	sMTG	-0,091	0,008	0,022	0,141	0,153	0,371	0,404	0,384	0,206	0,305
		0,059	0,059	0,038	0,057	0,071	0,057	0,053	0,071	0,051	0,049
	gesamt	0,199	0,292	0,457	0,562	0,781	0,704	0,494	0,465	0,586	0,602
		0,069	0,086	0,052	0,055	0,056	0,044	0,066	0,067	0,045	0,042
(d)	sSTG	0,564	0,734	0,959	1,046	1,289	1,181	0,727	0,662	1,048	1,052
		0,120	0,126	0,105	0,103	0,068	0,068	0,082	0,109	0,059	0,055
M	iSTG	0,159	0,229	0,396	0,506	0,630	0,593	0,365	0,446	0,482	0,520
		0,057	0,072	0,044	0,045	0,065	0,055	0,072	0,113	0,050	0,049
	sMTG	-0,140	-0,007	0,027	0,146	0,155	0,394	0,462	0,399	0,225	0,320
		0,066	0,059	0,045	0,060	0,066	0,061	0,048	0,072	0,052	0,051
	gesamt	0,342	0,431	0,564	0,661	0,868	0,768	0,537	0,466	0,671	0,673
		0,087	0,093	0,047	0,046	0,057	0,041	0,067	0,082	0,039	0,037
(e)	sSTG	0,743	0,910	1,041	1,258	1,309	1,213	0,642	0,557	1,082	1,141
		0,085	0,052	0,095	0,124	0,082	0,077	0,049	0,065	0,043	0,043
P _U	iSTG	0,640	0,753	0,766	0,900	0,974	0,904	0,710	0,711	0,848	0,857
		0,047	0,039	0,024	0,042	0,056	0,044	0,049	0,086	0,027	0,042
	sMTG	0,644	0,633	0,589	0,739	0,759	0,858	0,561	0,665	0,673	0,792
		0,046	0,069	0,040	0,047	0,042	0,045	0,039	0,078	0,023	0,035
	gesamt	0,679	0,808	0,862	1,024	1,101	1,011	0,674	0,661	0,921	0,950
		0,038	0,037	0,046	0,059	0,060	0,038	0,035	0,051	0,026	0,028

Fortsetzung auf der nächsten Seite

Fortsetzung der Tabelle A.11

		a		ma		mp		p		gesamt	
		LH	RH	LH	RH	LH	RH	LH	RH	LH	RH
(f)	sSTG	0,362 0,119	0,521 0,115	0,722 0,091	0,854 0,105	1,155 0,087	1,091 0,092	0,613 0,097	0,602 0,106	0,883 0,072	0,925 0,066
	T _U iSTG	0,036 0,053	0,140 0,072	0,356 0,064	0,450 0,058	0,608 0,074	0,562 0,057	0,372 0,086	0,481 0,095	0,453 0,067	0,489 0,049
	sMTG	-0,143 0,053	0,046 0,091	-0,002 0,042	0,133 0,064	0,157 0,092	0,348 0,054	0,388 0,071	0,399 0,079	0,185 0,067	0,301 0,047
	gesamt	0,147 0,062	0,282 0,087	0,438 0,053	0,560 0,055	0,804 0,075	0,707 0,054	0,492 0,089	0,486 0,067	0,587 0,062	0,608 0,045
(g)	sSTG	0,433 0,111	0,604 0,162	0,939 0,113	1,046 0,121	1,290 0,080	1,194 0,081	0,689 0,090	0,653 0,111	1,022 0,070	1,049 0,065
	M _U iSTG	0,136 0,057	0,207 0,090	0,367 0,052	0,501 0,054	0,605 0,076	0,586 0,059	0,351 0,084	0,451 0,127	0,459 0,061	0,516 0,055
	sMTG	-0,146 0,063	-0,030 0,053	-0,029 0,048	0,080 0,087	0,114 0,063	0,367 0,073	0,371 0,045	0,372 0,073	0,162 0,052	0,285 0,070
	gesamt	0,227 0,058	0,370 0,101	0,522 0,048	0,644 0,053	0,855 0,066	0,764 0,049	0,488 0,082	0,467 0,088	0,642 0,050	0,663 0,042
(h)	sSTG	1,040 0,138	1,150 0,106	1,158 0,100	1,314 0,128	1,395 0,105	1,309 0,105	0,803 0,064	0,647 0,048	1,206 0,065	1,231 0,065
	P _B iSTG	0,739 0,053	0,788 0,060	0,864 0,026	0,984 0,053	1,112 0,059	0,992 0,050	0,933 0,072	0,844 0,059	0,984 0,034	0,946 0,041
	sMTG	0,621 0,086	0,756 0,084	0,790 0,051	0,955 0,082	1,010 0,091	1,020 0,062	0,887 0,064	0,887 0,112	0,917 0,035	0,971 0,054
	gesamt	0,864 0,067	0,921 0,072	0,985 0,046	1,122 0,072	1,227 0,076	1,123 0,047	0,917 0,049	0,802 0,048	1,070 0,040	1,060 0,043
(i)	sSTG	0,306 0,102	0,551 0,131	0,704 0,107	0,843 0,125	1,098 0,062	1,047 0,074	0,604 0,061	0,623 0,108	0,850 0,060	0,905 0,071
	T _B iSTG	0,060 0,053	0,143 0,082	0,336 0,052	0,457 0,058	0,584 0,044	0,543 0,060	0,385 0,065	0,457 0,108	0,438 0,037	0,480 0,057
	sMTG	-0,049 0,063	-0,057 0,064	0,037 0,042	0,138 0,068	0,154 0,059	0,356 0,075	0,410 0,049	0,409 0,078	0,203 0,043	0,305 0,068
	gesamt	0,145 0,060	0,298 0,106	0,433 0,059	0,558 0,066	0,766 0,044	0,688 0,050	0,488 0,058	0,485 0,080	0,572 0,035	0,599 0,051
(j)	sSTG	0,574 0,129	0,863 0,127	0,929 0,109	1,053 0,108	1,294 0,072	1,193 0,068	0,690 0,084	0,705 0,116	1,039 0,059	1,072 0,054
	M _B iSTG	0,168 0,061	0,231 0,075	0,425 0,049	0,524 0,047	0,662 0,069	0,594 0,060	0,372 0,081	0,457 0,115	0,505 0,054	0,529 0,049
	sMTG	-0,149 0,080	-0,033 0,090	0,054 0,051	0,179 0,062	0,164 0,091	0,382 0,062	0,537 0,066	0,459 0,088	0,253 0,063	0,340 0,045
	gesamt	0,304 0,064	0,458 0,103	0,557 0,044	0,673 0,048	0,886 0,059	0,768 0,041	0,573 0,073	0,502 0,078	0,684 0,040	0,685 0,036

Fortsetzung auf der nächsten Seite

Fortsetzung der Tabelle A.11

		a		ma		mp		p		gesamt	
		LH	RH	LH	RH	LH	RH	LH	RH	LH	RH
(k)	sSTG	0,938	1,103	1,115	1,242	1,389	1,311	0,824	0,592	1,186	1,198
		0,138	0,114	0,074	0,118	0,114	0,119	0,091	0,085	0,066	0,079
	P _{BL} iSTG	0,706	0,744	0,833	0,955	1,106	0,964	0,891	0,808	0,963	0,916
		0,067	0,072	0,035	0,060	0,078	0,046	0,074	0,064	0,049	0,041
	sMTG	0,520	0,801	0,784	0,921	0,997	1,007	0,802	0,827	0,880	0,950
		0,091	0,129	0,081	0,114	0,097	0,089	0,055	0,107	0,052	0,083
	gesamt	0,804	0,874	0,955	1,075	1,220	1,112	0,874	0,769	1,048	1,033
		0,081	0,081	0,044	0,080	0,088	0,061	0,067	0,063	0,051	0,058
(l)	sSTG	0,343	0,472	0,709	0,817	1,099	1,044	0,631	0,612	0,859	0,894
		0,119	0,155	0,117	0,124	0,075	0,090	0,077	0,099	0,076	0,079
	T _{BL} iSTG	0,033	0,123	0,344	0,451	0,606	0,537	0,391	0,456	0,450	0,473
		0,053	0,083	0,065	0,051	0,059	0,058	0,075	0,109	0,053	0,055
	sMTG	-0,109	-0,114	0,074	0,128	0,186	0,359	0,411	0,415	0,212	0,306
		0,079	0,082	0,080	0,074	0,068	0,069	0,053	0,076	0,054	0,062
	gesamt	0,133	0,269	0,437	0,543	0,779	0,687	0,505	0,492	0,581	0,593
		0,062	0,113	0,072	0,065	0,058	0,056	0,072	0,079	0,053	0,056
(m)	sSTG	0,552	0,863	0,913	1,052	1,274	1,156	0,626	0,680	1,010	1,047
		0,123	0,117	0,105	0,103	0,083	0,075	0,082	0,120	0,060	0,057
	M _{BL} iSTG	0,195	0,235	0,395	0,509	0,647	0,583	0,294	0,387	0,476	0,505
		0,068	0,092	0,047	0,042	0,074	0,058	0,087	0,112	0,058	0,048
	sMTG	-0,239	-0,096	-0,004	0,132	0,129	0,361	0,488	0,412	0,206	0,308
		0,089	0,096	0,062	0,060	0,098	0,068	0,070	0,102	0,073	0,051
	gesamt	0,304	0,453	0,527	0,656	0,868	0,746	0,508	0,456	0,653	0,660
		0,074	0,114	0,045	0,046	0,066	0,045	0,068	0,084	0,044	0,039
(n)	sSTG	1,121	1,187	1,192	1,373	1,399	1,313	0,788	0,689	1,223	1,260
		0,156	0,133	0,131	0,152	0,111	0,114	0,062	0,062	0,085	0,083
	P _{BS} iSTG	0,767	0,824	0,890	1,013	1,120	1,017	0,971	0,873	1,004	0,973
		0,054	0,068	0,034	0,062	0,057	0,063	0,085	0,082	0,037	0,055
	sMTG	0,701	0,732	0,799	0,988	1,035	1,037	0,955	0,942	0,953	0,995
		0,094	0,097	0,040	0,067	0,118	0,062	0,087	0,132	0,048	0,052
	gesamt	0,913	0,957	1,010	1,163	1,235	1,136	0,954	0,830	1,089	1,085
		0,069	0,083	0,062	0,079	0,078	0,059	0,062	0,064	0,050	0,055
(o)	sSTG	0,308	0,645	0,728	0,903	1,125	1,083	0,608	0,654	0,871	0,949
		0,088	0,131	0,103	0,142	0,062	0,072	0,067	0,118	0,055	0,080
	T _{BS} iSTG	0,106	0,173	0,346	0,483	0,587	0,563	0,405	0,475	0,450	0,503
		0,055	0,091	0,049	0,063	0,048	0,059	0,076	0,109	0,042	0,056
	sMTG	0,007	0,030	0,023	0,173	0,144	0,371	0,429	0,414	0,213	0,325
		0,056	0,055	0,029	0,062	0,068	0,073	0,065	0,083	0,049	0,065
	gesamt	0,188	0,339	0,451	0,601	0,779	0,714	0,498	0,498	0,587	0,630
		0,060	0,108	0,053	0,076	0,042	0,048	0,062	0,081	0,035	0,054

Fortsetzung auf der nächsten Seite

Fortsetzung der Tabelle A.11

		a		ma		mp		p		gesamt	
		LH	RH	LH	RH	LH	RH	LH	RH	LH	RH
(p)	sSTG	0,601 0,141	0,866 0,145	0,947 0,117	1,058 0,115	1,316 0,067	1,230 0,067	0,753 0,099	0,731 0,118	1,070 0,065	1,099 0,059
	M _{BS} iSTG	0,146 0,060	0,228 0,067	0,455 0,053	0,540 0,054	0,677 0,068	0,604 0,064	0,443 0,077	0,523 0,124	0,533 0,053	0,551 0,054
	sMTG	-0,068 0,084	0,027 0,096	0,108 0,042	0,224 0,070	0,197 0,091	0,404 0,069	0,585 0,069	0,505 0,081	0,296 0,056	0,372 0,051
	gesamt	0,308 0,061	0,463 0,100	0,586 0,046	0,691 0,054	0,906 0,057	0,791 0,043	0,636 0,085	0,547 0,081	0,714 0,041	0,710 0,039
(q)	sSTG	0,524 0,056	0,467 0,067	0,346 0,080	0,413 0,075	0,217 0,047	0,162 0,050	0,061 0,047	-0,025 0,055	0,250 0,050	0,253 0,053
	P > T iSTG	0,623 0,053	0,625 0,047	0,462 0,056	0,477 0,039	0,416 0,046	0,377 0,040	0,405 0,082	0,281 0,056	0,444 0,047	0,406 0,030
	sMTG	0,733 0,107	0,651 0,070	0,609 0,068	0,665 0,060	0,664 0,079	0,523 0,050	0,257 0,069	0,341 0,068	0,534 0,057	0,530 0,043
	gesamt	0,601 0,048	0,567 0,056	0,454 0,051	0,487 0,043	0,355 0,039	0,334 0,033	0,257 0,059	0,234 0,044	0,382 0,042	0,377 0,033
(r)	sSTG	0,329 0,056	0,261 0,082	0,125 0,093	0,217 0,070	0,055 0,040	0,042 0,050	-0,026 0,064	-0,083 0,069	0,085 0,051	0,108 0,046
	P > M iSTG	0,518 0,068	0,540 0,048	0,410 0,050	0,419 0,036	0,377 0,050	0,345 0,043	0,419 0,091	0,292 0,071	0,407 0,050	0,368 0,033
	sMTG	0,783 0,103	0,666 0,074	0,605 0,078	0,660 0,073	0,662 0,083	0,500 0,063	0,200 0,052	0,326 0,076	0,515 0,061	0,515 0,055
	gesamt	0,458 0,053	0,428 0,061	0,346 0,048	0,388 0,040	0,268 0,037	0,270 0,035	0,213 0,065	0,232 0,057	0,297 0,041	0,307 0,034
(s)	sSTG	0,195 0,046	0,206 0,055	0,220 0,034	0,196 0,021	0,162 0,029	0,121 0,027	0,087 0,032	0,058 0,027	0,165 0,025	0,145 0,025
	M > T iSTG	0,105 0,042	0,085 0,039	0,052 0,017	0,058 0,018	0,039 0,021	0,032 0,016	-0,015 0,036	-0,012 0,037	0,037 0,020	0,038 0,020
	sMTG	-0,049 0,056	-0,015 0,038	0,005 0,033	0,005 0,023	0,001 0,031	0,023 0,031	0,058 0,034	0,015 0,036	0,019 0,032	0,015 0,028
	gesamt	0,144 0,042	0,139 0,042	0,108 0,022	0,100 0,018	0,087 0,024	0,064 0,021	0,044 0,030	0,002 0,030	0,085 0,022	0,071 0,022
(t)	sSTG	0,349 0,078	0,357 0,077	0,293 0,097	0,371 0,083	0,141 0,049	0,112 0,045	0,027 0,055	-0,041 0,053	0,182 0,064	0,198 0,056
	P _U > T _U iSTG	0,604 0,065	0,562 0,069	0,376 0,074	0,412 0,059	0,335 0,062	0,314 0,052	0,310 0,091	0,211 0,059	0,363 0,067	0,337 0,047
	sMTG	0,786 0,089	0,534 0,107	0,542 0,083	0,555 0,072	0,551 0,102	0,468 0,051	0,159 0,082	0,244 0,067	0,447 0,080	0,450 0,049
	gesamt	0,488 0,074	0,482 0,071	0,389 0,072	0,425 0,059	0,272 0,052	0,278 0,041	0,167 0,072	0,161 0,043	0,306 0,061	0,313 0,044

