

Die neuronale Verarbeitung von Nomen und Verben

Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades der Philosophie

Eingereicht bei der
Humanwissenschaftlichen Fakultät der
Universität Potsdam

vorgelegt von

Jenny Postler

2006

Erstgutachterin:

Prof. Dr. Ria De Bleser

Zweitgutachter:

Prof. Dr. Claudio Luzzatti

Vorsitzender des Promotionsausschusses:

Prof. Dr. Gisbert Fanselow

Danksagung

Diese Dissertationsschrift ist entstanden unter der Beteiligung vieler Personen, die meine wissenschaftliche Arbeit zum Teil über Jahre unterstützt haben. Bei all diesen Personen möchte ich mich herzlich bedanken! An erster Stelle gilt mein Dank Frau Prof. Ria De Bleser. Sie hat von Beginn an das Interesse für die Neurolinguistik und Neurowissenschaft in mir geweckt, mich über Jahre hinweg gefördert, gefordert und meine wissenschaftliche Arbeit betreut und begleitet. Ich danke weiterhin Herrn Prof. Claudio Luzzatti für die Zweitbegutachtung meiner Dissertation sowie den Mitgliedern der Prüfungskommission. Bedanken möchte ich mich auch bei der Studienstiftung des Deutschen Volkes, die das vorliegende Projekt über einen Zeitraum von drei Jahren finanziell unterstützt und damit möglich gemacht hat.

Darüber hinaus haben viele Kollegen durch zahlreiche anregende Diskussionen oder praktische Hilfestellungen zum Gelingen meines Dissertationsprojektes beigetragen. In diesem Zusammenhang danke ich vor allem Frau Prof. Christina Kauschke für die intensive Zusammenarbeit in vielen Abschnitten der Dissertation. Für weitere Unterstützung in Bezug auf unterschiedliche Aspekte der Arbeit danke ich Astrid Schröder, Bente von der Heide, Marita Böhning, Frank Burchert, Dr. Antje Lorenz, Julia Siegmüller, Henrik Bartels, Peter beim Graben, Stefanie Heinemann, Matthias Deschner, Prof. Jörg Mayer und Siegfried Wrobel.

Die funktionell-bildgebende Studie wäre ohne die Forschungsgruppe NeuroImage Nord am Universitätsklinikum Hamburg-Eppendorf nicht möglich gewesen. Ich möchte mich bei Herrn Prof. Cornelius Weiller bedanken, der meine (neuro-)wissenschaftliche Arbeit von der Diplomphase an bis zur Dissertation gefördert hat und bei Prof. Christian Büchel für die methodische Beratung bei der Entwicklung und Auswertung der funktionell-bildgebenden Daten. Weiterhin gilt mein Dank Dr. Annette Baumgärtner für die Beratung und Hilfe in konkreten Fragen der methodischen Planung, Umsetzung und Auswertung der fMRT Studie und Dr. Simone Reinders für die Unterstützung bei der Programmierung der Bildbearbeitungs- und Datenauswertungsroutinen. Für Diskussionen zu inhaltlichen und methodischen Fragen des fMRT Projektes möchte ich ferner Dr. Dorothee Saur, Dr. Christina Musso, Dr. Martin Koch und Dr. Jürgen Finsterbusch danken sowie Dr. Farsin Hamzei und Dr. Miriam Sach für die medizinische Betreuung der Experimentteilnehmer. Volkmar Glauche, Rene Knab und Matthias Pietsch sei gedankt für die Hilfe in Sachen Informatik. Natürlich wäre dieses Projekt ohne freiwillige Teilnehmer nicht durchführbar gewesen. Daher bedanke ich mich herzlich bei allen insgesamt 295 Teilnehmern, die an den unterschiedlichen Erhebungen und Studien im Rahmen dieser Dissertation mitgewirkt haben.

Abschließend möchte ich mich herzlich bei meiner Familie und meinen Freunden bedanken, vor allem aber bei meinem Mann, Dr. Egbert von Frankenberg, der mir über den gesamten Zeitraum der Dissertation liebevoll, geduldig und verständnisvoll zur Seite gestanden hat.

Inhaltsverzeichnis

EINLEITUNG	12
1 METHODEN DER HIRNFORSCHUNG IN DER MODERNEN NEUROLINGUISTIK	15
1.1 Elektrophysiologische Methoden	15
1.1.1 Elektroenzephalographie und Ereigniskorrelierte Potentiale (EEG/ERP)	15
1.1.2 Magnetenzephalographie (MEG)	16
1.2 Elektromagnetische Stimulationsmethoden	16
1.2.1 Elektrokorticale Stimulation	16
1.2.2 Transkranielle magnetische Stimulation (TMS)	17
1.3 Strukturell-bildgebende Verfahren	18
1.3.1 Craniale Computertomographie (CCT)	19
1.3.2 Magnetresonanztomographie (MRT)	20
1.4 Funktionell bildgebende Verfahren	23
1.4.1 Positronen-Emissions-Tomographie (PET)	24
1.4.2 Funktionelle Magnetresonanztomographie (fMRT)	24
1.4.2.1 Physiologische Grundlagen der fMRT	25
1.4.2.2 Experimentelle Designs	27
1.4.2.3 Experimentelle Paradigmen	28
1.4.2.4 Methoden der Datenakquisition	31
1.4.2.5 Methoden der Datenverarbeitung	31
1.4.2.5.1 Vorverarbeitung	31
1.4.2.5.2 Statistische Analyse	32
1.5 Zusammenfassung	33
2 KOGNITIVE UND NEUROANATOMISCHE MODELLVORSTELLUNGEN ZUM BILDBENENNEN	35
2.1 Kognitive Modelle	35
2.1.1 Das Logogenmodell	36
2.1.2 Das Sprachverarbeitungsmodell von Levelt (1999)	38
2.1.3 „Independent Network Model (IN)“ nach Caramazza (1997)	39
2.2 Neuroanatomische Modelle des Benennens	41
2.2.1 Modelle des 19. und 20. Jahrhunderts	41
2.2.2 Modelle des 21. Jahrhunderts	43
2.3 Zusammenfassung des zweiten Kapitels	44
3 ASPEKTE DER NOMEN- UND VERBDISSOZIATION	46
3.1 Linguistische Aspekte zur Unterscheidung von Nomen und Verben	46
3.1.1 Semantisch-konzeptuelle und pragmatische Faktoren	47
3.1.2 Syntaktische Faktoren	48
3.1.3 Morphologische Faktoren	48
3.1.4 Zusammenfassung	49
3.2 Psycholinguistische Aspekte der Nomen/Verb Verarbeitung	49
3.2.1 Spracherwerb und gesundes Altern	49
3.2.2 Reaktionszeitstudien zum Bildbenennen bei Sprachgesunden	52

3.2.3	Zusammenfassung der psycholinguistischen Befunde	55
3.3	Neurolinguistische Aspekte der Nomen/Verb Distinktion	55
3.3.1	Allgemeine Charakteristika selektiver Nomen/Verb Störungen	56
3.3.2	Störungsprofile	58
3.3.3	Funktionelle Lokalisation und Kompatibilität mit Sprachverarbeitungsmodellen	60
3.3.4	Evidenzen aus der Hirnforschung	65
3.3.4.1	Läsion-Defizit Studien	65
3.3.4.2	Elektrokortikale Stimulation	69
3.3.4.3	Ereigniskorrelierte Potentiale (ERP)	69
3.3.4.4	Repetitive transkraniale Stimulation (rTMS)	74
3.3.4.5	Funktionelle Bildgebung (fMRT, PET)	75
3.3.4.6	Magnetenzephalographie (MEG)	85
3.3.5	Subkategorieeffekte bei Nomen	86
3.3.6	Subkategorieeffekte bei Verben	91
3.3.7	Zusammenfassung der neurolinguistischen Befunde	93
3.4	Zusammenfassung des dritten Kapitels	93
4	DER EINFLUSS DES ERWERBSALTERS AUF DAS BENENNEN VON OBJEKT- UND HANDLUNGSBILDERN	95
4.1	Einflussfaktoren auf das Bildbenennen	95
4.1.1	Differentieller Einfluss von Stimulusparametern auf die Nomen/Verb Verarbeitung	97
4.2	Erwerbsalter: Definition und Erhebungsmethoden	99
4.3	Effekte des Erwerbsalters auf die lexikalische Verarbeitung	102
4.4	Erklärungsansätze für Effekte des Erwerbsalters	103
4.5	Zusammenfassung des vierten Kapitels	104
5	FORSCHUNGSFRAGEN	106
5.1	Werden Objektbilder konsistent schneller benannt als Handlungsbilder?	106
5.2	Welche Faktoren beeinflussen die Benennlatenz für die grammatischen Kategorien Nomen/Verb und welche Rolle spielt dabei das Erwerbsalter?	107
5.3	Wie verhalten sich die unterschiedlichen Datenerhebungen zum Erwerbsalter bei Verben zueinander?	108
5.4	Welche neuroanatomische Korrelate zeigen sich für das Nomen/Verb Benennen?	108
5.5	Moduliert Erwerbsalter die neuronale Aktivierung für das Bildbenennen?	109
6	VORSTUDIEN ZUR STIMULUSSELEKTION	111
6.1	Einleitung	111
6.2	Lexikalische Frequenz	113
6.3	Wortlänge	114
6.4	Vorstudien	114
6.4.1	Methodische Vorüberlegungen	114
6.4.2	Vorstudie 1: Geschätztes Erwerbsalters	116
6.4.3	Vorstudie 2: Vorstellbarkeit	122

6.4.4	Vorstudie 3: Visuelle Komplexität	123
6.4.5	Vorstudie 4: Benennübereinstimmung	124
6.5	Das finale Stimulusset	125
6.5.1	Zusammenhänge zwischen Stimulusparametern	127
6.6	Zusammenfassung des sechsten Kapitels	128
7	STUDIE 1: BENENNLATENZ	130
7.1	Ziel der Studie	130
7.2	Hypothesen	130
7.3	Probanden	132
7.4	Material	132
7.5	Versuchsaufbau und Durchführung	132
7.6	Ausreißerklassifikation und Datenbereinigung	134
7.7	Ergebnisse	134
7.7.1	Benennlatenzen	134
7.7.2	Kovarianzanalysen über Items	137
7.7.3	Zusammenhangsanalysen	137
7.8	Diskussion	139
7.8.1	Effekte der Wortklasse und Subkategorie	139
7.8.2	Effekte der Einflussfaktoren	143
7.8.3	Schlussfolgerungen	145
8	STUDIE 2: EVENT-RELATED FMRT STUDIE	146
8.1	Ziel der Studie	146
8.2	Hypothesen	146
8.3	Probanden	148
8.4	Material	149
8.5	Experimentelles Paradigma und Instruktion	150
8.6	Akquisition der bildgebenden Daten	152
8.7	Versuchsordnung und Durchführung	152
8.8	Anatomische Regionen von Interesse	153
8.9	Ergebnisse	154
8.9.1	Benennungsgenauigkeit	154
8.9.2	Bereinigung der Verhaltensdaten	156
8.9.3	Reaktionszeiten	156
8.9.3.1	Reliabilität der RT Daten	160
8.9.3.2	Kovarianzanalysen über Items	160
8.9.3.3	Zusammenhangsanalysen	161
8.9.4	Aufbereitung und statistisch Analyse der fMRT Daten	162