Fortsetzung auf der nächsten Seite

Fortsetzung der Tabelle A.11

		a		ma		mp		p		gesamt		
		LH	RH									
(u)	sSTG	0,284	0,281	0,094	0,194	0,017	0,017	-0,043	-0,088	0,055	0,084	
		0,067	0,119	0,099	0,077	0,049	0,047	0,061	0,059	0,061	0,053	
	P _U > M _U	iSTG	0,503	0,500	0,366	0,365	0,338	0,292	0,329	0,238	0,357	0,313
			0,074	0,077	0,064	0,050	0,063	0,048	0,092	0,078	0,064	0,046
	sMTG	0,790	0,603	0,566	0,603	0,591	0,451	0,174	0,269	0,468	0,464	
	gesamt	0,415	0,402	0,312	0,348	0,225	0,227	0,171	0,178	0,255	0,262	
		0,069	0,079	0,062	0,054	0,049	0,041	0,070	0,059	0,054	0,045	
(v)	sSTG	0,065	0,076	0,199	0,176	0,124	0,095	0,069	0,047	0,127	0,114	
		0,062	0,087	0,041	0,032	0,037	0,041	0,042	0,031	0,035	0,035	
	M _U > T _U	iSTG	0,101	0,061	0,010	0,047	-0,002	0,022	-0,019	-0,027	0,006	0,025
			0,043	0,057	0,019	0,026	0,026	0,021	0,037	0,052	0,023	0,026
	sMTG	-0,004	-0,069	-0,025	-0,048	-0,039	0,018	-0,015	-0,026	-0,021	-0,015	
	gesamt	0,073	0,081	0,077	0,078	0,047	0,052	-0,004	-0,017	0,051	0,050	
		0,043	0,052	0,025	0,026	0,029	0,031	0,038	0,041	0,026	0,028	
(w)	sSTG	0,673	0,549	0,416	0,432	0,272	0,240	0,182	0,022	0,326	0,298	
		0,112	0,109	0,082	0,089	0,071	0,074	0,048	0,105	0,060	0,073	
	P _B > T _B	iSTG	0,678	0,591	0,485	0,484	0,484	0,412	0,502	0,355	0,500	0,428
			0,054	0,082	0,059	0,058	0,064	0,059	0,091	0,085	0,058	0,053
	sMTG	0,669	0,739	0,690	0,749	0,785	0,609	0,437	0,438	0,655	0,611	
	gesamt	0,659	0,571	0,506	0,517	0,422	0,398	0,393	0,290	0,457	0,422	
		0,088	0,092	0,060	0,070	0,060	0,055	0,060	0,076	0,053	0,060	
(x)	sSTG	0,427	0,263	0,210	0,239	0,092	0,107	0,104	-0,054	0,153	0,145	
		0,065	0,060	0,093	0,074	0,052	0,061	0,064	0,112	0,053	0,054	
	P _B > M _B	iSTG	0,571	0,510	0,402	0,422	0,413	0,365	0,514	0,355	0,439	0,383
			0,056	0,067	0,054	0,054	0,064	0,059	0,111	0,088	0,061	0,049
	sMTG	0,770	0,718	0,675	0,711	0,776	0,584	0,320	0,393	0,609	0,579	
	gesamt	0,513	0,424	0,393	0,411	0,312	0,325	0,315	0,275	0,354	0,344	
		0,064	0,070	0,051	0,055	0,049	0,045	0,074	0,073	0,047	0,048	
(y)	sSTG	0,246	0,286	0,207	0,193	0,180	0,133	0,078	0,076	0,173	0,153	
		0,071	0,084	0,047	0,047	0,036	0,034	0,047	0,037	0,035	0,041	
	M _B > T _B	iSTG	0,107	0,081	0,082	0,062	0,071	0,047	-0,012	0,000	0,061	0,045
			0,051	0,047	0,029	0,025	0,027	0,021	0,042	0,025	0,027	0,022
	sMTG	-0,100	0,021	0,016	0,037	0,009	0,024	0,117	0,046	0,046	0,032	
	gesamt	0,145	0,147	0,114	0,106	0,110	0,073	0,078	0,015	0,103	0,079	
		0,053	0,058	0,032	0,033	0,026	0,025	0,033	0,028	0,027	0,029	

Fortsetzung auf der nächsten Seite

Fortsetzung der Tabelle A.11

		a		ma		mp		p		gesamt		
		LH	RH	LH	RH	LH	RH	LH	RH	LH	RH	
(z)	sSTG	0,273	0,220	0,107	0,051	0,079	0,088	0,148	0,082	0,114	0,082	
		0,072	0,079	0,043	0,041	0,038	0,039	0,036	0,066	0,036	0,042	
	P _B > P _U	iSTG	0,099	0,032	0,090	0,078	0,127	0,081	0,204	0,122	0,124	0,082
			0,040	0,040	0,023	0,026	0,026	0,023	0,042	0,047	0,023	0,025
	sMTG	-0,023	0,112	0,185	0,198	0,230	0,148	0,298	0,203	0,224	0,165	
	gesamt	0,169	0,103	0,113	0,090	0,116	0,102	0,223	0,129	0,136	0,101	
		0,051	0,047	0,029	0,032	0,031	0,022	0,041	0,045	0,027	0,028	
(aa)	sSTG	0,178	0,176	0,066	-0,016	0,072	0,089	0,166	0,032	0,094	0,052	
		0,093	0,105	0,069	0,075	0,056	0,060	0,060	0,117	0,059	0,069	
	P _{B_L} > P _U	iSTG	0,066	-0,008	0,061	0,051	0,121	0,055	0,166	0,089	0,105	0,053
			0,063	0,061	0,032	0,043	0,040	0,037	0,048	0,089	0,035	0,044
	sMTG	-0,124	0,151	0,178	0,167	0,218	0,137	0,220	0,148	0,190	0,145	
	gesamt	0,114	0,061	0,085	0,046	0,109	0,092	0,183	0,098	0,116	0,076	
		0,071	0,069	0,048	0,056	0,047	0,046	0,050	0,079	0,044	0,052	
(ab)	sSTG	0,346	0,254	0,137	0,104	0,082	0,091	0,133	0,120	0,129	0,108	
		0,080	0,097	0,053	0,048	0,049	0,058	0,046	0,046	0,046	0,055	
	P _{B_S} > P _U	iSTG	0,126	0,065	0,113	0,103	0,134	0,103	0,239	0,148	0,142	0,106
			0,033	0,043	0,031	0,033	0,036	0,031	0,057	0,038	0,031	0,030
	sMTG	0,058	0,089	0,193	0,228	0,253	0,164	0,361	0,254	0,257	0,187	
	gesamt	0,213	0,136	0,135	0,127	0,123	0,114	0,257	0,155	0,154	0,124	
		0,049	0,052	0,032	0,035	0,040	0,035	0,061	0,039	0,036	0,036	
(ac)	sSTG	0,168	0,077	0,071	0,120	0,010	0,002	-0,033	0,089	0,034	0,056	
		0,096	0,123	0,084	0,091	0,070	0,088	0,076	0,100	0,076	0,089	
	P _{B_S} > P _{B_L}	iSTG	0,060	0,074	0,052	0,053	0,013	0,048	0,073	0,059	0,037	0,053
			0,056	0,062	0,043	0,055	0,055	0,048	0,069	0,088	0,048	0,052
	sMTG	0,181	-0,063	0,014	0,062	0,035	0,028	0,141	0,106	0,067	0,041	
	gesamt	0,099	0,076	0,050	0,081	0,014	0,022	0,073	0,056	0,038	0,048	
		0,061	0,075	0,055	0,063	0,060	0,067	0,078	0,078	0,058	0,066	
(ad)	sSTG	-0,052	0,028	-0,017	-0,010	-0,052	-0,040	-0,008	0,019	-0,030	-0,018	
		0,077	0,072	0,050	0,050	0,050	0,054	0,044	0,035	0,049	0,050	
	T _B > T _U	iSTG	0,025	0,002	-0,018	0,006	-0,022	-0,018	0,012	-0,022	-0,013	-0,009
			0,040	0,036	0,029	0,030	0,035	0,026	0,049	0,031	0,034	0,026
	sMTG	0,094	-0,093	0,036	0,005	-0,003	0,008	0,021	0,009	0,016	0,003	
	gesamt	-0,002	0,014	-0,005	-0,002	-0,034	-0,018	-0,004	0,000	-0,014	-0,008	
		0,050	0,053	0,035	0,035	0,040	0,037	0,043	0,029	0,039	0,034	

Fortsetzung auf der nächsten Seite

Fortsetzung der Tabelle A.11

		a		ma		mp		p		gesamt		
		LH	RH									
(ae)	sSTG	-0,019	-0,045	-0,013	-0,034	-0,053	-0,044	0,016	0,009	-0,023	-0,029	
		0,072	0,084	0,045	0,047	0,044	0,049	0,040	0,033	0,041	0,045	
	T _{BL} > T _U	iSTG	-0,004	-0,015	-0,011	0,000	-0,002	-0,023	0,018	-0,023	-0,002	-0,015
		sMTG	0,033	-0,146	0,070	-0,005	0,026	0,011	0,021	0,014	0,025	0,004
gesamt		-0,014	-0,012	-0,001	-0,015	-0,024	-0,019	0,011	0,005	-0,006	-0,014	
		0,041	0,050	0,036	0,030	0,037	0,028	0,031	0,029	0,034	0,028	
(af)	sSTG	-0,051	0,113	0,004	0,045	-0,028	-0,008	-0,005	0,048	-0,012	0,021	
		0,084	0,092	0,052	0,054	0,063	0,064	0,045	0,042	0,056	0,057	
	T _{BS} > T _U	iSTG	0,070	0,030	-0,009	0,030	-0,019	0,001	0,031	-0,006	-0,003	0,012
		sMTG	0,150	-0,015	0,023	0,036	-0,012	0,022	0,038	0,013	0,025	0,022
gesamt		0,037	0,052	0,011	0,037	-0,023	0,006	0,005	0,011	-0,001	0,019	
		0,046	0,062	0,036	0,037	0,046	0,043	0,051	0,034	0,043	0,039	
(ag)	sSTG	-0,032	0,159	0,017	0,079	0,024	0,036	-0,020	0,038	0,011	0,051	
		0,062	0,108	0,040	0,048	0,054	0,054	0,045	0,041	0,045	0,047	
	T _{BS} > T _{BL}	iSTG	0,074	0,045	0,002	0,030	-0,017	0,024	0,013	0,017	0,000	0,027
		sMTG	0,117	0,131	-0,047	0,042	-0,038	0,010	0,017	-0,001	0,001	0,017
gesamt		0,051	0,064	0,012	0,053	0,000	0,025	-0,006	0,006	0,005	0,033	
		0,027	0,047	0,036	0,035	0,042	0,035	0,046	0,044	0,038	0,035	
(ah)	sSTG	0,130	0,238	-0,009	0,007	0,003	-0,001	0,001	0,048	0,015	0,021	
		0,030	0,107	0,022	0,028	0,030	0,025	0,054	0,027	0,025	0,024	
	M _B > M _U	iSTG	0,032	0,022	0,054	0,021	0,052	0,007	0,019	0,005	0,042	0,011
		sMTG	-0,003	-0,002	0,076	0,090	0,045	0,014	0,152	0,080	0,083	0,050
gesamt		0,071	0,081	0,032	0,026	0,029	0,004	0,078	0,032	0,038	0,020	
		0,015	0,025	0,014	0,017	0,019	0,014	0,033	0,023	0,016	0,014	
(ai)	sSTG	0,108	0,238	-0,025	0,004	-0,016	-0,036	-0,058	0,024	-0,012	-0,003	
		0,035	0,107	0,023	0,030	0,033	0,026	0,071	0,042	0,028	0,024	
	M _{BL} > M _U	iSTG	0,058	0,026	0,026	0,007	0,038	-0,002	-0,052	-0,059	0,016	-0,010
		sMTG	-0,092	-0,061	0,023	0,047	0,013	-0,005	0,107	0,037	0,040	0,021
gesamt		0,069	0,076	0,004	0,010	0,011	-0,017	0,018	-0,010	0,010	-0,003	
		0,024	0,034	0,015	0,014	0,022	0,021	0,037	0,041	0,017	0,018	

Fortsetzung auf der nächsten Seite

Fortsetzung der Tabelle A.11

		a		ma		mp		p		gesamt		
		LH	RH	LH	RH	LH	RH	LH	RH	LH	RH	
(aj)	sSTG	0,153	0,240	0,006	0,010	0,022	0,032	0,059	0,071	0,043	0,044	
		0,046	0,116	0,032	0,034	0,038	0,037	0,053	0,033	0,033	0,034	
	$M_{B_S} > M_U$	iSTG	0,009	0,020	0,080	0,035	0,065	0,016	0,085	0,066	0,068	0,031
			0,023	0,042	0,015	0,025	0,023	0,019	0,034	0,027	0,017	0,020
	sMTG	0,079	0,051	0,125	0,132	0,075	0,034	0,196	0,122	0,122	0,079	
		0,063	0,060	0,020	0,063	0,052	0,025	0,046	0,049	0,026	0,031	
	gesamt	0,073	0,086	0,058	0,042	0,046	0,024	0,135	0,073	0,065	0,042	
		0,022	0,036	0,017	0,026	0,025	0,020	0,042	0,024	0,022	0,021	
(ak)	sSTG	0,045	0,003	0,031	0,006	0,039	0,068	0,117	0,047	0,055	0,047	
		0,055	0,063	0,034	0,030	0,039	0,040	0,065	0,051	0,037	0,036	
	$M_{B_S} > M_{B_L}$	iSTG	-0,049	-0,006	0,054	0,028	0,027	0,019	0,137	0,125	0,052	0,042
			0,034	0,050	0,020	0,026	0,028	0,022	0,029	0,052	0,019	0,025
	sMTG	0,171	0,112	0,102	0,085	0,062	0,039	0,090	0,085	0,082	0,058	
		0,070	0,062	0,027	0,037	0,047	0,051	0,043	0,044	0,027	0,040	
	gesamt	0,004	0,010	0,054	0,032	0,035	0,041	0,117	0,083	0,056	0,046	
		0,034	0,051	0,017	0,027	0,029	0,031	0,043	0,047	0,023	0,029	
(al)	sSTG	53	41	21	25	9	7	3	-7	15	15	
		7	9	8	5	3	4	8	8	4	4	
	SEL	iSTG	84	79	54	49	40	39	50	40	48	44
			7	8	6	4	5	4	9	9	5	4
	sMTG	114	102	93	82	81	58	33	47	70	63	
		9	11	7	7	7	6	8	7	7	5	
	gesamt	70	62	44	42	27	29	31	35	35	35	
		7	9	5	3	3	3	7	8	4	3	

Fortsetzung auf der nächsten Seite

Fortsetzung der Tabelle A.11

		a		ma		mp		p		gesamt	
		LH	RH	LH	RH	LH	RH	LH	RH	LH	RH
(am)	sSTG	9	1	1	4	0	1	19	29	1	1
		4	1	1	3	0	1	3	5	1	1
% SI P	iSTG	24	21	23	26	24	22	9	10	21	23
		6	4	5	5	4	5	4	5	4	3
	sMTG	26	35	37	35	38	25	22	13	34	28
		9	6	8	5	4	5	5	4	3	3
(an)	sSTG	3	17	4	5	0	0	5	8	0	0
		3	17	4	4	0	0	3	4	0	0
% SI T	iSTG	200	81	50	45	47	46	44	31	49	47
		76	18	9	7	4	4	7	7	6	3
	sMTG	449	117	101	82	87	63	38	41	77	66
		204	26	6	7	5	6	7	9	6	4
(ao)	sSTG	4	3	1	2	0	0	5	5	0	0
		4	3	1	1	0	0	4	3	0	0
% SI M	iSTG	78	90	53	47	51	50	55	39	53	51
		15	29	8	7	4	4	8	9	5	4
	sMTG	176	154	100	83	88	66	36	43	79	70
		40	57	6	7	4	5	7	8	5	4
(ap)	sSTG	37	31	22	15	4	16	48	60		
		6	5	5	5	2	5	6	5		
% AP P	iSTG	35	24	20	10	3	9	23	30		
		5	5	4	3	2	2	5	4		
	sMTG	23	32	24	16	5	8	19	28		
		6	7	6	5	2	3	6	5		
	gesamt	32	25	21	9	4	9	35	39		
		4	4	5	3	2	3	4	4		
(aq)	sSTG	70	58	36	28	3	10	44	50		
		8	8	7	8	2	4	7	6		
% AP T	iSTG	92	79	44	22	2	7	36	28		
		9	12	7	7	2	4	8	8		
	sMTG	153	97	103	69	78	24	3	26		
		25	14	9	12	17	8	3	9		
	gesamt	76	66	43	23	3	4	39	38		
		10	12	7	6	3	2	7	6		
(ar)	sSTG	59	49	29	22	4	11	44	51		
		8	8	7	6	2	4	7	6		
% AP M	iSTG	78	63	35	17	1	8	43	39		
		9	12	6	7	1	4	9	9		
	sMTG	147	93	97	66	72	24	3	23		
		20	13	10	13	12	12	3	8		
	gesamt	64	51	38	18	6	6	42	45		
		8	11	5	5	4	3	7	7		

A.3.2. Bedingungen

Tabelle A.12. Experiment 3 – Bedingungen.

		a		ma		mp		p		gesamt	
		LH	RH	LH	RH	LH	RH	LH	RH	LH	RH
(a) $P > T$	sSTG	+	+	+	+	+	+			+	+
	iSTG	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	sMTG	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	gesamt	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	<hr/>										
(b) $P > M$	sSTG	+	+		+						+
	iSTG	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	sMTG	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	gesamt	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	<hr/>										
(c) $M > T$	sSTG	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	iSTG	+	+	+	+		+				
	sMTG										
	gesamt	+	+	+	+	+	+			+	+
	<hr/>										
(d) $P_U > T_U$	sSTG	+	+	+	+	+	+			+	+
	iSTG	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	sMTG	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	gesamt	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	<hr/>										
(e) $P_U > M_U$	sSTG	+	+		+						
	iSTG	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	sMTG	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	gesamt	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	<hr/>										
(f) $M_U > T_U$	sSTG			+	+	+	+			+	+
	iSTG	+									
	sMTG										
	gesamt			+	+					+	
	<hr/>										
(g) $P_B > T_B$	sSTG	+	+	+	+	+	+	+		+	+
	iSTG	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	sMTG	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	gesamt	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	<hr/>										
(h) $P_B > M_B$	sSTG	+	+		+		+			+	+
	iSTG	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	sMTG	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	gesamt	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	<hr/>										
(i) $M_B > T_B$	sSTG	+	+	+	+	+	+			+	+
	iSTG			+	+	+	+			+	
	sMTG							+			
	gesamt	+	+	+	+	+	+	+		+	+
	<hr/>										

Fortsetzung auf der nächsten Seite

Fortsetzung der Tabelle A.12

		a		ma		mp		p		gesamt	
		LH	RH	LH	RH	LH	RH	LH	RH	LH	RH
(j) $P_B > P_U$	sSTG	+	+	+			+	+		+	
	iSTG	+		+	+	+	+	+	+	+	+
	sMTG			+	+	+	+	+	+	+	+
	gesamt	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
(k) $P_{B_L} > P_U$	sSTG							+			
	iSTG					+		+		+	
	sMTG			+	+	+	+	+		+	+
	gesamt					+	+	+		+	+
(l) $P_{B_S} > P_U$	sSTG	+	+	+				+	+	+	
	iSTG	+		+	+	+	+	+	+	+	+
	sMTG			+	+	+	+	+	+	+	+
	gesamt	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
(m) $P_{B_S} > P_{B_L}$	sSTG	+									
	iSTG										
	sMTG	+						+			
	gesamt										
(n) $T_B > T_U$	sSTG										
	iSTG										
	sMTG	+									
	gesamt										
(o) $T_{B_L} > T_U$	sSTG										
	iSTG										
	sMTG										
	gesamt										
(p) $T_{B_S} > T_U$	sSTG										
	iSTG	+									
	sMTG	+									
	gesamt										
(q) $T_{B_S} > T_{B_L}$	sSTG										
	iSTG	+									
	sMTG		+								
	gesamt	+									
(r) $M_B > M_U$	sSTG	+	+						+		
	iSTG	+		+		+				+	
	sMTG			+	+			+		+	
	gesamt	+	+	+	+	+		+		+	+

Fortsetzung auf der nächsten Seite

Fortsetzung der Tabelle A.12

		a		ma		mp		p		gesamt	
		LH	RH	LH	RH	LH	RH	LH	RH	LH	RH
(s) $M_{B_L} > M_U$	sSTG	+	+								
	iSTG	+				+		-			
	sMTG	-						+			
	gesamt	+	+								
(t) $M_{B_S} > M_U$	sSTG	+	+								
	iSTG			+		+		+	+	+	
	sMTG			+	+			+	+	+	+
	gesamt	+	+	+	+			+	+	+	+
(u) $M_{B_S} > M_{B_L}$	sSTG							+			
	iSTG			+				+	+	+	
	sMTG	+		+	+			+		+	
	gesamt			+	+			+		+	

A.3.3. Regionen

A.3.3.1. Superior – inferior

Tabelle A.13. Experiment 3 – Regionen superior-inferior.

		a		ma		mp		p		gesamt	
		LH	RH	LH	RH	LH	RH	LH	RH	LH	RH
(a) P	sSTG → iSTG		-	-	-	-	-		+	-	-
	sSTG → sMTG		-	-	-	-	-		+	-	-
	iSTG → sMTG		-	-	-	-	-	-		-	-
(b) T	sSTG → iSTG	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	sSTG → sMTG	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	iSTG → sMTG	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(c) M	sSTG → iSTG	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	sSTG → sMTG	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	iSTG → sMTG	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(d) P _U	sSTG → iSTG		-	-	-	-	-		+	-	-
	sSTG → sMTG		-	-	-	-	-			-	-
	iSTG → sMTG			-	-	-	-	-		-	-
(e) T _U	sSTG → iSTG	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	sSTG → sMTG	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	iSTG → sMTG	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(f) M _U	sSTG → iSTG	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	sSTG → sMTG	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	iSTG → sMTG	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(g) P _B	sSTG → iSTG	-	-	-	-	-	-		+	-	-
	sSTG → sMTG	-	-	-	-	-	-		+	-	-
	iSTG → sMTG										
(h) T _B	sSTG → iSTG	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	sSTG → sMTG	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	iSTG → sMTG	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(i) M _B	sSTG → iSTG	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	sSTG → sMTG	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	iSTG → sMTG	-	-	-	-	-	-	+		-	-

Fortsetzung auf der nächsten Seite

Fortsetzung der Tabelle A.13

		a		ma		mp		p		gesamt	
		LH	RH	LH	RH	LH	RH	LH	RH	LH	RH
(j) P _{BL}	sSTG → iSTG	-	-	-	-	-	-			-	-
	sSTG → sMTG	-	-	-	-	-	-			-	-
	iSTG → sMTG									-	-
(k) T _{BL}	sSTG → iSTG	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	sSTG → sMTG	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	iSTG → sMTG	-	-	-	-	-	-			-	-
(l) M _{BL}	sSTG → iSTG	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	sSTG → sMTG	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	iSTG → sMTG	-	-	-	-	-	-	+		-	-
(m) P _{BS}	sSTG → iSTG	-	-	-	-	-	-	+	+	-	-
	sSTG → sMTG	-	-	-	-	-	-		+	-	-
	iSTG → sMTG		-								
(n) T _{BS}	sSTG → iSTG	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	sSTG → sMTG	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	iSTG → sMTG	-	-	-	-	-	-			-	-
(o) M _{BS}	sSTG → iSTG	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	sSTG → sMTG	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	iSTG → sMTG	-	-	-	-	-	-	+		-	-
(p) P > T	sSTG → iSTG	+	+			+	+	+	+	+	+
	sSTG → sMTG		+	+	+	+	+	+	+	+	+
	iSTG → sMTG				+	+	+	-			+
(q) P > M	sSTG → iSTG	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	sSTG → sMTG	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	iSTG → sMTG	+			+	+	+	-			+
(r) M > T	sSTG → iSTG	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	sSTG → sMTG	-	-	-	-	-	-			-	-
	iSTG → sMTG	-	-					+			
(s) P _U > T _U	sSTG → iSTG	+	+			+	+	+	+	+	+
	sSTG → sMTG	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	iSTG → sMTG			+	+	+	+	-			+
(t) P _U > M _U	sSTG → iSTG	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	sSTG → sMTG	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	iSTG → sMTG	+	+	+	+	+	+	-			+
(u) M _U > T _U	sSTG → iSTG			-	-	-	-			-	-
	sSTG → sMTG			-		-				-	-
	iSTG → sMTG	-	(-)		(-)						-

Fortsetzung auf der nächsten Seite

Fortsetzung der Tabelle A.13

		a		ma		mp		p		gesamt	
		LH	RH	LH	RH	LH	RH	LH	RH	LH	RH
(v) $P_B > T_B$	sSTG → iSTG					+	+	+	+	+	+
	sSTG → sMTG		+	+	+	+	+	+	+	+	+
	iSTG → sMTG			+	+	+	+			+	+
(w) $P_B > M_B$	sSTG → iSTG	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	sSTG → sMTG	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	iSTG → sMTG		+	+	+	+	+	-		+	+
(x) $M_B > T_B$	sSTG → iSTG	-	-	-	-	-	-		-	-	-
	sSTG → sMTG	-	-	-	-	-	-		-	-	-
	iSTG → sMTG	-		-				+			
(y) $P_B > P_U$	sSTG → iSTG	-	-					+			
	sSTG → sMTG	-			+	+	+	+	+	+	
	iSTG → sMTG			+	+	+		+	+	+	+
(z) $P_{B_S} > P_{B_L}$	sSTG → iSTG							+			
	sSTG → sMTG										
	iSTG → sMTG	+									
(aa) $T_B > T_U$	sSTG → iSTG										
	sSTG → sMTG										
	iSTG → sMTG	+		+					(+)		
(ab) $T_{B_S} > T_{B_L}$	sSTG → iSTG										
	sSTG → sMTG	+									
	iSTG → sMTG										
(ac) $M_B > M_U$	sSTG → iSTG	-	-	+							
	sSTG → sMTG		-	+				+		+	
	iSTG → sMTG							+	+	+	
(ad) $M_{B_S} > M_{B_L}$	sSTG → iSTG						-		+		
	sSTG → sMTG				+						
	iSTG → sMTG	+	+								
(ae) SEL	sSTG → iSTG	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	sSTG → sMTG	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	iSTG → sMTG	+	+	+	+	+	+	-		+	+

A.3.3.2. Anterior – posterior

Tabelle A.14. Experiment 3 – Regionen anterior-posterior.