8.9.4.1	Haupteffekte	165
8.9.4.2	Effekte der Wortart und Subkategorie	168
8.9.4.3	Effekte der Wortart bei Berücksichtigung nicht-gemachter Parameter	173
8.9.4.4	Effekte des Erwerbsalters	176
8.10	Diskussion	178
8.10.1	Verhaltensdaten	178
8.10.2	Bildgebende Daten	181
8.10.2.1	Frontaler Kortex	181
8.10.2.2	Temporaler Kortex	185
8.10.2.3	Parietaler Kortex	188
8.10.3	Effekte der grammatischen Kategorie	190
8.10.4	Effekte des Erwerbsalters	193
8.10.5	Zusammenfassung und Schlussfolgerungen	195
9	ALLGEMEINE DISKUSSION	197
9.1	Erklärbarkeit aphasischer Leistungsmuster	197
9.2	Übereinstimmung mit neurofunktionellen und kognitiven Modellen des Bildbenennens	201
9.3	Schlussfolgerungen und Ausblick	203
	LITERATURVERZEICHNIS	206
	ANHANG	225

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Kortikale Aktivierungen für sprachliche Funktionen nach Price (2000)	45
Tabelle 2: Überblick über die Erhebungen zur Stimuluscharakterisierung	113
Tabelle 3: Geschätztes Erwerbssalter für potentielle Stimuli, deskriptive Statistik	118
Tabelle 4: Erhebungen zum Erwerbssalter bei Nomen, deskriptive Statistik	118
Tabelle 5: Erwerbssaltererhebungen bei Nomen, Mittelwertvergleich und Korrelationen	118
Tabelle 6: Erhebungen zum Erwerbssalter bei Verben, deskriptive Statistik	119
Tabelle 7: Erwerbssaltererhebungen bei Verben, Mittelwertvergleich und Korrelationen	119
Tabelle 8: Erhebungen zum Erwerbssalter bei Nomen und Verben, Mittelwertvergleiche	120
Tabelle 9: Erhebung der Vorstellbarkeit für potentielle Stimuli, deskriptive Statistik	123
Tabelle 10: Erhebung der visuellen Komplexität für potentielle Stimuli, deskriptive Statistik	124
Tabelle 11: Erhebung der Benennübereinstimmung für potentielle Stimuli, deskriptive Statistik	125
Tabelle 12: Stimulusmatching für grammatische Kategorien, Mittelwertvergleich	125
Tabelle 13: Stimulusmatching für Subkategorien, Mittelwerte	125
Tabelle 14: Mittelwertvergleich der gematchten Parameter in Subkategorien	126
Tabelle 15: Ungematchte Parameter für grammatische Kategorien, Mittelwertvergleich	126
Tabelle 16: Ungematchten Parameter für Subkategorien, Mittelwerte	126
Tabelle 17: Ungematchten Parameter bei Subkategorien, Mittelwertvergleich	127
Tabelle 18: Korrelation der Stimuluscharakteristika bei Nomen (Spearman R)	128
Tabelle 19: Korrelation der Stimuluscharakteristika bei Verben (Spearman R)	128
Tabelle 20: Teilnehmer an der Studie zur Benennlatenz	133
Tabelle 21: Mittlere Benennlatenzen über Probanden	135
Tabelle 22: Scheffé Test über Subkategorien	135
Tabelle 23: Mittlere Benennlatenzen über Items	136
Tabelle 24: Korrelation zwischen Stimuluscharakteristika und Benennlatenz (Spearman R)	138
Tabelle 25: Regressionsanalyse über Nomen	138
Tabelle 26: Regressionsanalyse über Verben	139
Tabelle 27: Teilnehmer an der fMRT Studie	149
Tabelle 28: "Regions of Interest (ROI's)" für den Effekt des Erwerbssalters	154
Tabelle 29: Benenngenauigkeit über die Probanden ohne AW, deskriptive Statistik	154
Tabelle 30: Benenngenauigkeit bei der fMRT Untersuchung	155
Tabelle 31: Reaktionszeit in ms über Probanden, deskriptive Statistik	157
Tabelle 32: Reaktionszeit zwischen Kategorien über Probanden, Scheffé-Test	157
Tabelle 33: Reaktionszeit zwischen Subkategorien über Probanden, Scheffé-Test	158
Tabelle 34: Reaktionszeit über die Items, deskriptive Statistik	158
Tabelle 35: Reaktionszeit zwischen Bedingungen über Items, Scheffé Test	159
Tabelle 36: Reaktionszeit zwischen Subkategorien über Items, Scheffé-Test	159
Tabelle 37: Reaktionszeiten der Studien 1 und 2, Mittelwertvergleich	160
Tabelle 38: Spearmans Rangkorrelation zwischen Stimulusparametern und Reaktionszeit	161
Tabelle 39: Regressionsanalyse über Nomen ($R^2 = 0,561$, $F(4,27) = 8,64$, $p < 0,001$)	162
Tabelle 40: Regressionsanalyse über Verben ($R^2 = 0,507$, $F(4,27) = 6,93$, $p < 0,001$)	162
Tabelle 41: Experimentelle Bedingungen versus Kontrollbedingungen	169
Tabelle 42: Kontrollbedingungen versus experimentelle Bedingungen	169
Tabelle 43: Nomen versus gescrambelte Nomen	169
Tabelle 44: Verben versus gescrambelte Verben	170
Tabelle 45: Verben versus Nomen	173
Tabelle 46: Verben versus Nomen bei von Vorstellbarkeit und Phonemanzahl	175
Tabelle 47: Effekte für spätes Erwerbssalter	176
Tabelle 48: Effekte für frühes Erwerbssalter	177

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Erwerbsalter für Nomen und Verben über drei verschiedene Datenerhebungen	119
Abbildung 2: Benennlatenz über Items	137
Abbildung 3: Zeitlicher Verlauf des Experiments	151
Abbildung 4: Studiendesign	152
Abbildung 5: Benennungsgenauigkeit über Probanden in % korrekt	155
Abbildung 6: Reaktionszeit über Items	159
Abbildung 7: Haupteffekt Nomen	166
Abbildung 8: Haupteffekt Verben	166
Abbildung 9: Haupteffekt gescrambelte Nomen	167
Abbildung 10: Haupteffekt gescrambelte Verben	167
Abbildung 11: Experimentelle Bedingungen versus Kontrollbedingungen und vice versa	170
Abbildung 12: Nomen versus gescrambelte Nomen	171
Abbildung 13: Verben versus gescrambelte Verben	172
Abbildung 14: Verben versus Nomen	174
Abbildung 15: Verben versus Nomen bei Kontrolle von Vorstellbarkeit und Phonemanzahl	175
Abbildung 16: Effekte für spätes Erwerbsalter	176
Abbildung 17: Effekte für frühes Erwerbsalter	177

Abkürzungsverzeichnis

BA	Brodmann Areal
BTLA	basal temporales Sprachareal
CCT	craniale Computertomographie
CT	Computertomographie
fMRT	funktionelle Magnetresonanztomographie
G.	Gyrus
GA	Gyrus angularis
GF	Gyrus fusiformis
GSM	Gyrus Supramarginalis
L	links
L.	Lobus
LIPC	linker inferiorer präfrontaler Kortex
LPMT	linker posteriorer mittlerer Temporallappen
Max.	Maximum
MEG	Magnetenzephalographie
Min.	Minimum
ms	Millisekunden
MT	medial temporal
MW	Mittelwert
n / N	Anzahl der Teilnehmer bzw. Items
p	Alpha Niveau
PET	Positronen-Emissions-Tomographie
R	rechts
rTMS	repetitive transkranielle Magnetstimulation
S.	Sulcus
SMA	supplementär motorisches Areal
SPM	Statistical Parametric Mapping
Stdabw.	Standardabweichung
TE	“time echo delay”
TMS	transkranielle Magnetstimulation
TR	Repetitionszeit

Anhangverzeichnis

Anlage 1: Einschätzung des Erwerbsalters – Instruktion	226
Anlage 2: Einschätzung der Vorstellbarkeit – Instruktion	227
Anlage 3: Einschätzung der visuellen Komplexität	228
Anlage 4: Mittelwerte geschätztes Erwerbsalter, potentielles Stimulusset: Nomen	229
Anlage 5: Mittelwerte geschätztes Erwerbsalter, potentielles Stimulusset: Verben	230
Anlage 6: Mittelwerte Vorstellbarkeit, potentielles Stimulusset: Nomen	231
Anlage 7: Mittelwerte Vorstellbarkeit, potentielles Stimulusset: Verben	232
Anlage 8: Mittelwerte visuelle Komplexität, potentielles Stimulusset: Nomen	233
Anlage 9: Mittelwerte visuelle Komplexität, potentielles Stimulusset: Verben	234
Anlage 10: Mittelwerte Benennübereinstimmung, potentielles Stimulusset: Nomen	235
Anlage 11: Mittelwerte Benennübereinstimmung, potentielles Stimulusset: Verben	236
Anlage 12: Mittelwerte aller Stimulusparameter, potentielles Stimulusset: Nomen	237
Anlage 13: Mittelwerte aller Stimulusparameter, potentielles Stimulusset: Verben	239
Anlage 14: Mittelwerte Stimulusparameter, finales Stimulusset: Nomen	240
Anlage 15: Mittelwerte Stimulusparameter, finales Stimulusset: Verben	241
Anlage 16: Abbildungen Nomen	242
Anlage 17: Abbildungen Verben	244
Anlage 18: Instruktion Reaktionszeitexperiment (Studie 1)	246
Anlage 19: Mittelwerte Benennlatenz (Studie 1), potentielles Stimulusset: Nomen	247
Anlage 20: Mittelwerte Benennlatenz (Studie 1), potentielles Stimulusset: Verben	248
Anlage 21: Fragebogen für die Teilnehmer der fMRT Untersuchung (Studie 2):	249
Anlage 22: Instruktion für das fMRT Experiment (Studie 2):	253
Anlage 23: Mittlere Reaktionszeiten (Studie 2), finales Stimulusset: Nomen	255
Anlage 24: Mittlere Reaktionszeiten (Studie 2), finales Stimulusset: Verben	256
Anlage 25: fMRT Haupteffekt Nomen	257
Anlage 26: fMRT Haupteffekt Verben	257
Anlage 27: Haupteffekt gescrambelte Nomen	258
Anlage 28: Haupteffekt gescrambelte Verben	258

Einleitung

“The human Brain is still the organ we understand least well, and the processes by which its highest function – cognition – operates remains mysterious.”

Shallice (1988a)

Wie arbeitet unser Gehirn? Was sind die Grundlagen der Kognition? Wie funktioniert unser Sprachsystem? Das ist nur ein kleiner Teil der Probleme, mit denen sich Kognitionsforscher und Neurowissenschaftler auf der ganzen Welt auseinandersetzen. Die Frage nach den neurofunktionellen Grundlagen der Sprachverarbeitung hat dabei zunehmend an Bedeutung gewonnen. Obwohl jedes gesunde Kind problemlos und auch unter schwierigen Bedingungen Sprache erwerben und verwenden kann, sind die zugrunde liegenden kognitiven und neurofunktionellen Mechanismen hierfür noch weitgehend ungeklärt. Immer häufiger werden neurolinguistische Fragestellungen mit funktionell-bildgebenden und anderen modernen Verfahren der Hirnforschung untersucht. Ein wesentliches Ziel dieser Forschungsbemühungen ist es, herauszufinden, wie Bedeutungen und Wörter in unserem Gehirn gespeichert sind. So bemerkt Hillis:

„The topic of the types of representation that comprise our knowledge of words, and how these representation are accessed and interact, has been the most investigated topic in all of cognitive neuropsychology.“ (Hillis 2000: 185)

Das Interesse an der kognitiven Repräsentation von Wörtern wurde vorangetrieben durch die Beobachtung von Leistungsdissoziationen zwischen spezifischen semantischen oder grammatischen Kategorien im Rahmen neurogener Sprachstörungen. Die Wissenschaft erhoffte sich durch die Analyse dieser Muster Informationen über die Architektur des mentalen Lexikons und seine zugrunde liegende neurofunktionelle Organisation zu erhalten. Als besonders bedeutsam erwiesen sich dabei Leistungsdissoziationen der lexikalischen Kategorien Nomen und Verb. Sowohl die kognitive als auch die neurofunktionelle Verarbeitung von Nomen und Verben wurde in den letzten Jahren und Jahrzehnten intensiv untersucht. Obwohl eine große Anzahl an Befunden und Ergebnissen zu den unterschiedlichsten Aspekten dieser Problematik vorhanden ist, sind bis heute viele Fragen zur neurofunktionellen und kognitiven Organisation des mentalen Lexikons offen geblieben. Bis heute besteht eine kontroverse Debatte darüber, wie die beobachteten Befunde mit den bestehenden neurofunktionellen und kognitiven Modellen der lexikalischen Verarbeitung in Einklang zu bringen sind.