		a ← ma		a ← mp		a ← p		ma ← mp		ma → p		mp → p	
		LH	RH	LH	RH	LH	RH	LH	RH	LH	RH	LH	RH
(a) P	sSTG	-	-	-	-		+	-	-	-	-	-	-
	iSTG	-	-	-	-			-	-	-	-	-	-
	sMTG			-	-			-	-	-	-	-	-
	gesamt	-	-	-	-		+	-	-	-	-	-	-
(b) T	sSTG	-	-	-	-	-	-	-	-			-	-
	iSTG	-	-	-	-	-	-	-	-			-	-
	sMTG			-	-	-	-	-	-	+	+	+	
	gesamt	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+	-
(c) M	sSTG	-	-	-	-			-	-	-	-	-	-
	iSTG	-	-	-	-			-	-	-	-	-	-
	sMTG			-	-	-	-	-	-	+	+	+	
	gesamt	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+	-
(d) P _U	sSTG	-	-	-	-		+	-	-	-	-	-	-
	iSTG	-	-	-	-			-	-	-	-	-	-
	sMTG			-	-			-	-			-	-
	gesamt	-	-	-	-		+	-	-	-	-	-	-
(e) T _U	sSTG	-	-	-	-	-	-	-	-			-	-
	iSTG	-	-	-	-	-	-	-	-			-	-
	sMTG			-	-	-	-	-	-	+	+	+	
	gesamt	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+	-
(f) M _U	sSTG	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	iSTG	-	-	-	-	-	-	-	-			-	-
	sMTG			-	-	-	-	-	-	+	+	+	
	gesamt	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+	-
(g) P _B	sSTG			-	-		+		-	-	-	-	-
	iSTG	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	sMTG			-	-	-	-					-	-
	gesamt	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(h) T _B	sSTG	-	-	-	-	-	-	-	-			-	-
	iSTG	-	-	-	-	-	-	-	-			-	-
	sMTG			-	-	-	-	-	-	+	+	+	
	gesamt	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+	-
(i) M _B	sSTG	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	iSTG	-	-	-	-	-	-	-	-			-	-
	sMTG			-	-	-	-	-	-	+	+	+	
	gesamt	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+	-

Fortsetzung auf der nächsten Seite

Fortsetzung der Tabelle A.14

		a ← ma		a ← mp		a ← p		ma ← mp		ma → p		mp → p	
		LH	RH	LH	RH	LH	RH	LH	RH	LH	RH	LH	RH
(j) P _{BL}	sSTG			-			+	-		-	-	-	-
	iSTG		-	-	-			-		-	-	-	-
	sMTG			-		-				-	-	-	-
	gesamt	-	-	-	-	-		-		-	-	-	-
(k) T _{BL}	sSTG	-	-	-	-	-		-				-	-
	iSTG	-	-	-	-	-	-	-	-			-	-
	sMTG	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+	-
	gesamt	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(l) M _{BL}	sSTG	-		-	-			-		-	-	-	-
	iSTG	-	-	-	-	-		-		-	-	-	-
	sMTG	-	-	-	-	-	-	-	-	+		+	-
	gesamt	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(m) P _{BS}	sSTG			-		+	+			-	-	-	-
	iSTG	-	-	-	-	-		-		-	-	-	-
	sMTG			-	-	-		-				-	-
	gesamt	-	-	-	-	-		-		-	-	-	-
(n) T _{BS}	sSTG	-	-	-	-	-		-				-	-
	iSTG	-	-	-	-	-	-	-				-	-
	sMTG	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+	-
	gesamt	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(o) M _{BS}	sSTG	-		-	-			-		-	-	-	-
	iSTG	-	-	-	-	-		-		-	-	-	-
	sMTG	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+	-
	gesamt	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(p) P > T	sSTG	+		+	+	+	+	+	+	-	-	-	-
	iSTG	+	+	+	+	+	+		+	-	-	-	-
	sMTG					+	+		+	-	-	-	-
	gesamt	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-
(q) P > M	sSTG	+		+	+	+	+		+	-	-		
	iSTG	+	+	+	+	+	+		+	-	-		
	sMTG					+	+		+	-	-	-	
	gesamt	+		+	+	+	+	+	+	-	-		
(r) M > T	sSTG				+	+	+	+	+	-	-	-	-
	iSTG			+		+	+		+	-	-	-	-
	sMTG				-	-				+		+	-
	gesamt			+	+	+	+		+	-	-	-	-

Fortsetzung auf der nächsten Seite

Fortsetzung der Tabelle A.14

		a ← ma		a ← mp		a ← p		ma ← mp		ma → p		mp → p	
		LH	RH	LH	RH	LH	RH	LH	RH	LH	RH	LH	RH
(s) $P_U > T_U$	sSTG			+	+	+	+	+	+	-	-	-	-
	iSTG	+	+	+	+	+	+		+		-		-
	sMTG					+	+		+		-		-
	gesamt	+		+	+	+	+	+	+		-	-	-
(t) $P_U > M_U$	sSTG	+		+	+	+	+		+		-		-
	iSTG	+	+	+	+	+	+				-		-
	sMTG					+	+		+		-		-
	gesamt	+		+	+	+	+	+	+		-	-	-
(u) $M_U > T_U$	sSTG	-							+	+	-		-
	iSTG	+		+		+							
	sMTG				(-)					(-)			
	gesamt							+	+	+	-		-
(v) $P_B > T_B$	sSTG	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-		-
	iSTG	+		+	+		+		+		-		-
	sMTG						+		+		-		-
	gesamt	+		+	+	+	+	+	+		-	-	-
(w) $P_B > M_B$	sSTG	+		+	+	+	+				-		-
	iSTG	+		+									-
	sMTG					+	+		+		-	-	-
	gesamt	+		+		+	+		+		-	-	-
(x) $M_B > T_B$	sSTG				+	+			+		-	-	-
	iSTG					+					-	-	-
	sMTG	(-)				-				+		+	-
	gesamt							+	+	+	-	-	-

Fortsetzung auf der nächsten Seite

Fortsetzung der Tabelle A.14

		a ← ma		a ← mp		a ← p		ma ← mp		ma → p		mp → p	
		LH	RH	LH	RH	LH	RH	LH	RH	LH	RH	LH	RH
(y) $P_B > P_U$	sSTG	+	+	+		+							+
	iSTG					-	-				+		+
	sMTG	-		-		-					+		
	gesamt	+									+		+
(z) $P_{B_S} > P_{B_L}$	sSTG			+		+				+			
	iSTG												
	sMTG	+											
	gesamt									+			
(aa) $T_B > T_U$	sSTG								(+)				
	iSTG									(+)			
	sMTG												
	gesamt									(+)			
(ab) $T_{B_S} > T_{B_L}$	sSTG												
	iSTG	+		+									
	sMTG	+	+		+		+						
	gesamt									+			
(ac) $M_B > M_U$	sSTG	+	+	+	+		+						+
	iSTG												
	sMTG					-				+			+
	gesamt		+		+					+			+
(ad) $M_{B_S} > M_{B_L}$	sSTG									-			
	iSTG	-		(-)		-	-				+	+	+
	sMTG												+
	gesamt					-	-						+
(ae) SEL	sSTG	+	+	+	+	+	+		+	-	-		
	iSTG	+	+	+	+	+	+	+	+				
	sMTG	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-	
	gesamt	+	+	+	+	+	+	+	+				

A.3.4. Hemisphären

Tabelle A.15. Experiment 3 – Hemisphären.

		a	ma	mp	p	gesamt
(a) Voxel	sSTG					
	iSTG					
	sMTG		R	R		R
	gesamt		R	R		
(b) P	sSTG				L	
	iSTG		R			
	sMTG		R	R		R
	gesamt		R	L		
(c) T	sSTG	R				
	iSTG					
	sMTG		R	R		
	gesamt		R			
(d) M	sSTG	R			L	
	iSTG					
	sMTG		R	R		
	gesamt		R			
(e) P _U	sSTG	R	R			
	iSTG	R	R			
	sMTG		R	R		R
	gesamt	R	R			
(f) T _U	sSTG	R				
	iSTG					
	sMTG					
	gesamt	R	R			
(g) M _U	sSTG	R				
	iSTG		R			
	sMTG			R		
	gesamt	R	R			
(h) P _B	sSTG				L	
	iSTG		R			
	sMTG		R			
	gesamt		R		L	
(i) T _B	sSTG	R				
	iSTG					
	sMTG			R		
	gesamt	R	R			

Fortsetzung auf der nächsten Seite

Fortsetzung der Tabelle A.15

		a	ma	mp	p	gesamt
(j) M_B	sSTG	R				
	iSTG					
	sMTG			R		
	gesamt	R	R	L		
(k) P_{B_L}	sSTG				L	
	iSTG		R	L		
	sMTG		R			
	gesamt				L	
(l) T_{B_L}	sSTG					
	iSTG	R				
	sMTG					
	gesamt	R	R	L		
(m) M_{B_L}	sSTG	R		L		
	iSTG					
	sMTG			R		
	gesamt	R	R	L		
(n) P_{B_S}	sSTG					
	iSTG		R			
	sMTG		R			
	gesamt		R		L	
(o) T_{B_S}	sSTG	R				
	iSTG					
	sMTG		R	R		
	gesamt	R	R			
(p) M_{B_S}	sSTG	R				
	iSTG					
	sMTG					
	gesamt	R	R			
(q) $P > T$	sSTG					
	iSTG					
	sMTG				L	
	gesamt					
(r) $P > M$	sSTG					
	iSTG					
	sMTG				L	
	gesamt					

Fortsetzung auf der nächsten Seite

Fortsetzung der Tabelle A.15

		a	ma	mp	p	gesamt
(s) $M > T$	sSTG			L		
	iSTG					
	sMTG				L	
	gesamt				L	L
(t) $P_U > T_U$	sSTG					
	iSTG					
	sMTG					
	gesamt					
(u) $P_U > M_U$	sSTG					
	iSTG					
	sMTG			L		
	gesamt			L		
(v) $M_U > T_U$	sSTG					
	iSTG					
	sMTG					
	gesamt					
(w) $P_B > T_B$	sSTG	L				
	iSTG					
	sMTG			L		
	gesamt	L		L		L
(x) $P_B > M_B$	sSTG	L				
	iSTG					
	sMTG			L		
	gesamt	L		L		
(y) $M_B > T_B$	sSTG			L		
	iSTG		L			
	sMTG				L	
	gesamt		L	L	L	L
(z) $P_B > P_U$	sSTG					
	iSTG			L		
	sMTG					
	gesamt			L		L
(aa) $P_{BS} > P_{BL}$	sSTG					
	iSTG					
	sMTG	L				
	gesamt	L				

Fortsetzung auf der nächsten Seite

Fortsetzung der Tabelle A.15

		a	ma	mp	p	gesamt
(ab) $T_B > T_U$	sSTG	R				
	iSTG					
	sMTG	L				
	gesamt					
(ac) $T_{B_S} > T_{B_L}$	sSTG	R	R			R
	iSTG					
	sMTG					
	gesamt		R			R
(ad) $M_B > M_U$	sSTG					
	iSTG		L			
	sMTG					
	gesamt					
(ae) $M_{B_S} > M_{B_L}$	sSTG				L	
	iSTG					
	sMTG					
	gesamt					
(af) SEL	sSTG	L				
	iSTG					
	sMTG			L		
	gesamt					

A.4. Experiment 4

A.4.1. Werte

Tabelle A.16. Experiment 4 – Werte.

		a		ma		mp		p		gesamt	
		LH	RH	LH	RH	LH	RH	LH	RH	LH	RH
(a)	sSTG	571	565	1401	1581	2466	2450	1341	1018	5779	5613
		91	104	160	175	197	169	169	116	506	489
Voxel	iSTG	207	355	884	1195	1640	2054	1180	1121	3912	4724
		57	78	132	141	162	191	160	156	423	433
	sMTG	106	154	320	532	698	1145	1044	1142	2169	2973
		47	47	79	90	136	174	170	189	322	349
	gesamt	884	1074	2605	3307	4805	5649	3566	3280	11859	13310
		169	196	346	379	392	418	442	405	1130	1194
(b)	sSTG	1,000	1,015	0,771	0,788	0,760	0,750	0,656	0,612	0,768	0,756
		0,086	0,081	0,059	0,063	0,051	0,056	0,043	0,050	0,048	0,054
C	iSTG	0,692	0,722	0,570	0,614	0,638	0,662	0,562	0,628	0,608	0,653
		0,069	0,032	0,033	0,041	0,044	0,045	0,036	0,048	0,037	0,038
	sMTG	0,570	0,628	0,531	0,572	0,621	0,599	0,563	0,552	0,587	0,594
		0,052	0,074	0,033	0,033	0,053	0,036	0,042	0,032	0,035	0,027
	gesamt	0,899	0,886	0,680	0,694	0,701	0,698	0,603	0,597	0,684	0,688
		0,074	0,060	0,046	0,046	0,043	0,043	0,034	0,031	0,038	0,038
(c)	sSTG	0,616	0,705	0,637	0,735	0,699	0,731	0,557	0,509	0,652	0,680
		0,063	0,071	0,045	0,045	0,044	0,048	0,038	0,040	0,037	0,040
T	iSTG	0,368	0,397	0,364	0,436	0,467	0,534	0,407	0,502	0,429	0,497
		0,053	0,041	0,030	0,036	0,035	0,035	0,043	0,037	0,032	0,030
	sMTG	0,347	0,288	0,273	0,354	0,292	0,433	0,396	0,417	0,370	0,430
		0,080	0,048	0,030	0,029	0,042	0,031	0,044	0,039	0,031	0,025
	gesamt	0,537	0,571	0,504	0,576	0,577	0,608	0,465	0,484	0,530	0,562
		0,058	0,057	0,035	0,031	0,035	0,034	0,035	0,026	0,030	0,028
(d)	sSTG	0,663	0,767	0,714	0,829	0,765	0,801	0,596	0,544	0,711	0,746
		0,068	0,061	0,041	0,047	0,035	0,049	0,043	0,035	0,031	0,036
O	iSTG	0,376	0,468	0,383	0,474	0,480	0,551	0,411	0,494	0,436	0,512
		0,058	0,050	0,036	0,037	0,036	0,029	0,041	0,037	0,031	0,027
	sMTG	0,303	0,305	0,261	0,364	0,266	0,443	0,359	0,358	0,338	0,406
		0,062	0,068	0,030	0,034	0,057	0,030	0,033	0,040	0,028	0,023
	gesamt	0,570	0,621	0,549	0,633	0,612	0,646	0,468	0,473	0,554	0,590
		0,062	0,053	0,034	0,028	0,030	0,029	0,031	0,024	0,025	0,022
(e)	sSTG	0,947	0,932	0,622	0,599	0,625	0,634	0,533	0,621	0,637	0,650
		0,117	0,097	0,096	0,095	0,082	0,085	0,063	0,071	0,080	0,079
C _s	iSTG	0,685	0,699	0,480	0,539	0,547	0,617	0,503	0,662	0,538	0,625
		0,097	0,102	0,057	0,078	0,060	0,079	0,047	0,071	0,050	0,068
	sMTG	0,521	0,643	0,522	0,563	0,542	0,593	0,491	0,585	0,539	0,601
		0,149	0,091	0,056	0,047	0,054	0,066	0,057	0,057	0,050	0,049
	gesamt	0,854	0,841	0,566	0,576	0,591	0,630	0,516	0,623	0,588	0,636
		0,103	0,084	0,076	0,076	0,064	0,075	0,049	0,062	0,060	0,064

Fortsetzung auf der nächsten Seite

Fortsetzung der Tabelle A.16

		a		ma		mp		p		gesamt		
		LH	RH	LH	RH	LH	RH	LH	RH	LH	RH	
(f)	S _{TG}	0,771	0,713	0,518	0,538	0,539	0,558	0,435	0,511	0,535	0,560	
		0,131	0,141	0,072	0,064	0,058	0,074	0,051	0,088	0,061	0,071	
	T _S	iSTG	0,395	0,575	0,329	0,389	0,390	0,489	0,348	0,449	0,373	0,468
		0,078	0,119	0,074	0,072	0,063	0,059	0,054	0,075	0,060	0,063	
	sMTG	0,479	0,503	0,261	0,376	0,293	0,495	0,352	0,414	0,347	0,462	
	0,167	0,099	0,080	0,067	0,087	0,072	0,063	0,078	0,051	0,066		
	gesamt	0,667	0,667	0,425	0,467	0,472	0,528	0,378	0,453	0,452	0,508	
	0,118	0,108	0,070	0,060	0,052	0,065	0,048	0,069	0,054	0,062		
(g)	S _{TG}	0,944	0,721	0,606	0,652	0,623	0,788	0,522	0,698	0,640	0,717	
		0,232	0,239	0,182	0,132	0,175	0,172	0,126	0,131	0,165	0,134	
	O _S	iSTG	0,305	0,714	0,364	0,471	0,493	0,563	0,314	0,587	0,422	0,548
		0,197	0,155	0,125	0,144	0,107	0,134	0,144	0,155	0,099	0,130	
	sMTG	0,584	0,533	0,325	0,426	0,371	0,580	0,321	0,434	0,355	0,504	
	0,241	0,109	0,130	0,095	0,116	0,107	0,083	0,130	0,091	0,093		
	gesamt	0,751	0,627	0,482	0,561	0,565	0,680	0,370	0,578	0,517	0,628	
	0,187	0,153	0,138	0,124	0,141	0,138	0,111	0,129	0,127	0,118		
(h)	S _{TG}	1,040	1,053	0,875	0,891	0,847	0,820	0,726	0,620	0,851	0,818	
		0,077	0,086	0,051	0,056	0,042	0,048	0,042	0,055	0,038	0,048	
	C _N	iSTG	0,713	0,726	0,630	0,668	0,685	0,712	0,602	0,628	0,651	0,685
		0,070	0,034	0,038	0,042	0,035	0,038	0,042	0,051	0,035	0,036	
	sMTG	0,581	0,617	0,554	0,568	0,649	0,622	0,608	0,545	0,619	0,595	
	0,056	0,075	0,037	0,044	0,055	0,038	0,043	0,033	0,032	0,027		
	gesamt	0,927	0,907	0,760	0,763	0,767	0,753	0,655	0,598	0,743	0,726	
	0,063	0,066	0,041	0,042	0,035	0,036	0,034	0,033	0,032	0,034		
(i)	S _{TG}	0,589	0,698	0,655	0,756	0,719	0,749	0,571	0,507	0,666	0,692	
		0,059	0,069	0,046	0,046	0,046	0,047	0,039	0,037	0,037	0,038	
	T _N	iSTG	0,363	0,367	0,369	0,442	0,476	0,537	0,412	0,508	0,435	0,498
		0,055	0,046	0,030	0,038	0,036	0,035	0,044	0,040	0,033	0,032	
	sMTG	0,322	0,261	0,273	0,349	0,302	0,424	0,395	0,423	0,369	0,427	
	0,078	0,050	0,027	0,029	0,036	0,032	0,046	0,042	0,032	0,025		
	gesamt	0,513	0,556	0,517	0,589	0,591	0,616	0,472	0,488	0,539	0,567	
	0,053	0,057	0,035	0,032	0,037	0,033	0,035	0,026	0,031	0,027		
(j)	S _{TG}	0,636	0,762	0,718	0,840	0,773	0,802	0,599	0,529	0,712	0,745	
		0,069	0,066	0,047	0,054	0,042	0,051	0,044	0,040	0,036	0,042	
	O _N	iSTG	0,363	0,455	0,384	0,465	0,482	0,551	0,411	0,487	0,436	0,509
		0,060	0,059	0,034	0,045	0,038	0,033	0,046	0,040	0,033	0,032	
	sMTG	0,267	0,290	0,256	0,355	0,253	0,435	0,361	0,354	0,333	0,398	
	0,076	0,071	0,030	0,035	0,066	0,030	0,037	0,042	0,034	0,027		
	gesamt	0,546	0,617	0,552	0,633	0,614	0,643	0,470	0,464	0,554	0,585	
	0,063	0,059	0,038	0,034	0,035	0,033	0,034	0,028	0,030	0,028		

Fortsetzung auf der nächsten Seite

Fortsetzung der Tabelle A.16

		a		ma		mp		p		gesamt	
		LH	RH	LH	RH	LH	RH	LH	RH	LH	RH
(k)	sSTG	1,179	1,206	0,915	0,956	0,885	0,877	0,761	0,682	0,901	0,887
		0,121	0,125	0,077	0,072	0,057	0,064	0,051	0,076	0,060	0,066
	C _{N_L} iSTG	0,781	0,865	0,650	0,746	0,718	0,781	0,649	0,710	0,690	0,770
		0,097	0,061	0,059	0,053	0,050	0,046	0,059	0,073	0,053	0,047
	sMTG	0,619	0,743	0,568	0,654	0,732	0,716	0,642	0,608	0,660	0,678
		0,087	0,094	0,046	0,054	0,080	0,049	0,060	0,054	0,046	0,045
	gesamt	1,039	1,054	0,791	0,833	0,806	0,820	0,692	0,670	0,787	0,803
		0,102	0,095	0,066	0,055	0,049	0,046	0,050	0,056	0,051	0,048
(l)	sSTG	0,693	0,714	0,706	0,773	0,744	0,757	0,586	0,510	0,702	0,703
		0,091	0,087	0,061	0,049	0,055	0,054	0,038	0,043	0,048	0,043
	T _{N_L} iSTG	0,353	0,380	0,389	0,450	0,508	0,547	0,444	0,498	0,463	0,504
		0,067	0,050	0,033	0,036	0,045	0,042	0,046	0,036	0,038	0,035
	sMTG	0,396	0,272	0,308	0,353	0,315	0,430	0,431	0,426	0,411	0,432
		0,086	0,066	0,037	0,034	0,055	0,040	0,046	0,040	0,032	0,029
	gesamt	0,592	0,569	0,553	0,605	0,623	0,624	0,498	0,490	0,573	0,577
		0,086	0,071	0,043	0,038	0,046	0,041	0,036	0,027	0,039	0,033
(m)	sSTG	0,682	0,814	0,703	0,812	0,763	0,782	0,604	0,524	0,714	0,734
		0,085	0,073	0,075	0,066	0,053	0,066	0,047	0,049	0,050	0,058
	O _{N_L} iSTG	0,356	0,459	0,362	0,453	0,478	0,553	0,406	0,467	0,427	0,500
		0,060	0,064	0,037	0,050	0,046	0,041	0,052	0,042	0,041	0,038
	sMTG	0,254	0,221	0,295	0,332	0,262	0,446	0,370	0,337	0,353	0,394
		0,063	0,087	0,036	0,050	0,093	0,038	0,044	0,035	0,039	0,028
	gesamt	0,581	0,646	0,541	0,609	0,612	0,634	0,471	0,444	0,554	0,573
		0,073	0,068	0,055	0,050	0,045	0,046	0,041	0,031	0,041	0,041
(n)	sSTG	0,911	0,913	0,839	0,834	0,815	0,770	0,696	0,565	0,806	0,756
		0,069	0,076	0,034	0,059	0,040	0,051	0,046	0,049	0,032	0,047
	C _{N_S} iSTG	0,651	0,598	0,615	0,597	0,657	0,650	0,561	0,556	0,618	0,609
		0,065	0,052	0,031	0,045	0,032	0,041	0,033	0,048	0,027	0,040
	sMTG	0,542	0,503	0,543	0,492	0,577	0,535	0,577	0,489	0,583	0,520
		0,135	0,085	0,036	0,052	0,053	0,039	0,034	0,030	0,029	0,025
	gesamt	0,823	0,772	0,733	0,701	0,733	0,692	0,621	0,533	0,705	0,656
		0,060	0,060	0,025	0,047	0,034	0,039	0,030	0,029	0,025	0,037
(o)	sSTG	0,488	0,681	0,606	0,740	0,696	0,741	0,556	0,505	0,631	0,681
		0,051	0,063	0,048	0,054	0,051	0,052	0,049	0,040	0,042	0,044
	T _{N_S} iSTG	0,372	0,353	0,351	0,434	0,443	0,528	0,381	0,517	0,407	0,492
		0,075	0,060	0,033	0,047	0,037	0,035	0,047	0,050	0,035	0,036
	sMTG	0,247	0,251	0,238	0,346	0,288	0,419	0,360	0,421	0,327	0,422
		0,125	0,049	0,031	0,035	0,038	0,034	0,053	0,049	0,041	0,030
	gesamt	0,436	0,543	0,483	0,573	0,559	0,608	0,448	0,487	0,506	0,558
		0,044	0,051	0,038	0,038	0,041	0,036	0,041	0,033	0,035	0,032

Fortsetzung auf der nächsten Seite

Fortsetzung der Tabelle A.16

		a		ma		mp		p		gesamt	
		LH	RH	LH	RH	LH	RH	LH	RH	LH	RH
(p)	sSTG	0,590 0,079	0,712 0,068	0,731 0,040	0,866 0,054	0,781 0,040	0,819 0,044	0,594 0,047	0,532 0,039	0,710 0,032	0,755 0,033
	O _{NS} iSTG	0,369 0,078	0,451 0,067	0,403 0,040	0,477 0,044	0,485 0,038	0,549 0,034	0,415 0,046	0,505 0,043	0,444 0,031	0,516 0,032
	sMTG	0,280 0,107	0,352 0,085	0,220 0,034	0,376 0,033	0,246 0,059	0,423 0,028	0,352 0,034	0,369 0,053	0,315 0,034	0,402 0,032
	gesamt	0,512 0,076	0,589 0,058	0,562 0,035	0,656 0,033	0,615 0,037	0,651 0,027	0,469 0,032	0,481 0,032	0,553 0,026	0,595 0,023
(q)	sSTG	0,385 0,057	0,310 0,044	0,134 0,033	0,053 0,042	0,061 0,036	0,018 0,037	0,099 0,026	0,104 0,031	0,116 0,034	0,076 0,028
	C > T iSTG	0,324 0,052	0,325 0,052	0,206 0,026	0,178 0,025	0,171 0,027	0,127 0,029	0,155 0,024	0,126 0,027	0,180 0,021	0,156 0,024
	sMTG	0,224 0,097	0,341 0,064	0,257 0,034	0,217 0,027	0,329 0,067	0,166 0,026	0,167 0,037	0,135 0,023	0,217 0,033	0,164 0,021
	gesamt	0,362 0,049	0,315 0,043	0,175 0,028	0,118 0,031	0,124 0,029	0,089 0,028	0,138 0,019	0,113 0,021	0,154 0,027	0,126 0,023
(r)	sSTG	0,337 0,072	0,248 0,043	0,057 0,035	-0,041 0,048	-0,005 0,033	-0,052 0,040	0,059 0,034	0,069 0,043	0,057 0,035	0,010 0,031
	C > O iSTG	0,316 0,066	0,254 0,061	0,186 0,034	0,140 0,027	0,157 0,033	0,111 0,028	0,152 0,024	0,134 0,031	0,173 0,022	0,141 0,025
	sMTG	0,267 0,095	0,323 0,052	0,269 0,039	0,207 0,038	0,355 0,073	0,157 0,029	0,204 0,035	0,194 0,027	0,249 0,035	0,187 0,023
	gesamt	0,329 0,064	0,265 0,045	0,130 0,033	0,060 0,029	0,090 0,031	0,052 0,029	0,135 0,019	0,124 0,026	0,130 0,027	0,098 0,023
(s)	sSTG	0,048 0,054	0,061 0,027	0,077 0,021	0,094 0,021	0,065 0,016	0,070 0,019	0,040 0,018	0,035 0,023	0,059 0,017	0,066 0,017
	O > T iSTG	0,008 0,036	0,072 0,024	0,020 0,013	0,037 0,017	0,013 0,022	0,017 0,017	0,004 0,012	-0,008 0,023	0,007 0,013	0,016 0,017
	sMTG	-0,043 0,044	0,017 0,036	-0,012 0,017	0,010 0,020	-0,026 0,024	0,009 0,015	-0,037 0,021	-0,060 0,020	-0,032 0,015	-0,024 0,014
	gesamt	0,033 0,047	0,051 0,020	0,045 0,015	0,057 0,014	0,035 0,016	0,038 0,015	0,003 0,013	-0,011 0,018	0,024 0,014	0,028 0,014
(t)	sSTG	0,221 0,119	0,263 0,104	0,134 0,108	0,093 0,117	0,118 0,107	0,108 0,108	0,123 0,081	0,140 0,101	0,134 0,098	0,123 0,100
	C _S > T _S iSTG	0,314 0,119	0,160 0,107	0,170 0,094	0,172 0,100	0,180 0,064	0,157 0,093	0,175 0,078	0,240 0,093	0,187 0,074	0,185 0,091
	sMTG	0,079 0,201	0,172 0,113	0,276 0,095	0,210 0,079	0,266 0,073	0,127 0,089	0,159 0,082	0,195 0,089	0,212 0,068	0,167 0,082
	gesamt	0,226 0,109	0,216 0,094	0,166 0,093	0,136 0,099	0,146 0,084	0,133 0,095	0,160 0,074	0,197 0,087	0,163 0,083	0,158 0,088