Mit der vorliegenden Arbeit soll ein Beitrag zu dieser Diskussion geleistet werden, wobei Aspekte beleuchtet werden sollen, die in der neurolinguistischen Forschung bislang noch unberücksichtigt geblieben sind. Mit Hilfe von Methoden der experimentellen Neurolinguistik und Neurowissenschaft soll diese Arbeit Mechanismen der Wortverarbeitung aufdecken und somit zu einem besseren Verständnis der Arbeitsweise des Gehirns beitragen. Im Mittelpunkt dieses Dissertationsprojektes steht die Frage, welche neurofunktionellen Korrelate dem Abruf von Nomen und Verben beim Bildbenennen zugrunde liegen. Ein weiterer Fokus ist auf lexikalische Faktoren gerichtet, die den Abruf von Nomen und Verben beeinflussen können. Als ein wesentlicher Einflussfaktor auf das Benennen hat sich in jüngster Vergangenheit das Erwerbsalter herausgestellt. In den nachfolgenden Untersuchungen soll daher ferner der Frage nachgegangen werden, ob das Erwerbsalter auch einen Einfluss auf die neurofunktionellen Korrelate des Abrufes von Nomen und Verben hat. Die Fragestellungen werden mit Methoden der Reaktionszeitmessung und der funktionellen Bildgebung (event-related fMRT) überprüft.

Die Dissertationsschrift gliedert sich in Grundlagenkapitel (Kapitel 1 und 2), themenspezifisch-theoretische Kapitel (Kapitel 3 bis 5), empirische Kapitel (Kapitel 6 bis 8) und eine allgemeine Diskussion (Kapitel 9). Im ersten Kapitel sollen Methoden der Hirnforschung beschrieben werden, die heute in der kognitiven Neurolinguistik verwendet werden. Damit bildet dieses Kapitel die Grundlage für die später detailliert geschilderten Erkenntnisse und Forschungsergebnisse zur neurofunktionellen Repräsentation von Nomen und Verben beim Benennen. Im zweiten Kapitel werden grundsätzliche modelltheoretische Annahmen zur lexikalischen Verarbeitung beim Bildbenennen vorgestellt. Dabei wird sowohl auf kognitive als auch auf neurofunktionelle Modelle eingegangen. Mit dem dritten Kapitel beginnt der themenspezifisch-theoretische Teil der Arbeit. Im Mittelpunkt steht hier die intensive Auseinandersetzung mit verschiedenen Aspekten der Nomen/Verb Dissoziation. Es werden Sichtweisen und Forschungsergebnisse aus der allgemeinen Linguistik sowie der Psycho- und Neurolinguistik vorgestellt und diskutiert. Kapitel vier ist den psycholinguistischen Einflussfaktoren auf das Benennen gewidmet wobei der Fokus auf den psycholinguistischen Parameter „Erwerbsalter“ gerichtet ist. Der themenspezifisch-theoretische Teil wird mit dem fünften Kapitel abgeschlossen. Hier werden Fragestellungen vorgestellt, die im Rahmen dieses Forschungsprojektes beantwortet werden sollen.

Die Kapitel sechs bis acht stellen den empirischen Teil der Dissertationsschrift dar. Zunächst wird die Vorgehensweise bei der Zusammenstellung eines geeigneten Stimulussets beschrieben (Kapitel 6). Darauffolgend wird ein Reaktionszeitexperiment zum mündlichen Benennen von Nomen und Verben berichtet und diskutiert (Kapitel 7). Verschiedene psycholinguistische Faktoren werden dabei hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf die Reaktionszeiten beim Benennen von Objekt- und Handlungsbildern untersucht. Das Kernstück der vorliegenden Dissertation bildet das achte

Kapitel. Hier wird eine funktionell-bildgebende Studie zur neurofunktionellen Repräsentation von Nomen und Verben mit besonderer Berücksichtigung des Faktors „Erwerbsalter“ vorgestellt. Die Daten werden vor dem Hintergrund neurofunktioneller Erkenntnisse und kognitiver Modelle der Sprachverarbeitung diskutiert und interpretiert. Die Dissertationsschrift schließt ab mit einer allgemeinen Diskussion und Interpretation der Ergebnisse vor dem Hintergrund der Forschungsfragen des Dissertationsvorhabens sowie aktueller Befunde aus der Aphasieforschung und kognitiven Modelltheorie. Es werden Schlussfolgerungen gezogen und Überlegungen für das weitere experimentelle Vorgehen zur Untersuchung des mentalen Lexikons vorgetragen.

1 Methoden der Hirnforschung in der modernen Neurolinguistik

In den letzten Dekaden haben moderne Methoden der Hirnforschung zu vielen neuen Erkenntnissen über die Verarbeitung der Sprache im Gehirn geführt. Die Bereicherung dieser Verfahren für die neurolinguistische Forschung ist vor allen Dingen darin zu sehen, dass sie die Untersuchung des Gehirns am lebenden, gesunden Menschen erlauben. Die heute zur Verfügung stehenden Methoden unterscheiden sich in mehreren Dimensionen, u.a. in der physikalischen und neurobiologischen Basis, der Art und Weise der Datenakquisition oder in den Rückschlüssen, die die Daten über neurolinguistische Prozesse erlauben.

Die Verarbeitung von Nomen und Verben wurde in der Vergangenheit mit vielen unterschiedlichen Verfahren der Hirnforschung untersucht (siehe Abschnitt 3.3.4). Im ersten Kapitel soll daher eine Einführung in Verfahren gegeben werden, die im Rahmen der Forschung zur neurofunktionellen Repräsentation von Nomen und Verben bedeutsam sind. Da das Kernstück der vorliegenden wissenschaftlichen Arbeit eine Studie mit funktioneller Magnetresonanztomographie ist, wird der Beschreibung dieses Verfahrens besondere Aufmerksamkeit gewidmet (für einen Überblick über Methoden der Hirnforschung: Kischka et al. 1997; Papanicolaou 1998; Moonen & Bandettini 1999; Prosiel et al. 2002; Colina et al. 2005).

1.1 Elektrophysiologische Methoden

1.1.1 Elektroenzephalographie und Ereigniskorrelierte Potentiale (EEG/ERP)

Bei der Elektroenzephalographie (EEG) und der Ableitung Ereigniskorrelierter Potentiale (EKP; englisch: "Event Related Potentials" - ERP) handelt es sich um non-invasive Verfahren, die funktionelle Aspekte der Hirnaktivität reflektieren.

Bei der EEG werden Potentialschwankungen mittels Elektroden von der Kopfhaut abgeleitet und registriert, die bei der bioelektrischen Tätigkeit des Gehirns entstehen (Poeck 1994). Der genaue Ursprung dieser Potentiale ist bislang ungeklärt. Das Elektroenzephalogramm besteht aus mindestens vier Frequenzbändern (Alpha-, Beta-, Theta-, und Deltawellen), die Rückschlüsse auf regelrechte oder abweichende Gehirntätigkeit erlauben (vgl. Poeck 1994: 43-47).

Bei der Ableitung von Ereigniskorrelierten Potentialen wird eine kurze Veränderung des EEG Signals infolge eines sensorischen Stimulus registriert. Die Mittelung dieser Signalveränderung über eine große Anzahl an Ereignissen ergibt eine charakteristische Kurve, die für die Reaktion auf einen spezifischen Reiz steht. Die registrierten Potentiale sind die Summe von simultaner Aktivität größerer Neuronenverbände. Das Verfahren zeichnet sich durch eine zeitliche Auflösung im Millisekundenbereich aus. Die räumliche Auflösung ist jedoch relativ grob, so dass eine genaue

Zuordnung der registrierten Signale zu einem kortikalen Areal nur mit großen Einschränkungen möglich ist. Das Verfahren wird in der medizinischen Diagnostik standardmäßig zur Überprüfung sensorischer Reaktionspotentiale verwendet (somatosensible, visuelle und akustische Potentiale; vgl. Poeck 1994). In der neurolinguistischen Forschung werden Ereigniskorrelierte Potentiale überwiegend zur Untersuchung ungestörter Sprachverarbeitungsprozesse eingesetzt (vgl. Kutas & Van Petten 1994). Eine ERP-Kurve wird nach den Gesichtspunkten Polarität (positiv/negativ), Latenz, Amplitude und neurotopologische Verteilung ausgewertet. Die Kurve enthält eine Folge von positiven und negativen Signalspitzen, die im zeitlichen Verlauf erscheinen. Einige Komponenten der ERP-Kurve haben sich dabei als sensitiv für spezifische Sprachverarbeitungsprozesse herausgestellt. So wird die N400 Komponente, d.h. eine Negativierung des Signals nach 400 ms, mit semantischen bzw. lexikalischen Verarbeitungsprozessen assoziiert. Syntaktische Verarbeitungsprozesse dagegen werden mit einer links anterioren Negativierung (ELAN: early left anterior negativity; LAN: left anterior negativity) zwischen 100 und 200 bzw. 300 und 500 ms sowie eine Positivierung nach 600 ms (P600) oder später in Verbindung gebracht. Die P600 wird auch mit syntaktischen Reanalyseprozessen (z.B. bei ambigen Satzstrukturen) assoziiert (für einen Überblick: Kutas & Van Petten 1994; Friederici 1997, 2004).

1.1.2 Magnetenzephalographie (MEG)

Auch die Magnetenzephalographie zielt auf die Identifikation elektrischer Aktivitäten des Gehirns. Im Gegensatz zum EEG/ERP wird jedoch die magnetische Komponente der Hirnaktivität aufgezeichnet. Schwache elektrische Ströme innerhalb der Neuronenverbände des Kortex erzeugen magnetische Felder, die von Sensoren erfasst werden können. Das Verfahren ist non-invasiv und wird sowohl zur diagnostischen Abklärung, z.B. bei Epilepsie, als auch in der neurolinguistischen Forschung verwendet. Die Untersuchung wird am sitzenden oder liegenden Patienten/Probanden durchgeführt, während ein hochempfindlicher Magnetfeldsensor möglichst nah an den Kopf herangebracht wird. Um die anatomische Herkunft der magnetischen Signale sichtbar zu machen, wird zusätzlich eine strukturelle MRT Aufnahme des Gehirns (siehe Abschnitt 1.3.2) angefertigt. Wie ERP verfügt das Verfahren über eine extrem gute zeitliche Auflösung im Millisekundenbereich bei eingeschränkter räumlicher Auflösung (für einen Überblick: Papanicolaou 1998).