Fortsetzung auf der nächsten Seite

Fortsetzung der Tabelle A.16

		a		ma		mp		p		gesamt		
		LH	RH									
(u)	sSTG	0,280	0,436	0,194	0,139	0,186	0,078	0,164	0,128	0,185	0,144	
		0,172	0,211	0,169	0,164	0,167	0,167	0,114	0,128	0,154	0,144	
	$C_S > O_S$	iSTG	0,475	0,208	0,223	0,206	0,200	0,220	0,281	0,248	0,241	0,238
		0,178	0,124	0,112	0,144	0,100	0,126	0,116	0,125	0,096	0,121	
	sMTG	0,072	0,277	0,292	0,270	0,280	0,184	0,264	0,279	0,288	0,245	
		0,191	0,098	0,110	0,084	0,084	0,107	0,086	0,110	0,085	0,094	
	gesamt	0,324	0,410	0,226	0,180	0,192	0,150	0,254	0,215	0,223	0,193	
		0,152	0,145	0,128	0,139	0,133	0,140	0,098	0,116	0,120	0,125	
(v)	sSTG	-0,060	-0,172	-0,059	-0,046	-0,068	0,031	-0,042	0,012	-0,051	-0,021	
		0,160	0,239	0,144	0,111	0,129	0,129	0,098	0,087	0,127	0,110	
	$O_S > T_S$	iSTG	-0,161	-0,048	-0,053	-0,034	-0,020	-0,063	-0,106	-0,008	-0,054	-0,054
		0,169	0,068	0,081	0,114	0,077	0,082	0,112	0,086	0,081	0,079	
	sMTG	0,007	-0,105	-0,017	-0,060	-0,013	-0,057	-0,105	-0,084	-0,076	-0,078	
		0,172	0,071	0,069	0,060	0,086	0,069	0,076	0,078	0,069	0,062	
	gesamt	-0,097	-0,195	-0,060	-0,044	-0,046	-0,017	-0,094	-0,019	-0,060	-0,035	
		0,145	0,144	0,107	0,095	0,103	0,096	0,092	0,084	0,100	0,087	
(w)	sSTG	0,451	0,356	0,220	0,135	0,128	0,071	0,156	0,113	0,184	0,126	
		0,060	0,061	0,024	0,032	0,024	0,028	0,020	0,037	0,024	0,027	
	$C_N > T_N$	iSTG	0,350	0,359	0,261	0,226	0,210	0,175	0,190	0,121	0,217	0,188
		0,055	0,056	0,025	0,030	0,027	0,028	0,023	0,031	0,022	0,027	
	sMTG	0,260	0,355	0,281	0,219	0,347	0,198	0,213	0,122	0,250	0,169	
		0,077	0,073	0,030	0,037	0,070	0,025	0,040	0,033	0,034	0,027	
	gesamt	0,414	0,351	0,243	0,174	0,176	0,137	0,182	0,110	0,205	0,158	
		0,052	0,056	0,023	0,030	0,024	0,024	0,017	0,028	0,022	0,025	
(x)	sSTG	0,404	0,291	0,157	0,051	0,074	0,018	0,127	0,092	0,138	0,073	
		0,076	0,052	0,043	0,034	0,019	0,033	0,018	0,053	0,022	0,032	
	$C_N > O_N$	iSTG	0,350	0,271	0,246	0,202	0,203	0,161	0,191	0,141	0,215	0,177
		0,070	0,066	0,030	0,035	0,033	0,031	0,027	0,040	0,024	0,033	
	sMTG	0,314	0,327	0,297	0,213	0,396	0,188	0,247	0,191	0,286	0,197	
		0,077	0,068	0,041	0,046	0,086	0,026	0,038	0,034	0,039	0,031	
	gesamt	0,381	0,290	0,208	0,130	0,153	0,110	0,184	0,134	0,189	0,141	
		0,065	0,053	0,038	0,027	0,026	0,027	0,017	0,036	0,024	0,029	
(y)	sSTG	0,047	0,065	0,063	0,084	0,053	0,053	0,028	0,021	0,046	0,053	
		0,066	0,026	0,036	0,030	0,025	0,024	0,019	0,027	0,024	0,024	
	$O_N > T_N$	iSTG	-0,001	0,088	0,014	0,024	0,007	0,014	-0,001	-0,021	0,001	0,011
		0,039	0,031	0,015	0,017	0,026	0,021	0,017	0,021	0,018	0,021	
	sMTG	-0,054	0,029	-0,017	0,006	-0,049	0,010	-0,034	-0,069	-0,036	-0,028	
		0,056	0,040	0,019	0,022	0,042	0,019	0,023	0,023	0,019	0,017	
	gesamt	0,033	0,061	0,035	0,044	0,023	0,027	-0,002	-0,025	0,015	0,018	
		0,058	0,024	0,026	0,024	0,023	0,021	0,016	0,021	0,020	0,020	

Fortsetzung auf der nächsten Seite

Fortsetzung der Tabelle A.16

		a		ma		mp		p		gesamt		
		LH	RH	LH	RH	LH	RH	LH	RH	LH	RH	
(z)	sSTG	0,093	0,122	0,253	0,292	0,222	0,186	0,194	-0,001	0,214	0,168	
		0,099	0,098	0,088	0,086	0,080	0,070	0,065	0,068	0,077	0,067	
	$C_N > C_S$	iSTG	0,028	0,027	0,150	0,129	0,138	0,095	0,099	-0,034	0,113	0,060
			0,078	0,119	0,067	0,081	0,054	0,068	0,051	0,058	0,049	0,063
	sMTG	0,061	-0,026	0,032	0,005	0,107	0,029	0,117	-0,040	0,080	-0,006	
	gesamt	0,074	0,066	0,194	0,187	0,176	0,123	0,139	-0,025	0,156	0,089	
		0,089	0,099	0,074	0,072	0,064	0,067	0,046	0,056	0,058	0,058	
(aa)	sSTG	0,232	0,274	0,293	0,356	0,259	0,243	0,229	0,061	0,264	0,237	
		0,105	0,113	0,095	0,099	0,090	0,082	0,070	0,078	0,084	0,076	
	$C_{N_L} > C_S$	iSTG	0,096	0,166	0,170	0,207	0,170	0,163	0,146	0,048	0,152	0,144
			0,099	0,114	0,077	0,089	0,059	0,072	0,063	0,064	0,060	0,069
	sMTG	0,098	0,101	0,046	0,091	0,190	0,123	0,151	0,023	0,121	0,077	
	gesamt	0,185	0,213	0,225	0,257	0,216	0,191	0,177	0,047	0,199	0,167	
		0,090	0,108	0,083	0,081	0,072	0,073	0,057	0,063	0,067	0,065	
(ab)	sSTG	-0,036	-0,018	0,217	0,235	0,190	0,137	0,164	-0,056	0,169	0,106	
		0,127	0,112	0,091	0,086	0,078	0,072	0,069	0,071	0,081	0,071	
	$C_{N_S} > C_S$	iSTG	-0,033	-0,101	0,135	0,059	0,109	0,032	0,058	-0,106	0,080	-0,016
			0,078	0,139	0,067	0,082	0,058	0,070	0,047	0,071	0,048	0,066
	sMTG	0,022	-0,140	0,021	-0,071	0,035	-0,058	0,087	-0,096	0,044	-0,081	
	gesamt	0,270	0,077	0,055	0,071	0,058	0,082	0,042	0,058	0,039	0,054	
		-0,031	-0,069	0,167	0,125	0,143	0,062	0,106	-0,090	0,117	0,019	
		0,118	0,108	0,075	0,074	0,064	0,069	0,045	0,064	0,059	0,063	
(ac)	sSTG	0,268	0,293	0,076	0,121	0,069	0,106	0,065	0,117	0,095	0,131	
		0,120	0,109	0,060	0,067	0,051	0,063	0,048	0,060	0,055	0,060	
	$C_{N_L} > C_{N_S}$	iSTG	0,130	0,267	0,035	0,149	0,061	0,131	0,087	0,154	0,072	0,161
			0,085	0,088	0,054	0,051	0,044	0,040	0,044	0,068	0,046	0,047
	sMTG	0,076	0,241	0,025	0,162	0,155	0,181	0,064	0,119	0,077	0,158	
	gesamt	0,198	0,094	0,036	0,055	0,078	0,046	0,044	0,057	0,040	0,049	
		0,216	0,282	0,058	0,132	0,073	0,129	0,071	0,137	0,082	0,147	
		0,110	0,086	0,053	0,057	0,046	0,045	0,044	0,059	0,048	0,051	
(ad)	sSTG	-0,137	0,029	0,168	0,250	0,212	0,224	0,161	0,026	0,163	0,165	
		0,115	0,107	0,073	0,094	0,080	0,093	0,058	0,079	0,071	0,082	
	$T_N > T_S$	iSTG	-0,008	-0,172	0,059	0,075	0,108	0,077	0,085	0,085	0,083	0,057
			0,089	0,137	0,063	0,091	0,058	0,075	0,055	0,090	0,056	0,081
	sMTG	-0,121	-0,210	0,027	-0,003	0,027	-0,042	0,064	0,033	0,042	-0,008	
	gesamt	0,142	0,094	0,067	0,074	0,074	0,079	0,065	0,085	0,055	0,073	
		-0,114	-0,070	0,117	0,150	0,146	0,119	0,117	0,062	0,114	0,089	
		0,098	0,101	0,065	0,083	0,064	0,081	0,052	0,077	0,059	0,076	

Fortsetzung auf der nächsten Seite

Fortsetzung der Tabelle A.16

		a		ma		mp		p		gesamt		
		LH	RH	LH	RH	LH	RH	LH	RH	LH	RH	
(ae)	sSTG	-0,033	0,046	0,219	0,267	0,236	0,232	0,176	0,029	0,199	0,176	
		0,107	0,099	0,076	0,090	0,078	0,085	0,056	0,080	0,068	0,075	
	$T_{N_L} > T_S$	iSTG	-0,018	-0,159	0,079	0,083	0,141	0,086	0,117	0,076	0,111	0,063
		0,094	0,127	0,062	0,087	0,057	0,073	0,050	0,080	0,054	0,076	
	sMTG	-0,046	-0,199	0,062	0,000	0,040	-0,036	0,100	0,036	0,084	-0,003	
		0,130	0,083	0,064	0,069	0,063	0,080	0,055	0,082	0,046	0,071	
	gesamt	-0,036	-0,057	0,153	0,166	0,179	0,127	0,142	0,063	0,148	0,099	
		0,091	0,096	0,065	0,079	0,062	0,076	0,047	0,072	0,056	0,071	
(af)	sSTG	-0,238	0,013	0,118	0,234	0,188	0,215	0,146	0,024	0,128	0,154	
		0,138	0,122	0,083	0,103	0,089	0,106	0,066	0,081	0,082	0,093	
	$T_{N_S} > T_S$	iSTG	0,001	-0,185	0,041	0,068	0,076	0,068	0,054	0,095	0,056	0,051
		0,105	0,152	0,068	0,098	0,066	0,081	0,063	0,102	0,063	0,088	
	sMTG	-0,195	-0,220	-0,008	-0,007	0,012	-0,047	0,028	0,031	0,000	-0,012	
		0,187	0,113	0,075	0,083	0,094	0,083	0,078	0,090	0,068	0,078	
	gesamt	-0,191	-0,083	0,082	0,134	0,115	0,111	0,092	0,060	0,081	0,080	
		0,121	0,112	0,071	0,091	0,074	0,090	0,061	0,084	0,069	0,085	
(ag)	sSTG	0,204	0,033	0,100	0,033	0,048	0,016	0,030	0,005	0,071	0,022	
		0,088	0,063	0,061	0,049	0,052	0,047	0,040	0,036	0,052	0,044	
	$T_{N_L} > T_{N_S}$	iSTG	-0,019	0,026	0,039	0,016	0,065	0,018	0,063	-0,019	0,056	0,012
		0,091	0,061	0,030	0,035	0,041	0,032	0,028	0,035	0,032	0,031	
	sMTG	0,149	0,021	0,070	0,007	0,027	0,011	0,072	0,005	0,084	0,010	
		0,149	0,060	0,040	0,036	0,061	0,037	0,037	0,031	0,037	0,031	
	gesamt	0,155	0,026	0,070	0,032	0,064	0,017	0,050	0,003	0,067	0,019	
		0,085	0,047	0,042	0,043	0,047	0,039	0,032	0,030	0,042	0,037	
(ah)	sSTG	-0,030	0,267	0,290	0,380	0,333	0,246	0,231	0,036	0,260	0,239	
		0,214	0,218	0,169	0,148	0,160	0,154	0,120	0,135	0,155	0,143	
	$O_N > O_S$	iSTG	0,153	-0,036	0,127	0,133	0,134	0,154	0,189	0,072	0,138	0,121
		0,165	0,163	0,092	0,143	0,099	0,125	0,136	0,131	0,095	0,124	
	sMTG	-0,181	-0,076	0,027	0,062	-0,009	0,025	0,134	0,048	0,083	0,042	
		0,244	0,101	0,095	0,095	0,122	0,096	0,083	0,100	0,094	0,093	
	gesamt	0,016	0,186	0,212	0,238	0,215	0,163	0,209	0,056	0,189	0,142	
		0,183	0,164	0,127	0,132	0,133	0,133	0,105	0,120	0,123	0,125	
(ai)	sSTG	0,016	0,318	0,275	0,352	0,324	0,226	0,236	0,031	0,262	0,227	
		0,201	0,219	0,190	0,158	0,167	0,161	0,124	0,142	0,162	0,152	
	$O_{N_L} > O_S$	iSTG	0,146	-0,032	0,105	0,120	0,130	0,155	0,184	0,052	0,129	0,113
		0,152	0,157	0,089	0,147	0,104	0,130	0,140	0,134	0,100	0,131	
	sMTG	-0,195	-0,145	0,065	0,039	0,000	0,036	0,143	0,031	0,102	0,038	
		0,223	0,117	0,095	0,101	0,129	0,098	0,087	0,101	0,093	0,093	
	gesamt	0,051	0,215	0,201	0,213	0,213	0,154	0,210	0,036	0,189	0,130	
		0,171	0,168	0,137	0,144	0,140	0,139	0,111	0,126	0,128	0,133	

Fortsetzung auf der nächsten Seite

Fortsetzung der Tabelle A.16

		a		ma		mp		p		gesamt		
		LH	RH	LH	RH	LH	RH	LH	RH	LH	RH	
(aj)	sSTG	-0,077	0,216	0,303	0,406	0,341	0,263	0,225	0,039	0,258	0,249	
		0,233	0,220	0,155	0,143	0,155	0,151	0,119	0,132	0,151	0,138	
	$O_{N_S} > O_S$	iSTG	0,159	-0,040	0,146	0,144	0,137	0,152	0,193	0,091	0,146	0,128
			0,184	0,172	0,098	0,141	0,097	0,123	0,135	0,129	0,094	0,120
	sMTG	-0,168	-0,014	-0,010	0,083	-0,016	0,014	0,125	0,063	0,064	0,045	
		0,269	0,108	0,099	0,095	0,129	0,097	0,082	0,101	0,097	0,095	
	gesamt	-0,018	0,158	0,222	0,260	0,217	0,171	0,207	0,073	0,188	0,152	
		0,202	0,163	0,122	0,124	0,130	0,130	0,102	0,115	0,120	0,119	
(ak)	sSTG	0,092	0,101	-0,029	-0,053	-0,018	-0,037	0,011	-0,007	0,003	-0,021	
		0,090	0,050	0,072	0,054	0,041	0,044	0,033	0,038	0,042	0,042	
	$O_{N_L} > O_{N_S}$	iSTG	-0,013	0,008	-0,041	-0,024	-0,007	0,004	-0,009	-0,039	-0,017	-0,015
			0,072	0,057	0,035	0,030	0,034	0,036	0,034	0,029	0,029	0,029
	sMTG	-0,027	-0,131	0,075	-0,045	0,016	0,023	0,018	-0,032	0,038	-0,007	
			0,089	0,100	0,038	0,047	0,081	0,031	0,027	0,032	0,030	0,028
	gesamt	0,069	0,057	-0,020	-0,047	-0,003	-0,017	0,003	-0,037	0,001	-0,022	
		0,080	0,047	0,050	0,047	0,041	0,037	0,028	0,029	0,035	0,034	
(al)	sSTG	34	27	9	-5	0	-5	11	11	8	3	
		5	4	5	6	5	5	5	5	5	4	
SEL	iSTG	45	38	34	26	24	16	28	19	29	22	
		6	7	5	4	4	4	5	4	3	3	
	sMTG	35	55	48	36	53	25	32	31	38	29	
			15	8	5	4	9	5	7	4	5	3
	gesamt	37	32	20	10	13	8	23	19	19	15	
		4	5	4	5	4	4	3	3	4	3	

Fortsetzung auf der nächsten Seite

Fortsetzung der Tabelle A.16

		a		ma		mp		p		gesamt	
		LH	RH	LH	RH	LH	RH	LH	RH	LH	RH
(am)	sSTG	2	3	0	2	4	5	6	13	1	2
		2	2	0	2	2	2	2	4	1	1
% SI C	iSTG	31	27	24	22	19	15	18	11	21	13
		4	4	2	3	3	3	4	3	2	3
	sMTG	42	39	29	29	21	22	19	20	23	20
		6	5	4	4	4	4	4	4	3	3
(an)	sSTG	5	1	0	0	0	1	4	13	0	0
		3	1	0	0	0	1	2	4	0	0
% SI T	iSTG	42	40	42	40	33	25	31	14	34	26
		6	6	4	4	4	4	5	4	3	4
	sMTG	51	59	56	50	56	40	35	28	44	35
		8	7	4	5	6	4	6	6	3	4
(ao)	sSTG	4	1	0	0	0	0	4	9	0	0
		3	1	0	0	0	0	3	4	0	0
% SI O	iSTG	45	36	45	42	37	29	35	18	39	30
		6	7	4	4	4	4	5	4	3	4
	sMTG	55	59	62	55	64	43	43	40	53	44
		8	8	4	5	8	4	4	6	3	4
(ap)	sSTG	5	4	25	21	25	25	34	38		
		3	2	4	4	4	3	4	4		
% AP C	iSTG	10	10	23	23	15	17	25	21		
		3	4	4	4	4	3	3	4		
	sMTG	19	17	24	20	13	16	20	21		
		5	5	4	4	3	4	4	5		
	gesamt	3	3	24	21	22	20	32	31		
		2	2	4	3	3	3	4	3		
(aq)	sSTG	23	17	18	9	9	11	27	37		
		5	5	3	3	3	3	5	4		
% AP T	iSTG	31	33	28	26	10	10	24	15		
		6	7	5	5	3	3	5	4		
	sMTG	34	47	40	30	35	16	19	19		
		10	8	6	6	9	4	8	6		
	gesamt	20	18	21	14	9	10	27	28		
		4	5	3	3	3	3	4	3		
(ar)	sSTG	24	18	15	8	8	12	29	37		
		5	4	3	3	3	2	5	5		
% AP O	iSTG	34	27	29	24	13	10	26	20		
		7	7	5	4	4	3	5	4		
	sMTG	37	48	39	30	44	14	20	31		
		9	10	6	6	13	5	6	7		
	gesamt	21	17	19	12	10	11	31	34		
		4	5	4	3	4	3	4	4		

A.4.2. Bedingungen

Tabelle A.17. Experiment 4 – Bedingungen.

		a		ma		mp		p		gesamt	
		LH	RH	LH	RH	LH	RH	LH	RH	LH	RH
(a) $C > T$	sSTG	+	+	+		+		+	+	+	+
	iSTG	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	sMTG	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	gesamt	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
(b) $C > O$	sSTG	+	+					+			
	iSTG	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	sMTG	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	gesamt	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
(c) $O > T$	sSTG			+	+	+	+	+		+	+
	iSTG		+		+						
	sMTG								-	-	-
	gesamt		+	+	+	+	+				
(d) $C_S > T_S$	sSTG										
	iSTG	+		+		+			+	+	
	sMTG			+	+	+			+	+	+
	gesamt	+			+			+	+		
(e) $C_S > O_S$	sSTG										
	iSTG										
	sMTG										
	gesamt		+								
(f) $O_S > T_S$	sSTG										
	iSTG										
	sMTG										
	gesamt										
(g) $C_N > T_N$	sSTG	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	iSTG	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	sMTG	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	gesamt	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
(h) $C_N > O_N$	sSTG	+	+	+	+	+		+		+	+
	iSTG	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	sMTG	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	gesamt	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
(i) $O_N > T_N$	sSTG		+	+	+	+	+			+	+
	iSTG		+								
	sMTG								-		
	gesamt		+	+	+						

Fortsetzung auf der nächsten Seite

Fortsetzung der Tabelle A.17

		a		ma		mp		p		gesamt	
		LH	RH	LH	RH	LH	RH	LH	RH	LH	RH
(j) $C_N > C_S$	sSTG			+	+	+	+	+		+	+
	iSTG			+		+		+		+	
	sMTG					+		+		+	
	gesamt			+	+	+	+	+		+	
(k) $C_{N_L} > C_S$	sSTG	+	+	+	+	+	+	+		+	+
	iSTG			+	+	+	+	+		+	+
	sMTG					+		+		+	
	gesamt		+	+	+	+	+	+		+	+
(l) $C_{N_S} > C_S$	sSTG			+	+	+	+	+			
	iSTG			+		+					
	sMTG		-					+			
	gesamt			+		+		+		+	
(m) $C_{N_L} > C_{N_S}$	sSTG	+	+						+		+
	iSTG		+		+		+	+	+		+
	sMTG		+		+		+		+		+
	gesamt	+	+		+		+		+		+
(n) $T_N > T_S$	sSTG			+	+	+		+		+	
	iSTG										
	sMTG		-								
	gesamt					+		+			
(o) $T_{N_L} > T_S$	sSTG			+	+	+	+	+		+	+
	iSTG					+				+	
	sMTG		-								
	gesamt			+		+	+	+		+	
(p) $T_{N_S} > T_S$	sSTG	-			+						
	iSTG										
	sMTG		-								
	gesamt	-									
(q) $T_{N_L} > T_{N_S}$	sSTG	+									
	iSTG							+			
	sMTG										
	gesamt	+								+	
(r) $O_N > O_S$	sSTG										
	iSTG										
	sMTG										
	gesamt										

Fortsetzung auf der nächsten Seite

A.4.3. Regionen

A.4.3.1. Superior – inferior

Tabelle A.18. Experiment 4 – Regionen superior-inferior.

		a		ma		mp		p		gesamt	
		LH	RH	LH	RH	LH	RH	LH	RH	LH	RH
(a) C	sSTG → iSTG	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	sSTG → sMTG	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	iSTG → sMTG	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(b) T	sSTG → iSTG	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	sSTG → sMTG	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	iSTG → sMTG	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(c) O	sSTG → iSTG	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	sSTG → sMTG	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	iSTG → sMTG	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(d) C _S	sSTG → iSTG	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	sSTG → sMTG	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	iSTG → sMTG	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(e) T _S	sSTG → iSTG	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	sSTG → sMTG	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	iSTG → sMTG	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(f) O _S	sSTG → iSTG	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	sSTG → sMTG	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	iSTG → sMTG	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(g) C _N	sSTG → iSTG	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	sSTG → sMTG	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	iSTG → sMTG	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(h) T _N	sSTG → iSTG	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	sSTG → sMTG	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	iSTG → sMTG	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(i) O _N	sSTG → iSTG	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	sSTG → sMTG	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	iSTG → sMTG	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Fortsetzung auf der nächsten Seite

Fortsetzung der Tabelle A.18

		a		ma		mp		p		gesamt	
		LH	RH	LH	RH	LH	RH	LH	RH	LH	RH
(j) C _{NL}	sSTG → iSTG	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	sSTG → sMTG	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	iSTG → sMTG			-	-						
(k) T _{NL}	sSTG → iSTG	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	sSTG → sMTG	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	iSTG → sMTG			-	-	-	-			-	-
(l) O _{NL}	sSTG → iSTG	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	sSTG → sMTG	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	iSTG → sMTG			-	-	-	-			-	-
(m) C _{NS}	sSTG → iSTG	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	sSTG → sMTG	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	iSTG → sMTG			-	-	-	-				
(n) T _{NS}	sSTG → iSTG	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	sSTG → sMTG	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	iSTG → sMTG			-	-	-	-			-	-
(o) O _{NS}	sSTG → iSTG	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	sSTG → sMTG	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	iSTG → sMTG			-	-	-	-			-	-
(p) C > T	sSTG → iSTG			+	+	+	+	+	+	+	+
	sSTG → sMTG			+	+	+	+	+	+	+	+
	iSTG → sMTG				+	+					
(q) C > O	sSTG → iSTG			+	+	+	+	+	+	+	+
	sSTG → sMTG			+	+	+	+	+	+	+	+
	iSTG → sMTG			+	+	+	+		+	+	+
(r) O > T	sSTG → iSTG			-	-	-	-		-	-	-
	sSTG → sMTG			-	-	-	-		(-)	-	-
	iSTG → sMTG			-		(-)		(-)	(-)	(-)	(-)
(s) C _S > T _S	sSTG → iSTG				+				+		
	sSTG → sMTG										
	iSTG → sMTG										
(t) C _S > O _S	sSTG → iSTG						+				+
	sSTG → sMTG										
	iSTG → sMTG		-								
(u) O _S > T _S	sSTG → iSTG										
	sSTG → sMTG										
	iSTG → sMTG										

Fortsetzung auf der nächsten Seite

Fortsetzung der Tabelle A.18

		a		ma		mp		p		gesamt	
		LH	RH	LH	RH	LH	RH	LH	RH	LH	RH
(v) $C_N > T_N$	sSTG → iSTG				+	+	+				+
	sSTG → sMTG	-		+	+	+	+			+	+
	iSTG → sMTG	-				+					
(w) $C_N > O_N$	sSTG → iSTG			+	+	+	+	+	+	+	+
	sSTG → sMTG	-		+	+	+	+	+	+	+	+
	iSTG → sMTG			+		+				+	
(x) $O_N > T_N$	sSTG → iSTG			-	-	-	-			-	-
	sSTG → sMTG			-	-	-	-	(-)	(-)	-	-
	iSTG → sMTG			(-)		(-)			(-)	(-)	(-)
(y) $C_N > C_S$	sSTG → iSTG			-	-	-	-			-	-
	sSTG → sMTG			-	-	-	-			-	-
	iSTG → sMTG			-							-
(z) $C_{N_L} > C_{N_S}$	sSTG → iSTG	-									
	sSTG → sMTG										
	iSTG → sMTG					+	+				
(aa) $T_N > T_S$	sSTG → iSTG			-	-	-	-	-	+	-	-
	sSTG → sMTG		(-)	-	-	-	-	-		-	-
	iSTG → sMTG						-			-	-
(ab) $T_{N_L} > T_{N_S}$	sSTG → iSTG	-		-							
	sSTG → sMTG										
	iSTG → sMTG										
(ac) $O_N > O_S$	sSTG → iSTG		-	-	-	-					-
	sSTG → sMTG			-	-	-	-			-	-
	iSTG → sMTG	(-)		-	-	-	-			-	
(ad) $O_{N_L} > O_{N_S}$	sSTG → iSTG										
	sSTG → sMTG		(-)	+							
	iSTG → sMTG			+						+	
(ae) SEL	sSTG → iSTG	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	sSTG → sMTG		+	+	+	+	+	+	+	+	+
	iSTG → sMTG		+	+	+	+	+		+	+	+

A.4.3.2. Anterior – posterior

Tabelle A.19. Experiment 4 – Regionen anterior-posterior.