1.2 Elektromagnetische Stimulationsmethoden

1.2.1 Elektrokortikale Stimulation

Die Elektrokortikale Stimulation basiert auf der direkten elektrischen Reizung einer Kortexregion. Die Stimulation kann intra- oder extraoperativ erfolgen. Intraoperative Stimulationen werden während einer Operation am offenen Gehirn beim wachen Patienten vorgenommen. Bei der

extraoperativen Stimulation wird ein Elektrodengitter implantiert, das einige Tage im Gehirn verbleibt. Durch die elektrische Reizung in spezifischen Kortexarealen werden vorübergehende funktionelle Läsionen gesetzt, die die Ausführung einer motorischen oder kognitiven Aufgabe verhindern können. Bei der Untersuchung sprachrelevanter Hirnregionen wird die Reaktion des Patienten auf einen sprachlichen Reiz im Zusammenhang mit dem stimulierten Kortexbereich registriert. Ist ein stimuliertes Kortexgebiet an der Ausführung der Aufgabe beteiligt, kann es zu einer Null- oder Fehlreaktion des Patienten kommen. Die Methode wird verwendet, um sprachrelevante Kortexareale zu identifizieren, die bei einer Gehirnoperation, meist im Kontext von Epilepsie, geschont werden sollen. Da es sich hier um ein invasives Verfahren handelt, eignet sich die Methode nicht zur Untersuchung gesunder Personen (für einen Überblick: Corina et al. 2005). Umfangreiche Stimulationsstudien haben Aufschluss über die Lokalisation und Ausdehnung der sprachrelevanten Kortexareale erbracht (u.a. Ojemann et al. 1983, 1989) und leisteten einen Beitrag zur Diskussion um verschiedene psycho- bzw. neurolinguistische Probleme, wie z.B. die bilinguale Sprachverarbeitung (Ojemann & Whitaker 1978), die Verarbeitung semantischer Kategorien (Ilmberger et al. 2002) oder Wortabrufmechanismen (u.a. Ojemann et al. 1989). Eindrucksvoll wurde mittels diesen Verfahrens gezeigt, welche enorme interindividuelle Variabilität in der Lokalisation der Sprachareale besteht (Corina et al. 2005). Obwohl die elektrokorticale Stimulation einen direkten und unmittelbaren Rückschluss auf die Störbarkeit einer kognitiven Leistung erlaubt, lässt sich nicht ohne weiteres vom beobachteten Verhalten eines Patienten auf die Population gesunder Personen schließen. Aus theoretischer Sicht besteht eine hohe Wahrscheinlichkeit, dass bei ausgeprägten, operationsbedürftigen Epilepsien bereits eine Reorganisation von Kortexarealen eingesetzt hat. Weitere Probleme ergeben sich aus der Art der Daten. Da ausschließlich die sprachliche Leistung (meist ein „speech arrest“) registriert wird, ist die qualitative Analyse der Reaktionen nur eingeschränkt möglich. Wenn der Patient beispielsweise ein zu benennendes Wort nicht produziert, kann nicht ergründet werden, warum er dies nicht tut. Liegt es am lexikalischen Abruf, an der motorischen Umsetzung oder etwa am Arbeitsgedächtnis? Einzelne Komponenten komplexer kognitiver Leistungen sind mit der Methode nicht isolierbar. Ebenso ist eine Aussage über den zeitlichen Verlauf von Sprachverarbeitungsprozessen nicht möglich. Die elektrokorticale Stimulation zeichnet sich jedoch dadurch aus, dass exakte Informationen über den Ort der temporären Läsion vorliegen und auch nah aneinander liegende Kortexareale hinsichtlich ihrer Sensitivität für einen sprachlichen Reiz untersucht werden können.

1.2.2 Transkranielle magnetische Stimulation (TMS)

Bei der TMS wird die funktionelle Partizipation eines Hirnareals beim Lösen einer spezifischen Aufgabe durch direkte magnetische Stimulation an der Kortexoberfläche ermittelt. Baker et al. (1985) beschrieben erstmalig die Stimulation des menschlichen Motorkortex mit Hilfe von Magnetfeldern. Später wurde die Methode auch zur Untersuchung kognitiver Fragestellungen

eingesetzt (vgl. Herwig & Schönfeldt-Lecuona 2000). Eine elektromagnetische Spule wird dabei nahe dem Schädel über dem zu untersuchenden Hirnbereich platziert. Das magnetische Feld der Spule erzeugt einen elektrischen Strom im darunterliegenden Kortextbereich, der neuronale Abläufe modulieren kann. Die Eindringtiefe des magnetischen Feldes ist auf 1,5 bis 2 cm begrenzt, so dass im Wesentlichen nur Regionen an der Kortexoberfläche stimulierbar sind. Während die räumliche Auflösung in Abhängigkeit von Spulenart, Reizstärke und Gewebeeigenschaften etwa bei 4 cm² liegt, kann eine zeitliche Auflösung im Sekunden- bis Millisekundenbereich erreicht werden (Brandt et al. 1997). Neurowissenschaftler unterscheiden die konservative transkranielle Magnetstimulation (TMS) von der repetitiven transkraniellen Magnetstimulation (rTMS). Während bei Reizserien bis zu 1 Hz von TMS gesprochen wird, nennt sich eine Stimulation mit einer Frequenz von mehr als 1 Hz sowie mehr als 2 aufeinander folgenden Reizen mit konstantem Interstimulus-Intervall rTMS (Brandt et al. 1997).

Die Reaktion des Probanden auf eine kognitive Anforderung kann in Abhängigkeit von der Anordnung der elektromagnetischen Impulse entweder facilitiert oder gestört werden. Hochfrequente, schnelle rTMS Techniken wirken sich hauptsächlich facilitierend aus, niedrigfrequente, langsame Techniken dagegen führen eher zu Hemmungsprozessen (Cappa et al. 2002). Da die elektromagnetische Stimulation einen leichten sensorischen Reiz auf der Kopfhaut setzt, wird stets eine Kontrollbedingung ("sham") untersucht, in der nur ein sensorischer, nicht aber ein elektromagnetischer Impuls appliziert wird. Die Ergebnisse der experimentellen Bedingungen werden mit denen der Sham-Bedingung verglichen.

Obwohl das Verfahren kurzfristig in die elektrischen Abläufe der kortikalen Neuronenverbände eingreift und damit als invasiv klassifiziert werden muss, sind zum jetzigen Stand der Forschung keine längerfristigen, schädigenden Wirkungen bekannt. Die Methode wird daher vor allem bei sprachlich ungestörten Personen angewendet. Personen mit Epilepsie, Metallimplantaten oder schwangere Frauen werden grundsätzlich von der Untersuchung ausgeschlossen (Brandt et al. 1997).

1.3 Strukturell-bildgebende Verfahren

Unter dem Oberbegriff „strukturell-bildgebende Verfahren“ werden Techniken zusammengefasst, die dreidimensionale, anatomische Darstellungen des Gehirns liefern. Die Entwicklung von strukturell-bildgebenden Verfahren ist eine der größten Fortschritte in der Medizin des 20. Jahrhunderts. Hierdurch wurde es erstmals möglich, Strukturen im inneren des menschlichen Körpers in vivo abzubilden, ohne den Gebrauch von chirurgischen Techniken. Strukturell-bildgebende Verfahren werden im Bereich der neurologischen Diagnostik zur Identifikation von Krankheitsprozessen im Gehirn und peripheren Nervensystem verwendet. In der neurolinguistischen Forschung haben sie die post-mortem Untersuchungen nahezu vollständig ersetzt. Strukturell-bildgebende Verfahren werden hier vorrangig im Rahmen von "Läsions-Defizit

Studien" eingesetzt. In Kombination mit funktionell-bildgebenden Verfahren tragen sie zur genauen anatomischen Identifikation von aktivierten Hirngebieten bei (siehe Abschnitt 1.4).

Läsions-Defizit Studien identifizieren den Ort einer strukturellen Abnormität im Gehirn von Patienten, die durch einen Schlaganfall oder eine Krankheit kognitive Funktionen verloren haben (Price et al. 2003). Die Aussagekraft von Läsions-Defizit Studien hinsichtlich der Aufdeckung eines neuroanatomischen Sets, das spezifische kognitive Funktionen repräsentiert, ist aber stark eingeschränkt. Price et al. (2003) stellten fest:

„More generally, the lesion-deficit approach on its own cannot (1) provide good spatial resolution, (2) indicate whether the deficit is caused by damage to cortical areas or the connection between these areas, (3) determine the role of areas where ischemic damage or neurodegeneration is rare, or (4) establish that an area is not involved in a given function – because when more than one neural area can enable a function, damage to only one of these areas will not impair that function” (Price et al. 2003: 32 f; vgl. Price & Friston 2002)

Die Autoren schlagen zur Überwindung dieser Einschränkungen vor, Läsionsüberlappungen über große Patientengruppen zu untersuchen (wie z.B. in Damasio et al. 1996), spezifischere strukturelle MR Techniken zu verwenden (z.B. Diffusions Tensor Bildgebung) oder die Ergebnisse der Läsionsstudien mit Befunden aus TMS Untersuchungen bzw. funktionell-bildgebenden Verfahren zu vergleichen.

1.3.1 Craniale Computertomographie (CCT)

Die Craniale Computertomographie, entwickelt von Hounsfield (Hounsfield et al. 1973), ist ein computergesteuertes Röntgenschnittverfahren. Sie beruht darauf, dass Röntgenstrahlung bei der Durchdringung von Gewebe abgeschwächt wird. Der Grad der Abschwächung hängt dabei von der Dichte des Gewebes ab (Poeck 1994: 49). Röntgenstrahlen werden aus unterschiedlichen Winkeln auf den zu untersuchenden Körper appliziert. Detektoren messen die Strahlung, die den Schädel durchtritt. Es entsteht ein dreidimensionales Schichtbild aus unterschiedlichen Graustufen. Strukturen, die wenig Strahlung durchlassen (z.B. Knochen, akutes Hämatom) bilden sich im CCT Bild weiß (hyperdense) ab, während Strukturen, die gut durchlässig sind (z.B. Luft in Nasennebenhöhlen, Liquor in Ventrikeln, alte ischämische Infarkte), schwarz (hypodense) erscheinen (vgl. Prosiogel et al. 2002: 55). Da das Verfahren aufgrund der verwendeten Strahlung als invasiv einzustufen ist, eignet es sich nicht für gesunde Studienteilnehmer. Die Strahlenbelastung entspricht einer konventionellen Röntgenuntersuchung in drei Ebenen (Prosiogel et al. 2002). Unabhängig davon ist der Einsatz des CCT in der neurolinguistischen Forschung in den Hintergrund getreten, da im Gegensatz zur MRT Weichteilstrukturen weniger gut abbildet werden können.

1.3.2 Magnetresonanztomographie (MRT)

Die Magnetresonanztomographie ist ein non-invasives, strukturell-bildgebendes Verfahren, das sowohl im klinischen Bereich als auch in der Hirnforschung eingesetzt wird. Bereits im 19. Jahrhundert untersuchte und beschrieb Nikola Tesla (1856-1943) die Eigenschaften von Magnetfeldern. Der Name „Tesla“ bezeichnet heute die Maßeinheit der Magnetfeldstärke. Wichtige Grundlagen der MRT wurden ferner von Jean-Baptiste Fourier (1768-1830; Fourier-Transformation) und Felix Bloch sowie Edward Purcell gelegt, die 1946 unabhängig voneinander das Phänomen der Nuklear-Magnetischen-Resonanz entdeckten, wofür sie 1952 den Nobel-Preis in Physik erhielten. Paul Lauterbur (1974) zeigte die erste MR Abbildung eines Tumors an einem lebenden Tier, Raymond Damadian demonstrierte im Jahre 1977 die erste MR-Bildgebung am lebenden Menschen. Letztere Aufnahme, ein Thoraxquerschnitt, wurde seinerzeit über mehreren Stunden akquiriert. Mit der Entwicklung des Echo Planar Imaging (EPI) durch Peter Mansfield (1977) wurde eine schnellere Form der Datenakquisition bereitgestellt. 1984 war die MRT so ausgereift, dass eine standardmäßige Nutzung in Kliniken möglich wurde. Lauterbur und Mansfield wurden 2003 mit dem Nobelpreis für Medizin ausgezeichnet.