		a ← ma		a ← mp		a ← p		ma ← mp		ma → p		mp → p	
		LH	RH	LH	RH	LH	RH	LH	RH	LH	RH	LH	RH
(a) C	sSTG	+	+	+	+	+	+			-	-	-	-
	iSTG	+	+			+						-	
	sMTG									-			
	gesamt	+	+	+	+	+	+			-	-	-	-
(b) T	sSTG						+			-	-	-	-
	iSTG				-		-	-	-			-	
	sMTG				-		-			+			
	gesamt							-			-	-	-
(c) O	sSTG						+			-	-	-	-
	iSTG							-	-			-	
	sMTG				-					+			-
	gesamt						+	-		-	-	-	-
(d) C _S	sSTG	+	+	+	+	+	+						
	iSTG	+	+			+					+		
	sMTG												
	gesamt	+	+	+	+	+	+			-			-
(e) T _S	sSTG	+		+		+	+						
	iSTG			+									
	sMTG												
	gesamt	+	+	+		+	+						-
(f) O _S	sSTG	+		+		+							
	iSTG			+									-
	sMTG												
	gesamt	+				+		-	-				-
(g) C _N	sSTG	+	+	+	+	+	+		+	-	-	-	-
	iSTG											-	-
	sMTG											-	-
	gesamt	+	+	+	+	+	+			-	-	-	-
(h) T _N	sSTG						+			-	-	-	-
	iSTG			-	-		-	-	-			-	-
	sMTG			-	-		-			+		-	-
	gesamt							-			-	-	-
(i) O _N	sSTG	-		-			+			-	-	-	-
	iSTG											-	-
	sMTG				-					+		-	-
	gesamt						+			-	-	-	-

Fortsetzung auf der nächsten Seite

Fortsetzung der Tabelle A.19

		a ← ma		a ← mp		a ← p		ma ← mp		ma → p		mp → p	
		LH	RH	LH	RH	LH	RH	LH	RH	LH	RH	LH	RH
(j) C _{NL}	sSTG	+	+	+	+	+	+		+	-	-	-	-
	iSTG		+				+	-				-	
	sMTG						+	-					-
	gesamt	+	+	+	+	+	+			-	-	-	-
(k) T _{NL}	sSTG						+			-	-	-	-
	iSTG			-	-		-	-	-				
	sMTG				-		-			+			
	gesamt							-		-	-	-	-
(l) O _{NL}	sSTG						+			-	-	-	-
	iSTG							-	-			-	-
	sMTG				-				-			-	-
	gesamt						+	-	-	-	-	-	-
(m) C _{NS}	sSTG				+	+	+		+	-	-	-	-
	iSTG									-	-	-	-
	sMTG									-	-	-	-
	gesamt			+		+	+			-	-	-	-
(n) T _{NS}	sSTG	-		-			+	-		-	-	-	-
	iSTG		-	-	-			-	-		+	-	-
	sMTG		-	-	-					+		-	-
	gesamt		-	-	-			-		-	-	-	-
(o) O _{NS}	sSTG	-	-	-			+			-	-	-	-
	iSTG							-	-			-	-
	sMTG									+		-	-
	gesamt	-		-						-	-	-	-
(p) C > T	sSTG	+	+	+	+	+	+	+	+			+	+
	iSTG	+	+	+	+	+	+		+	-	-		
	sMTG	+	+	+	+	+	+			-	-	-	
	gesamt	+	+	+	+	+	+	+		-	-	-	
(q) C > O	sSTG	+	+	+	+	+	+	+				+	+
	iSTG	+	+	+	+	+	+						
	sMTG	+	+	+	+	+	+						
	gesamt	+	+	+	+	+	+	+			+		+
(r) O > T	sSTG		-						+	-	-		
	iSTG				+		+				-		
	sMTG										(-)		(-)
	gesamt						+		+	-	-	-	-

Fortsetzung auf der nächsten Seite

Fortsetzung der Tabelle A.19

		a ← ma		a ← mp		a ← p		ma ← mp		ma → p		mp → p	
		LH	RH	LH	RH	LH	RH	LH	RH	LH	RH	LH	RH
(s) $C_S > T_S$	sSTG iSTG sMTG gesamt		+										
(t) $C_S > O_S$	sSTG iSTG sMTG gesamt				+								
(u) $O_S > T_S$	sSTG iSTG sMTG gesamt												(+)
(v) $C_N > T_N$	sSTG iSTG sMTG gesamt	+	+	+	+	+	+	+	+	-			+
(w) $C_N > O_N$	sSTG iSTG sMTG gesamt	+	+	+	+	+	+	+	+				+
(x) $O_N > T_N$	sSTG iSTG sMTG gesamt		-		+		+		+	-	-		(-)
							+		+	-	-		(-)
									+	-	-		(-)
													-

Fortsetzung auf der nächsten Seite

Fortsetzung der Tabelle A.19

		a ← ma		a ← mp		a ← p		ma ← mp		ma → p		mp → p	
		LH	RH	LH	RH	LH	RH	LH	RH	LH	RH	LH	RH
(y) $C_N > C_S$	sSTG	-	-	-					+		-		-
	iSTG			-						-	-		-
	sMTG												
	gesamt	-	-	-					+		-		-
(z) $C_{N_L} > C_{N_S}$	sSTG		+	+	+	+	+						
	iSTG		+		+		+			+			
	sMTG					+		-					
	gesamt		+		+		+						
(aa) $T_N > T_S$	sSTG	-	-	-	-	-					-		-
	iSTG	-	(-)	-	(-)		(-)						
	sMTG		(-)				(-)						
	gesamt	-	-	-	-	-					-		-
(ab) $T_{N_L} > T_{N_S}$	sSTG					+		+		-			
	iSTG												
	sMTG												
	gesamt												
(ac) $O_N > O_S$	sSTG	-	-	-	+	-			+		-		-
	iSTG		-		-								
	sMTG		(-)				(-)					+	
	gesamt			-		-			+		-		-
(ad) $O_{N_L} > O_{N_S}$	sSTG		+	+	+								
	iSTG												
	sMTG				(-)				(-)				
	gesamt		+						(-)		(-)		
(ae) SEL	sSTG	+	+	+	+	+	+	+			+	+	+
	iSTG	+	+	+	+	+	+	+					
	sMTG		+		+		+			-			
	gesamt	+	+	+	+	+	+	+			+	+	+

A.4.4. Hemisphären

Tabelle A.20. Experiment 4 – Hemisphären.

		a	ma	mp	p	gesamt
(a) Voxel	sSTG		R			
	iSTG	R	R	R		R
	sMTG		R	R		R
	gesamt		R	R		R
(b) C	sSTG				L	
	iSTG					
	sMTG					
	gesamt					
(c) T	sSTG	R	R			
	iSTG		R	R	R	R
	sMTG		R	R		R
	gesamt		R			
(d) O	sSTG	R	R			
	iSTG		R	R		R
	sMTG		R	R		R
	gesamt		R			R
(e) C _S	sSTG					
	iSTG				R	R
	sMTG				R	R
	gesamt				R	R
(f) T _S	sSTG					
	iSTG			R		R
	sMTG			R		R
	gesamt					
(g) O _S	sSTG					
	iSTG	R	R		R	
	sMTG			R		R
	gesamt					R
(h) C _N	sSTG				L	
	iSTG					
	sMTG					
	gesamt				L	
(i) T _N	sSTG	R	R			
	iSTG		R	R		R
	sMTG		R	R		R
	gesamt		R			

Fortsetzung auf der nächsten Seite

Fortsetzung der Tabelle A.20

		a	ma	mp	p	gesamt
(j) O_{N_i}	sSTG	R	R			
	iSTG		R	R		R
	sMTG		R	R		R
	gesamt	R	R			
(k) C_{N_L}	sSTG					
	iSTG		R			R
	sMTG		R			
	gesamt					
(l) T_{N_L}	sSTG		R			
	iSTG					
	sMTG			R		
	gesamt					
(m) O_{N_L}	sSTG	R	R			
	iSTG		R	R		R
	sMTG			R		
	gesamt		R			
(n) C_{N_S}	sSTG				L	L
	iSTG					
	sMTG				L	L
	gesamt			L	L	L
(o) T_{N_S}	sSTG	R	R			
	iSTG		R	R	R	R
	sMTG		R	R		R
	gesamt	R	R			R
(p) O_{N_S}	sSTG	R	R			
	iSTG		R			R
	sMTG		R	R		R
	gesamt	R	R			R
(q) $C > T$	sSTG	L	L	L		L
	iSTG			L		
	sMTG			L		L
	gesamt	L	L	L		L
(r) $C > O$	sSTG	L	L	(L)		L
	iSTG		L			
	sMTG		L	L		L
	gesamt	L	L			L

Fortsetzung auf der nächsten Seite

Fortsetzung der Tabelle A.20

		a	ma	mp	p	gesamt
(s) $O > T$	sSTG iSTG sMTG gesamt				(L)	
(t) $C_S > T_S$	sSTG iSTG sMTG gesamt	L			R	
(u) $C_S > O_S$	sSTG iSTG sMTG gesamt	L				
(v) $O_S > T_S$	sSTG iSTG sMTG gesamt					
(w) $C_N > T_N$	sSTG iSTG sMTG gesamt	L	L L	L	L L L	L L L
(x) $C_N > O_N$	sSTG iSTG sMTG gesamt	L	L L	L		L L L
(y) $O_N > T_N$	sSTG iSTG sMTG gesamt	R			(L) (L)	
(z) $C_N > C_S$	sSTG iSTG sMTG gesamt				L L L L	L L L
(aa) $C_{N_L} > C_{N_S}$	sSTG iSTG sMTG gesamt	R	R R R	R R		R R R

Fortsetzung auf der nächsten Seite

Fortsetzung der Tabelle A.20

		a	ma	mp	p	gesamt
(ab) $T_N > T_S$	sSTG iSTG sMTG gesamt	R			L	
(ac) $T_{N_L} > T_{N_S}$	sSTG iSTG sMTG gesamt	L		L	L	L
(ad) $O_N > O_S$	sSTG iSTG sMTG gesamt	R L R			L	L
(ae) $O_{N_L} > O_{N_S}$	sSTG iSTG sMTG gesamt		L			
(af) SEL	sSTG iSTG sMTG gesamt	L	L L L L	L L L L	L	L L L L

Spektrum Patholinguistik

herausgegeben vom Verband für Patholinguistik (vpl) e. V.

Zuletzt erschienene Ausgaben:

- Band 5** Schwerpunktthema: Schluck für Schluck: Dysphagietherapie bei Kindern und Erwachsenen | 2012
ISBN 978-3-86956-199-8
URN urn:nbn:de:kobv:517-opus-59877
- Band 4** Schwerpunktthema: Lesen lernen: Diagnostik und Therapie bei Störungen des Leseerwerbs | 2011
ISBN 978-3-86956-145-5
URN urn:nbn:de:kobv:517-opus-53146
- Band 3** Schwerpunktthema: Von der Programmierung zur Artikulation: Sprechapraxie bei Kindern und Erwachsenen | 2010
ISBN 978-3-86956-079-3
URN urn:nbn:de:kobv:517-opus-46134
- Band 2** Schwerpunktthema: Ein Kopf - Zwei Sprachen: Mehrsprachigkeit in Forschung und Therapie | 2009
ISBN 978-3-940793-89-8
URN urn:nbn:de:kobv:517-opus-30451
- Band 1** Schwerpunktthema: Der Erwerb von Lexikon und Semantik: Meilensteine, Störungen und Therapie | 2008
URN urn:nbn:de:kobv:517-opus-18688

Spektrum Patholinguistik - Schriften

herausgegeben vom Verband für Patholinguistik (vpl) e. V.

Zuletzt erschienene Ausgaben:

- Band 5** Anja Bethmann: Die supramodale Verarbeitung individueller Konzepte am Beispiel menschlicher Stimmen und visuell präsentierte Comicfiguren : eine fMRT-Studie der Temporallappen | 2012
ISBN 978-3-86956-206-3
URN urn:nbn:de:kobv:517-opus-59856
- Band 4** Susan Ott: Feld - fällt - fehlt : Untersuchungen zur Phonologie-Morphosyntax-Schnittstelle bei Kindern und Erwachsenen | 2012
ISBN 978-3-86956-161-5
URN urn:nbn:de:kobv:517-opus-57798
- Band 3** Birgit Herold: Prosodische Verarbeitung und lexikalische Entwicklung sehr untergewichtiger Frühgeborener während des ersten Lebensjahres | 2011
ISBN 978-3-86956-107-3
URN urn:nbn:de:kobv:517-opus-48517
- Band 2** Helena Trompelt: Production of regular and non-regular verbs: Evidence for a lexical entry complexity account | 2010
ISBN 978-3-86956-061-8
URN urn:nbn:de:kobv:517-opus-42120
- Band 1** Christiane Wotschack: Eye Movements in Reading Strategies: How Reading Strategies Modulate Effects of Distributed Processing and Oculomotor Control | 2009
ISBN 978-3-86956-021-2
URN urn:nbn:de:kobv:517-opus-36846

Die vorderste Spitze der Temporallappen, der anteriore Temporalkortex, wird mit Funktionen der Objekterkennung assoziiert. Mittels funktionseller MRT wurde untersucht, welcher Art die Objekte sind, die in dieser Region präferiert verarbeitet werden. Es gibt Annahmen über die Verarbeitung von Sprache, menschlichen Stimmen, semantischen Informationen oder individuellen Konzepten. In den Untersuchungen riefen gesprochene Sprache / menschliche Stimmen eine deutliche Aktivität in den anterioren Temporallappen hervor. Aktivität war aber auch dann zu beobachten, wenn Abbildungen von Comicfiguren präsentiert wurden. Zudem bestanden deutliche Aktivierungsunterschiede in Abhängigkeit von der semantischen Kategorie. Individuelle Konzepte (Stimmen und Comicfiguren) erzeugten signifikant stärkere Aktivität als kategoriale Konzepte (Tiere, Musikinstrumente, Obst- und Gemüse). Außerdem war das Signal, dass durch die Stimmen der bekannten Personen ausgelöst wurde, deutlich stärker als das Signal der unbekannt Stimmen. Damit sind die Daten am ehesten kompatibel mit der Annahme, dass die anterioren Temporalkortizes multimodal Informationen über bekannte individuelle Konzepte repräsentieren.