Die physikalische Basis des Verfahrens (für einen Überblick: Prosiogel et al. 2002; Papanicolaou 1998) bildet das Phänomen der „Nuclear Magnetic Resonance“ (NMR), ein Signal, das aufgrund spezifischer Eigenschaften von Protonen in einem externen magnetischen Feld entsteht. Als Signalquelle dienen vorwiegend Wasserstoffkerne, die in allen Körpergeweben in großer Zahl vorhanden sind. Das Wasserstoffatom in seiner einfachsten Form besteht aus einem Proton im Atomkern und einem Elektron der Atomhülle. Protonen (und Neutronen), die in ungerader Anzahl im Atomkern enthalten sind, haben einen Kernspin (angular momentum). Mit Spin wird die Rotationsbewegung der Protonen um ihre eigene Achse bezeichnet. Ein Proton trägt eine positive elektrische Ladung. Rotierende elektrische Ladungen induzieren ein Magnetfeld. Daher kann das Wasserstoffproton als ein kleiner Stabmagnet mit Nord- und Südpol angesehen werden. Werden die Protonen einem starken externen Magnetfeld ausgesetzt, richten sie sich parallel und antiparallel (longitudinal) entlang des magnetischen Feldes aus. Eine parallele Ausrichtung repräsentiert einen vergleichsweise energiearmen Zustand, während die antiparallele Ausrichtung mit einem energiereicheren Zustand verbunden ist. Magnetische Kräfte, die in entgegengesetzte Richtungen wirken (parallel und antiparallel) heben sich gegenseitig auf. Die Differenz zwischen parallel und antiparallel ausgerichteten Protonen im Gewebe ist nahezu Null. Bei 1,5 Tesla und 2 Millionen Protonen in einer Probe, beträgt die Differenz nur 9 Protonen (www.simplyphysiks.com). Wird die Feldstärke erhöht, vergrößert sich die Anzahl der differierenden Protonen. In Hirnforschungsstudien werden Feldstärken von 1,5 bis 4 Tesla verwendet.

Die Ausrichtung der Magnetisierung einer ganzen Gruppe von Protonen kann als Magnetisierungsvektor aufgefasst werden. Ein Vektor stellt eine bestimmte Kraft dar, die in eine bestimmte Richtung wirkt. Werden alle longitudinalen und transversalen Komponenten eines Sets an Protonen aufsummiert, erhält man die Netzmagnetisierung der Probe. Da die Kräfte der parallel und antiparallel ausgerichteten Protonen sich gegenseitig aufheben, geht das MRT Signal ausschließlich von den differierenden Protonen aus.

Protonen, die entlang des Magnetfeldes ausgerichtet sind, führen eine Art Torkelbewegung (Präzession) um die Feldlinien aus. Diese Präzessionsbewegung vollzieht sich um eine imaginäre Achse, die von der Richtung des magnetischen Feldes bestimmt wird, sie ist nicht synchron zwischen den einzelnen Kernen. Neben der Protonendifferenz verändert sich auch die Präzessionsfrequenz der Protonen in Abhängigkeit von der Stärke des magnetischen Feldes.

Die Longitudinale Ausrichtung im externen Magnetfeld allein führt nicht zu einem messbaren MR-Signal. Nur durch die Kippung der Netzmagnetisierung in die Transversale kann ein entsprechendes Signal entstehen. Dieser Zustand wird durch die Einstrahlung eines Hochfrequenzimpulses (HF-Puls oder 90° Puls), einer elektromagnetischen Welle, herbeigeführt. Der HF-Puls muss in der Lage sein, Energie mit den Protonen auszutauschen. Das ist nur möglich, wenn die Frequenz des HF-Pulses der Präzessionsfrequenz der Protonen entspricht (Resonanzbedingung). Der HF-Puls kann die Netzmagnetisierung in Abhängigkeit von der Einstrahlungslänge in jedem möglichen Winkel auslenken. Während des HF-Pulses wird Energie auf die Protonen übertragen. Dadurch wechseln einige Protonen auf ein höheres Energieniveau, d.h. sie richten sich antiparallel zum externen Magnetfeld aus. Dies hat zur Folge, dass sich die Differenz zwischen parallel und antiparallel ausgerichteten Protonen verringert und die longitudinale Magnetisierung abnimmt, während die transversale Magnetisierung zunimmt. Der HF-Puls bewirkt ferner, dass die zuvor unsynchrone Präzessionsbewegung der Protonen synchronisiert wird. Die Protonen beginnen, "in Phase" zu präzedieren. Dieser Prozess führt ebenfalls zu einer Verstärkung der Transversalmagnetisierung. Wenn die Protonen in Phase resonieren und die transversale Netzmagnetisierung maximal ausgeprägt ist, erzeugen die Protonen ein Signal, in Form einer elektrischen Ladung, das über Antennen aufgefangen werden kann. Dieses Signal ist das MR-Signal. Die Zeit von der Anregung durch den HF-Puls bis zum MR-Signal wird als Echozeit (TE) bezeichnet.

Wird der HF-Puls abgeschaltet, kehren die Kerne in ihr ursprüngliches Gleichgewicht zurück (Relaxation), dabei wird das MR-Signal zunehmend schwächer und zerfällt. Der Zerfall des Signals, das ohne äußere Einwirkung frei, mit einer exponentiellen Kurve abfällt, wird als "free induction decay" bezeichnet. Diese charakteristische Zeitkonstante wird auch T_2^* genannt. Protonen, die sich während des HF-Pulses antiparallel ausgerichtet hatten, fallen mit der spezifischen, gewebeabhängigen Zeitkonstante T_1 in die parallele Ausrichtung zurück. Dieser Prozess wird als longitudinale Relaxation oder auch Spin-Gitter-Relaxation bezeichnet, weil dabei

Energie an das umliegende Atomgitter abgegeben wird. Die Zeitkonstante T_1 beschreibt die Rückkehr der Längsmagnetisierung in den Gleichgewichtszustand. Sie ist definiert als Zeit, nach der 63% der ursprünglichen Längsmagnetisierung wieder erreicht ist. In einem davon unabhängigen Prozess verlieren die Protonen die synchrone Präzessionsbewegung, sie dephasieren. Dieser Prozess wird als transversale Relaxation oder Spin-Spin-Relaxation bezeichnet, weil er auf Wechselwirkungen zwischen Spins und auf Magnetfeldinhomogenitäten beruht. Die Zeitkonstante T_2 beschreibt den Zerfall der Quermagnetisierung im ideal homogenisierten Magnetfeld. Sie ist definiert als Zeit, nach der die Quermagnetisierung auf 37% des ursprünglichen Wertes zurückgegangen ist.

Relaxationseffekte können zu einem bestimmten Grad rückgängig gemacht werden. Dies kann entweder durch einen erneuten HF-Puls (180° Puls) geschehen, der die Präzessionsrichtung der Protonen schlagartig umkehrt und damit eine Refokussierung bewirkt oder durch die abrupte Umkehr der Gradientenrichtung mit dem gleichen Ergebnis. Wenn ein 180° Puls appliziert wird, wird das neuerliche MR-Signal als Spin-Echo bezeichnet. Erfolgt das Signal nach der Refokussierung durch Gradientenumkehr, heißt es Gradient-Echo. Nicht alle Effekte der Relaxation, z.B. Magnetfeldinhomogenitäten, lassen sich durch einen weiteren HF-Puls oder die Gradientenumkehr rückgängig machen. Daher zerfällt das MR-Signal nach der Refokussierung erneut und es werden weitere Pulse oder Gradientenumkehrungen erforderlich. Die Abfolge und zeitliche Organisation der Pulse und Gradientenschaltungen wird in Sequenzen festgelegt (z.B. Fast Low Angle Shot - FLASH). Die Zeit vom Beginn des ersten 90° Pulses bis zum 90° Puls der darauffolgenden Sequenz wird als Repetitionszeit (TR) bezeichnet.

Nach verschiedenen mathematischen Transformationen (u.a. Fourier-Transformation) entsteht aus dem gemessenen Signal ein dreidimensionales MRT Bild, das sich aus millimeterdünnen Schichten zusammensetzt. Jede Schicht ist aus dreidimensionalen Würfeln zusammengesetzt, auch Voxel genannt, die in Abhängigkeit von der Signalintensität unterschiedliche Grautöne aufweisen.

Die Art der Radiowelle und das durch die Protonen bei der Relaxation erreichte Energieniveau sind bedeutsam für die Gewichtung der MR-Aufnahme. Die Gewichtung hat Einfluß auf die Signalintensität, so erscheinen Hirnstrukturen in Abhängigkeit von der Gewichtung in unterschiedlichem hell/dunkel Kontrast. In T_1 gewichteten Bildern des Gehirns ist die graue Hirnsubstanz dunkler als die weiße Hirnsubstanz, der Liquor stellt sich dunkel dar. In T_2 gewichteten Aufnahmen ist die Signalintensität deutlich stärker, dadurch erscheint der Liquor weiß. Er stellt sich heller als die graue oder weiße Substanz dar. T_2^* gewichtete Bilder sind eine Subgruppe T_2 gewichteter Bilder. Sie gewinnen bei schnell aufeinanderfolgenden Aufnahmen an Bedeutung, z.B. bei der funktionellen Bildgebung (Schild 1990; vgl. Prosiel et al. 2002: 57-64). Der Wert der strukturellen Magnetresonanztomographie liegt in der modernen Neurolinguistik v.a.

in der hohen räumlichen Auflösung (etwa 1 mm), die verbunden mit funktionell-bildgebenden Verfahren eine gute Aktivierungslokalisation gewährleistet.

1.4 Funktionell bildgebende Verfahren

Unter funktionell-bildgebenden Verfahren versteht man Methoden der Hirnforschung, die es ermöglichen, die metabolische Aktivität umschriebener Hirnareale in Ruhe oder bei Stimulation abzubilden. Dabei wird die Aktivierung indirekt aus den Parametern Durchblutung, Sauerstoff- oder Glukosemetabolismus geschlossen (Schwartz et al. 1997). Die Mehrzahl der funktionell-bildgebenden Verfahren beruht auf dem Prinzip der "neurovaskulären Kopplung", der Kopplung zwischen Aktivität der Gehirnzellen und der Durchblutung, die erstmals durch Roy und Sherrington (1890) beschrieben wurde. Ist ein Neuron aktiv, benötigt es mehr Glukose und Sauerstoff, was zu einer Weitstellung des Kapillarbetts führt und eine Änderung des regionalen cerebralen Blutflusses (rCBF) und Blutvolumens (rCBV) zur Folge hat. Die Entwicklung funktionell-bildgebender Verfahren eröffnete besonders für die kognitive Neurowissenschaft völlig neue Perspektiven (Raichle 1994). Erstmals konnte das lebendige, gesunde Gehirn beim Denken oder Sprechen „beobachtet“ werden. Dabei geht die Forschung davon aus, dass ein erhöhter Stoffwechsel und/oder Blutfluss mit stärkerer Aktivierung einer Hirnregion korreliert ist. Die stärkere Aktivierung einer Hirnregion bei kognitiven bzw. sprachlichen Anforderungen lässt wiederum auf eine Beteiligung dieser Hirnstruktur an dem jeweiligen kognitiven Prozess schließen. Im Gegensatz zu Läsions-Defizit Studien identifizieren funktionell-bildgebende Verfahren also Hirnareale, in denen Stoffwechselveränderungen im Zusammenhang mit kognitiven Operationen auftreten (Price et al. 2003). Die Vorteile der funktionellen Bildgebung gegenüber Läsionsstudien bestehen darin, dass Neuroimaging erstens nicht auf die Region beschränkt ist, die beschädigt wurde, zweitens funktionale Spezialisierungen in Regionen identifiziert werden können, in denen natürlich auftretende Läsionen selten sind oder die Funktionalität nach einer Hirnschädigung erhalten ist, wegen kognitiver oder neuronaler Reorganisation und drittens ein System verteilter kortikaler Areale aufgedeckt werden kann, die eine kognitive Aufgabe unterstützen (Price 2000: 337). Die funktionelle Bildgebung unterliegt jedoch auch Beschränkungen. So kann erstens eine beobachtete Aktivierung durchaus nicht notwendig für das Lösen einer kognitiven Aufgabe sein:

„...functional imaging data identify the distributed set of regions for a task but do not inform us which areas are necessary for task performance.“(Price 2000: 337)

Zweitens wird nicht zwangsläufig Aktivierung in all den Arealen detektiert, die zur Lösung einer Aufgabe beitragen (Price et al. 2003):

„This is because, if more than one neural system can execute a particular function, only a subset of these neural systems may be activated in any one subject. Either functional imaging would detect the prepotent system only or, if there was individual variation in the prepotent system, then averaging over subjects may not reveal either system” (Price et al. 2003: 36; vgl. Price & Friston 2002)

Um ein umfangreiches Bild von der funktionellen Anatomie spezifischer kognitiver Prozesse zu bekommen, ist es daher notwendig, strukturelle und funktionelle Bildgebungsstudien sowohl bei sprachgesunden als auch sprachgestörten Personen durchzuführen (vgl. Price et al. 2003).

1.4.1 Positronen-Emissions-Tomographie (PET)

PET ist ein invasives Verfahren, das biochemische Prozesse im Gehirn untersucht (v.a. lokaler Glukose- und Sauerstoffverbrauch und regionaler cerebraler Blutfluss –rCBF-). Um die regionale Hirnfunktion zu identifizieren wird ein radioaktiver Tracer injiziert (z.B. radioaktiv markiertes Wasser oder Sauerstoff). Die radioaktiv markierte Substanz strahlt positiv geladene Teilchen ab (Emission), so genannte Positronen, die der Masse eines Elektrons entsprechen. Wenn Positronen bei der Emission auf Elektronen treffen, werden beide Teilchen vernichtet. Die entstehende Energie wird in einem spezifischen Winkel abgestrahlt. Über die Rekonstruktion des Herkunftsortes der Energie wird die Identifikation der entsprechenden Hirnregion ermöglicht, aus der das Signal kam. Obwohl PET ein invasives Verfahren ist, das mit radioaktiv markierten Substanzen arbeitet, wird es auch zur Untersuchung der ungestörten Sprachverarbeitung eingesetzt. Wegen möglicher gesundheitlicher Risiken im Hinblick auf eine Schädigung der weiblichen Keimdrüsen werden Frauen in den letzten Jahren zunehmend von PET Untersuchungen ausgeschlossen (für einen Überblick: Prosiel et al. 2002).

1.4.2 Funktionelle Magnetresonanztomographie (fMRT)

Die funktionelle MRT ist eine Weiterentwicklung der strukturellen Magnetresonanztomographie. Pauling & Coryell (1936) untersuchten die magnetischen Eigenschaften von Blut und konnten zeigen, dass die Sauerstoffbindung des roten Blutfarbstoffes (Hämoglobin) die Magnetisierbarkeit eines Gewebes verändert. Auf der Basis dieser Erkenntnisse wies Ogawa et al. (1990) im Tierversuch nach, dass Blutgefäße deutlichere MR-Signale aussenden, wenn die Konzentration an sauerstoffreichem Hämoglobin im postkapillären (venösen) Gefäßabschnitt zunimmt. Diesen Effekt nannte er Blood Oxygenation Level Dependent (BOLD-) Effekt. 1992 wurden erste Ergebnisse der BOLD Bildgebung am Menschen vorgestellt (Kwong et al. 1992; Ogawa et al. 1992). Seit 1993 wird die fMRT als Forschungsmethode im Gebiet der Medizin und der kognitiven Neurowissenschaften verwendet.

1.4.2.1 Physiologische Grundlagen der fMRT

Menschliches Blut besteht aus zahlreichen zellulären (Erythrozyten, Leukozyten, Thrombozyten) und Plasmakomponenten. Im Plasma befinden sich ungelöste Substanzen, wie z.B. Wasser, Sauerstoff, Kohlendioxid, Glukose, Elektrolyte, Proteine, Lipide, Aminosäuren, Vitamine und Hormone. Der Sauerstofftransport ist an Hämoglobin, ein eisenhaltiges Protein in den Erythrozyten, gebunden. Die Stärke der Bindung hängt vom lokalen Sauerstoffdruck ab. Während der Druck in der Lunge hoch ist und somit die Bindung fazität, ist er in den Kapillaren gering, wodurch Sauerstoff abgegeben wird. Hämoglobin tritt daher in zwei Zuständen auf: oxygeniert (sauerstoffreich, Oxyhämoglobin) und deoxigeniert (sauerstoffarm, Deoxyhämoglobin). Die daraus resultierende differierende chemische Struktur führt zu unterschiedlichen magnetischen Eigenschaften. Während Oxyhämoglobin nur ein geringes magnetisches Moment besitzt, führt die Anwesenheit von vier ungepaarten Elektronen im Deoxyhämoglobin zu einer erhöhten Magnetisierbarkeit (vgl. Pauling & Coryell 1936; Jueptner & Weiller 1995; Papanicolaou 1998). Roy und Sherringtons (1890) Annahme, dass neuronale Aktivität mit erhöhtem lokalen Blutfluss verbunden ist ("Neurovaskuläre Kopplung") wurde vielfach untersucht und wird unterschiedlich diskutiert. Generell akzeptiert ist die Auffassung, dass eine länger andauernde Aktivierung von Nervenzellverbänden zu einem proportionalen Anstieg von Metabolismus, Oxygenierung und regionalem cerebralem Blutfluss (rCBF) führt (Kleinschmidt 1999). Der Glukoseverbrauch kann relativ zuverlässig als Marker des lokalen Stoffwechsels gelten und der lokale Sauerstoffverbrauch verhält sich proportional zur lokalen Hirnaktivität (Villringer 1999). Bislang ist jedoch nicht vollständig aufgeklärt, wie der Blutfluss durch die neuronale Aktivierung getriggert wird. Die Aufdeckung dieses Mechanismus ist einer der bedeutsamsten Forschungsschwerpunkte der gegenwärtigen Neurowissenschaften (Logothetis et al. 2001; Attwell & Iadecola 2002; Heeger & Ress 2002). Kürzer andauernde neuronale Aktivierung, die z.B. als Reaktion auf schnell wechselnde Stimuli entsteht, zeigt jedoch ein anderes physiologisches Muster. Fox & Raichle (1986) beschrieben erstmals, dass bei kurzzeitiger Stimulation ein Missverhältnis zwischen rCBF, Sauerstoffverbrauch und Glukoseverbrauch besteht. Ein Phänomen, das sie als "uncoupling" beschreiben. Während kurzzeitige Stimulation zu einem gewaltigen Anstieg an rCBF und Glukosemetabolismus führt, steigt der Sauerstoffverbrauch nur minimal (Villringer 1999). Die Gründe hierfür sind noch nicht vollständig aufgeklärt. Dieses Missverhältnis ist jedoch die Grundlage des BOLD Effekts.

Der BOLD Effekt beruht auf den magnetischen Eigenschaften des Hämoglobins. Wie bereits erwähnt, erfolgt auf eine kurz andauernde neuronale Aktivierung ein disproportionaler Anstieg des rCBF im Vergleich zum Sauerstoffverbrauch. Sauerstoff wird in einer überproportional großen Menge antransportiert, die von den Zellen nicht vollständig aufgenommen werden kann. Dadurch kommt es paradoxerweise zu einer Erhöhung der Oxyhämoglobin-Konzentration bei gleichzeitiger

Verringerung der Deoxyhämoglobin-Konzentration im lokalen Kapillarsystem. Das MR Signal ist sensitiv für Deoxyhämoglobin, welches bei der fMRT-Bildgebung als intrinsisches Kontrastmittel wirkt. Die magnetischen Eigenschaften von Deoxyhämoglobin rufen im Kapillarsystem und der umgebenden Hirnregion lokale Magnetfeldinhomogenitäten, sogenannte Suszeptibilitätsänderungen, hervor (Schwartz et al. 1997). Diese führen zu einem schnelleren Zerfall des MR Signals. Der BOLD Effekt hat einen charakteristischen Verlauf über die Zeit, der in drei Abschnitte eingeteilt werden kann:

1. *“initial dip”*

Ein bis zwei Sekunden nach dem Erscheinen eines Stimulus sinkt das MR Signal kurzzeitig ab. Dieser Effekt ist auf den Anstieg der Deoxyhämoglobinkonzentration zurückzuführen, bevor die massive Einflutung des oxygenierten Hämoglobins erfolgt. Der *“initial dip”* konnte jedoch nicht immer beobachtet werden und wird daher kontrovers diskutiert (Villringer 1999).

2. *“main BOLD effect”*

Durch den Anstieg des rCBF wäscht sich Deoxyhämoglobin aus. Das Konzentrationsverhältnis wird zugunsten von Oxyhämoglobin verschoben. Das MR Signal verstärkt sich entsprechend. Die Spitze des Effekts wird nach etwa 8 Sekunden erreicht.

3. *“post-stimulus undershoot”*

Nach circa 40 Sekunden geht das Blutvolumen auf seinen Ursprungswert zurück. Mit dem Anstieg des Blutvolumens steigt die Konzentration an Deoxyhämoglobin, das MR Signal verschwindet.

BOLD fMRT beruht ausschließlich auf der Messung der vaskulären Antwort während der Hirnaktivierung. Durch die Gleichsetzung von Hirnaktivität auf Zellebene mit vaskulären Effekten unterliegt die Methode Einschränkungen auf unterschiedlichen Ebenen. Der wichtigste Informationsverlust ergibt sich aus der Reduzierung verschiedenster neuronaler Prozesse auf den häufig verwendeten Begriff *“Hirnaktivierung”*. Hirnaktivierung subsumiert z.B. Aktionspotentiale und synaptische Erregung und Hemmung. Da exzitatorische und inhibitorische Ereignisse gleichermaßen Energie und Sauerstoff benötigen, führen sie zu einer gleichgerichteten vaskulären Veränderung. Zur Abgrenzung dieser Prozesse sind zusätzliche verifizierende Verfahren notwendig (Villringer 1999). Räumliche Einschränkungen ergeben sich durch den Fakt, dass gemessene Signale aus dem Kapillarsystem stammen, nicht jedoch direkt aus den Neuronenverbänden. Zusätzlich ist eine zeitliche Begrenzung durch den Abstand von neuronaler Aktivität und vaskulärer Antwort gegeben (Kleinschmidt 1999). Viele Effekte können das BOLD Signal verändern. So variiert das Signal z.B. zwischen verschiedenen Hirnregionen. Villringer (1999)

weist außerdem daraufhin, dass die Mechanismen, die zum BOLD Signal führen vom Alter und Gesundheitszustand des Probanden oder Patienten abhängig sind.

1.4.2.2 Experimentelle Designs

Die Auswahl des experimentellen Designs ist für ein fMRT Experiment von entscheidender Bedeutung. Sie hängt maßgeblich vom Ziel der Studie und von der Stärke der zu erwartenden Effekte ab. Im Rahmen neurolinguistischer Untersuchungen werden derzeit zwei verschiedene experimentelle Designs verwendet: das Blockdesign (epoche related) und das ereigniskorrelierte Design (event-related).

Beim Blockdesign erfolgt der experimentelle Ablauf in sogenannten Epochen. Eine Epoche umfasst einen Zeitabschnitt von etwa 20-30 Sekunden. Nach Ablauf dieser Zeit beginnt eine neue Epoche. Es werden Aktivierungs- und Ruheepochen voneinander unterschieden. Auf eine Aktivierungsepoche folgt stets eine Ruheepoche. In der Aktivierungsepoche werden Reize präsentiert, auf die der Proband reagieren soll. In der Ruhebedingung erfolgt keinerlei Stimuluspräsentation, es ist keine Reaktion seitens des Probanden erforderlich. Eine Aktivierungsepoche A enthält homogene Reize und soll einen spezifischen kognitiven Prozess stimulieren. Es ist auch möglich, mehrere Aktivierungsepochen (A, B, C etc.) in das Design zu integrieren. Während der Datenanalyse wird das MR Signal geschätzt und gemittelt, das über die jeweiligen Epochen (A, B, C, Ruhe etc.) aufgetreten ist. Die Signalintensität der Aktivierungsepochen vom Typ A ist auf diese Weise mit der Signalintensität der Aktivierungsepochen vom Typ B, C oder Ruhe statistisch vergleichbar. Die Abfolge der Epochen kann über das Experiment randomisiert werden. Ein Blockdesign erlaubt keine randomisierte Stimulusdarbietung, Signale für einen einzelnen Stimulus können nicht errechnet werden. Ferner ist es nicht möglich, einzelne Stimuli nachträglich von der Analyse auszuschließen. Das Design hat jedoch eine gute statistische Power, so dass es sich besonders zur Untersuchung sehr subtiler Effekte eignet (für einen Überblick: Aguirre & D'Esposito 1999).

Beim ereigniskorrelierten Design hingegen wird die Signalintensität für einen individuellen Stimulus und nicht für eine gesamte Epoche geschätzt. Jeder Stimulus wird im Vorfeld des Experimentes hinsichtlich seiner Zugehörigkeit zu einer bestimmten experimentellen Bedingung klassifiziert. Dadurch ist im Zuge der Datenanalyse ebenso ein statistischer Vergleich zwischen verschiedenen experimentellen und Kontrollbedingungen möglich. Das ereigniskorrelierte Design hat mehrere Vorteile. Erstens ist eine randomisierte Darbietung der Stimuli möglich, dadurch erscheinen die Stimuli dem Versuchsteilnehmer unvorhersehbar und sind so nicht mit spezifischen kognitiven Erwartungen verbunden. Zweitens können die Stimuli auch post-hoc klassifiziert werden, z.B. von der Analyse ausgenommen werden oder parametrisch modelliert werden. Drittens sind Designs mit Ablenkeritems konstruierbar, die bei der Analyse nicht berücksichtigt werden. Der Nachteil des ereigniskorrelierten Designs gegenüber dem Blockdesign ist der Verlust an

statistischer Power (für einen Überblick: Aguirre & D'Esposito 1999; Buckner & Braver 1999). Dieser Nachteil kann ausgeglichen werden durch eine ausreichende Menge an Stimuli pro Bedingung (etwa 100). Eine weitere Möglichkeit, die Effizienz des Designs zu erhöhen, besteht in der Programmierung von variablen Intertrialintervallen und sogenannten Nullevents. Nullevents sind Trials, in denen keine Stimulusdarbietung erfolgt, die aber die Länge eines experimentellen Trials haben. Diese kurze Ruhebedingung ermöglicht eine kurzzeitige Erholung des Signals, was insgesamt zu einer verbesserten Designeffizienz führt (Josephs & Henson 1999; Friston et al. 1999c).

1.4.2.3 Experimentelle Paradigmen

Die funktionelle Magnetresonanztomographie ist eine aufgabenabhängige Aktivierungsmethode, die den Vergleich mindestens zweier funktioneller Zustände erfordert (Baumgärtner & Postler 2003). Das Paradigma für eine funktionell-bildgebende Studie besteht demnach mindestens aus einer experimentellen und einer Kontrollbedingung. Seit Beginn der neunziger Jahre wurden die experimentellen Paradigmen für fMRT und PET Studien kontinuierlich weiterentwickelt und verfeinert. Vier klassische Paradigmen sollen in diesem Abschnitt beschrieben werden.

Kognitive Subtraktion. In den ersten funktionellen Studien wurden vorrangig motorische Paradigmen (z.B. Finger tapping) im Rahmen von Blockdesigns untersucht (u.a. Desmond et al. 1997). Bei diesen Experimenten wurde die Aktivierungsbedingung nur mit der Ruhebedingung verglichen. Mit dem Einzug kognitiver, v.a. sprachlicher Fragestellungen in die funktionelle Bildgebung, erwies sich ein ausschließlicher Vergleich mit der Ruhebedingung als unzureichend (vgl. Binder et al. 1999). Es wurde ein experimentelles Paradigma benötigt, durch das spezifische kognitive Prozesse isoliert werden können. Mit der „Kognitiven Subtraktion“ (u.a. Petersen et al. 1989) wurde ein solches Paradigma bereitgestellt. Zur Durchführung einer kognitiven Subtraktion ist es notwendig, dass die zu untersuchende kognitive Operation modellgeleitet in einzelne kognitive Komponenten unterteilt werden kann (z.B. auditive Analyse, lexikalischer Zugriff, semantischer Zugriff etc.). Weiterhin müssen mindestens zwei Bedingungen vorhanden sein, eine experimentelle und eine Kontrollbedingung. Während die experimentelle Bedingung einen kognitiven Prozess von Interesse enthält, beinhaltet die Kontrollbedingung alle kognitiven Prozesse der experimentellen Bedingung, bis auf den Prozess von Interesse. Bei der Datenanalyse werden beide Bedingungen statistisch miteinander verglichen. Signifikante Unterschiede, die als aktivierte Bildelemente (Voxel) erscheinen, werden mit dem Prozess von Interesse assoziiert. Eine Weiterentwicklung dieses Paradigmas stellt die „serielle kognitive Subtraktion“ dar, bei der mehrere aufeinander aufbauende experimentelle Bedingungen miteinander kombiniert werden. Die Bedingungen werden so konstruiert, dass eine experimentelle Bedingung stets die Kontrollbedingung für eine weitere experimentelle Bedingung ist.

Die kognitive Subtraktion geht von zwei grundlegenden Annahmen aus. Zum einen wird angenommen, dass „*a cognitive process can be added to a pre-existing set of cognitive processes without affecting them*“ (Aguirre & D’Esposito 1999: 372). Diese Annahme ist als „pure insertion“ bekannt. Zum anderen basiert das Paradigma auf der Vorstellung, dass „*the transformation of neural activity into fMRI signal is linear*“, auch Linearitätsannahme genannt (Aguirre & D’Esposito 1999: 372). Beide Annahmen sind inzwischen widerlegt worden. Bereits Aertsen & Preissl wiesen 1991 nach, dass neuronale Aktivität nicht linear verläuft. Friston et al. (1996) stellten ferner dazu fest:

„However pure insertion in the context of brain activation experiments is an a priori assumption that has not been validated in any physiological sense.“ (Friston et al. 1996: 97)

Die Annahme der „pure insertion“ wirft einige theoretische Probleme auf. Sie ist schwer zu überprüfen, „*because one would need an independent measure of the preexisting processes in the absence and presence of the new process.*“ (Aguirre & D’Esposito 1999: 372). Würde die „pure insertion“ Hypothese nicht zutreffen, bestünde die Gefahr, dass die beobachtete Aktivierung nicht auf den kognitiven Prozess von Interesse zurückzuführen wäre, sondern die Interaktion zwischen einer bestehenden und einer hinzugekommenen Komponente reflektierte. Abgesehen von diesen theoretischen Erwägungen stellt sich die praktische Frage, wie eine passende Baselinebedingung gefunden werden kann, die alle Komponenten aktiviert mit Ausnahme des Prozesses von Interesse. Es ist nicht auszuschließen, dass ein kognitiver Prozess von Interesse implizit auch in der Kontrollbedingung mitaktiviert wird (Price & Friston 1997).

Kognitive Konjunktion. Durch zwei einflussreiche Artikel (Friston et al. 1996: „The trouble with Cognitive Subtraction“; Price & Friston 1997) setzte sich das Paradigma der „Kognitiven Konjunktion“ durch. Dieses Paradigma sollte Unabhängigkeit von der Kontrollaufgabe schaffen, da keine Kontrollaufgabe exakt den Anforderungen der kognitiven Subtraktion entspricht. Um den Fehler der „pure insertion“ zu umgehen, werden bei der „Kognitiven Konjunktion“ mehrere kognitive Subtraktionen durchgeführt, die alle den Prozess von Interesse beinhalten. Dabei ist nicht notwendig, dass stets eine „perfekte“ Baseline verwendet wird. Auch ist eine serielle Subtraktion nicht mehr notwendig, da jede experimentelle Bedingung eine eigene Baseline hat. Das Ergebnis *einer* kognitiven Subtraktion wird auf diese Weise *mehrfach* repliziert. Bei der Datenanalyse werden die Areale identifiziert, die signifikant konsistente Aktivierungen über alle kognitiven Subtraktionen aufweisen. Voxel, die über die verschiedenen kognitiven Subtraktionen signifikant differieren, werden ausgeschlossen. Es wird davon ausgegangen, dass die konsistenten Aktivierungen für den zu isolierenden kognitiven Prozess stehen (Aguirre & D’Esposito 1999). Die Konjunktion bietet gegenüber der Subtraktion zwei wesentliche Vorteile. Erstens ergibt sich ein größerer Spielraum bei der Auswahl der Kontrollaufgaben, da nicht alle Komponenten der

Aktivierungsaufgabe in der Baseline enthalten sein müssen. Zweitens wird eine Interaktion zwischen hinzugekommenen kognitiven Komponenten nicht mehr geleugnet:

„The reason that cognitive conjunctions do not rely on pure insertion is that the conjunction discounts interaction terms whether they exist or not. Cognitive subtraction on the other hand assumes these interaction terms do not exist.“ (Price & Friston 1997: 262)

Dieses experimentelle Paradigma reduziert einige Fehler der Kognitiven Subtraktion, kann sie aber auch nicht ausschließen (Aguirre & D’Esposito 1999). Insbesondere kann eine mögliche Interaktion nicht als Signal abgebildet werden.

Faktorielles Paradigma. Dies ist anders beim faktoriellen Paradigma. Orientiert an klassischen statistischen Verfahren sollen auch Aktivierungen für den Interaktionsterm isolierbar sein. Das Paradigma folgt dem Prinzip *„das Ganze ist mehr als die Summe seiner Teile“* (nach Aristoteles 384 - 322 v. Chr.). Mindestens zwei Bedingungen werden hier miteinander kombiniert, z.B. die Präsentation eines Bildes und die Präsentation des entsprechenden geschriebenen Wortes. Hieraus ergeben sich vier Kombinationsmöglichkeiten: nur Bild, nur Schrift, Bild & Schrift, kein Bild & keine Schrift. Durch spezifische Faktorkombinationen kann nun der Haupteffekt für die Bedingung Bild bzw. Schrift sowie die Interaktion von Bild und Schrift berechnet werden. Zusätzlich können differentielle Effekte ermittelt werden. Obwohl dieses Paradigma heute zu den meist verwendeten gehört, kann die Annahme der „pure insertion“ auch hier nicht vermieden werden (Aguirre & D’Esposito 1999), insbesondere trifft dies für die Berechnung differentieller Kontraste zu.

Parametrisches Paradigma. In einem parametrischen Paradigma präsentiert der Versuchsleiter Stimuli mit verschiedenen Ausprägungen eines Parameters. Zum Beispiel sollen Wörter gelesen werden, deren schriftliche Frequenz niedrig, mittel oder hoch ist. In der Datenanalyse wird der Zusammenhang zwischen dem MR-Signal und dem Parameterwert identifiziert. Es zeigen sich Aktivierungen, die mit hohen bzw. niedrigen Ausprägungen des Parameters assoziiert sind. Beim parametrischen Design wird die Annahme der Additivität am ehesten vermieden, da allein der Prozess von Interesse variiert wird. Dieses Paradigma ist jedoch nur in ereigniskorrelierten fMRT Studien anwendbar.

Insgesamt ist keines der hier beschriebenen Paradigmen „perfekt“. Die Wahl des Paradigmas hängt wie bereits erwähnt stets von der geplanten Untersuchung und von der Stärke der zu erwartenden Effekte ab. Vor- und Nachteile der einzelnen Paradigmen müssen individuell sorgfältig gegeneinander abgewogen werden.

1.4.2.4 Methoden der Datenakquisition

Die Akquisitionsmethode (Sequenz), die in fMRT Untersuchungen am häufigsten verwendet wird, ist das Echo Planar Imaging (EPI). EPI bietet den Vorteil einer schnellen Datenakquisition bei relativ guter räumlicher Auflösung (ca. 2 mm). Eine Schichtaufnahme des Gehirns, auch Volumen genannt, lässt sich in der Zeit von 1-3 Sekunden akquirieren. Der Nachteil der Methode ist jedoch erstens eine hohe Anfälligkeit für Bewegungsartefakte und zweites das mögliche Auftreten von Verzerrungen in Problemzonen, z.B. in Bereichen, die nah an luftgefüllten Räumen lokalisiert sind, wie der Hippocampus oder die Amygdala. Darüber hinaus bringt die schnelle Messtechnik eine hohe Lärmemission mit sich (Henning 1998). Für jede Hirnaktivierungsstudie werden sowohl T_2 gewichtete funktionelle Aufnahmen (fMRT) des Gehirns über den gesamten Zeitraum eines Experimentes als auch eine T_1 gewichtete anatomische Schichtaufnahme des Gehirns (MRT) benötigt, um eine genaue anatomische Lokalisierung der Aktivierungen zu gewährleisten.

1.4.2.5 Methoden der Datenverarbeitung

Zwei komplexe Verarbeitungsschritte sind zur Auswertung jeder fMRT Untersuchung notwendig, erstens die Vorverarbeitung der Daten und zweitens die statistische Analyse. Verschiedene Computerprogramme sind derzeit in der Lage, funktionell-bildgebende Daten auszuwerten. Die gängigsten Programme sind AFNI (Analysis of Functional Neuroimages; entwickelt von Robert Cox und Kollegen, NIMH Bethesda, USA, <http://afni.nimh.nih.gov/afni/>), Brain Voyager (Rainer Goebel und Kollegen, Max Planck Gesellschaft, Deutschland, <http://www.brainvoyager.de/>) und SPM (Statistical Parametric Mapping; Karl Friston und Kollegen, FIL, London, Großbritannien, <http://www.fil.ion.ucl.ac.uk/spm/software/spm2/>). Ein grober Überblick über die notwendigen Verarbeitungsschritte soll anhand des Statistical Parametric Mapping gegeben werden.

1.4.2.5.1 Vorverarbeitung

Nachdem die Rohdaten auf potentielle Artefakte untersucht worden sind, beginnt die Vorverarbeitung der Daten. Diese beinhaltet vier Verarbeitungsschritte: die Bewegungskorrektur (realignment), die Koregistrierung (coregistering), die Normalisierung (normalizing) und die Glättung (smoothing) der Daten.

Bewegungskorrektur. Funktionelle Daten, die gewöhnlich über einen längeren Zeitraum entstehen, zeigen häufig geringe, durch minimale Bewegungen des Probanden entstandene, räumliche Abweichungen. Daher wird zunächst geschätzt, in welchem Maße ein Versuchsteilnehmer während des Experimentes seinen Kopf bewegt bzw. gedreht hat. Diese räumliche Abweichung im Bezug auf das erste Bild der Zeitserie wird durch 6 Parameter ausgedrückt. Über spezifische mathematische Transformationen (rigid body transformation) werden anschließend alle Bilder der

Zeitreihe auf das erste Bild ausgerichtet. Die Bewegungskorrektur optimiert die statistische Power der Daten durch die Reduktion des Fehlerterms.

Koregistrierung. Wie bereits erwähnt, sind für fMRT Untersuchungen immer zwei verschiedene Datensätze nötig. Zum einen funktionelle, T_2^* gewichtete Bilder, zum anderen strukturelle, T_1 gewichtete Bilder. Die funktionellen Daten, die über eine weniger gute Auflösung verfügen, werden in diesem (optionalen) Arbeitsschritt auf die strukturellen Daten abgebildet, so dass später eine genaue Lokalisation der Hirnaktivierungen möglich ist. Dieser Prozess ist über eine weitere „rigid body transformation“ möglich, bei der die Datensätze in graue und weiße Substanz sowie Liquor segmentiert werden und anschließend miteinander in Übereinstimmung gebracht werden.

Normalisierung. Im Anschluss daran werden die individuellen anatomischen Daten einer Person in einen standardisierten anatomischen Raum transferiert. Dieser Raum ist innerhalb der SPM Software das stereotaktische Koordinatensystem des Montreal Neurological Instituts. Die Normalisierung der Daten ist notwendig, um Datensätze von verschiedenen Personen (mit unterschiedlicher Kopfgröße und anatomischer Struktur) vergleichen zu können. Die stereotaktische Normalisierung bildet die Grundlage für Gruppenuntersuchungen und morphometrische Studien.

Glättung. Das Ziel der Glättung besteht in der Erhöhung der Datenqualität, durch eine Verbesserung des Signal-Rausch-Verhältnisses. Die Daten werden dabei mit einem Gauss Kernel gefaltet. Dadurch verstärkt sich das gewünschte Signal.

1.4.2.5.2 Statistische Analyse

Die statistische Analyse einer Zeitserie funktioneller Bilder beinhaltet die Konstruktion eines passenden mathematischen Modells, das in Übereinstimmung mit dem neurophysiologischen Antwortsignal, in interessante und uninteressante Komponenten sowie einen Fehlerterm unterteilt ist. Diese Komponenten werden in einer Design Matrix spezifiziert. Dafür benötigt das Auswertungsprogramm Informationen über das Paradigma (Anzahl der Bedingungen, Anzahl der Scans, interscan Intervall, Epochenlänge, Art des Paradigmas usw.). Mit dem Allgemeinen Linearen Modell werden die Komponenten der Design Matrix in Form von Parametern geschätzt. Jedes einzelne Voxel (Bildelement) wird mit der t-Statistik überprüft. Es entsteht eine statistisch-parametrische Karte, die Aktivierungsdaten enthält (vgl. Friston et al. 1995; Worsley & Friston 1995).

Auf der Grundlage der statistischen parametrischen Karte können Schlußfolgerungen über regionale Veränderungen des rCBF innerhalb einer Person gezogen werden (vgl. Turner et al.

1998). Das „fixed effects model“ ist die Standardanalyse zur Auswertung von Daten *einer* Person. Sind die Datensätze der einzelnen Probanden individuell auf dem „ersten Level“ („fixed effects model“) analysiert worden, können sie in eine statistische Gruppenanalyse einfließen. Die Gruppenanalyse ist eine so genannte „second level“ Analyse. Sie kann in Form eines „fixed effects model“ oder eines „random effects model“ erfolgen. Beim „fixed effects model“ werden alle MR Signale über die verschiedenen Bedingungen und Personen als Daten von einem Probanden betrachtet. Das heißt, interindividuelle Unterschiede werden nicht berücksichtigt. Die Ergebnisse werden durch eine hohe Anzahl an Freiheitsgraden sehr leicht signifikant und können so das Ergebnis der Untersuchung verzerren. In der Konsequenz erlauben Gruppenanalysen mit dem „fixed effects model“ nur Rückschlüsse über die untersuchte Stichprobe, eine Übertragung der Ergebnisse auf die gesamte Population ist nicht möglich. Gruppenanalysen mit diesem Modell werden häufig bei einer kleinen Stichprobe durchgeführt oder wenn die zu erwartenden Effekten eher klein sind. Bei einer „random effects“ Analyse werden hingegen die Varianz zwischen den einzelnen Versuchspersonen *und* die Varianz innerhalb einer Person berücksichtigt. Die Anzahl der Freiheitsgrade ist weitaus geringer, so dass die Ergebnisse schwerer ein signifikantes Niveau erreichen. Das „random effects model“ erlaubt jedoch Rückschlüsse auf die gesamte Population (Friston et al. 1999a, b).

Über das Setzen von Kontrasten können einzelne experimentelle Bedingungen statistisch verglichen werden. Da SPM eine voxelbasierte Statistik anwendet, d.h. es werden mehrere tausend Tests über einen Datensatz gerechnet, müssen die entstehenden p-Werte für multiple Vergleiche korrigiert werden (z.B. mit der Bonferoni Korrektur). Als Konvention gilt, dass eine größere Stichprobe (etwa $n \geq 8$) mit dem „random effects model“ analysiert wird. Die allgemein akzeptierte Signifikanzschwelle liegt bei $p < 0,05$ (korrigiert für multiple Vergleiche). In Abhängigkeit vom Ziel der Studie oder der Stabilität der zu erwartenden Effekte sind andere Schwellen jedoch zulässig. Liegen begründete anatomische Hypothesen vor, kann z.B. eine „small volume“ Korrektur vorgenommen werden. Dabei wird nicht das gesamte anatomische Volumen sondern nur ein spezifischer, genau definierter Bereich der Korrektur unterzogen (Worsley et al. 1996).

Zur Visualisierung werden signifikante Ergebnisse als farbkodierte Voxel auf ein normalisiertes anatomisches MRT Bild projiziert. Ferner sind sie in Form von Koordinaten in Tabellen abzulesen. Die Identifikation der aktivierten Struktur erfolgt durch Zuhilfenahme von Hirnatlanten (z.B. Talairach & Tournoux 1988).

1.5 Zusammenfassung

In diesem Kapitel wurden unterschiedliche Hirnforschungsverfahren vorgestellt, die in der modernen Neurolinguistik verwendet werden und im Rahmen dieser Dissertation von Bedeutung sind. Die Verfahren unterscheiden sich in vielen Bereichen, insbesondere darin, worüber sie Auskunft geben können. Einige Verfahren erlauben z.B. Rückschlüsse über den zeitlichen Verlauf

von sprachlichen Prozessen, andere eher über die neuroanatomischen Korrelate. Generell ist festzustellen, dass kein Verfahren der Hirnforschung alle Aspekte der Sprachverarbeitung erfassen kann. Nur über kumulative Evidenz aus unterschiedlichen Methoden kann die neurofunktionelle Basis der Sprachverarbeitung aufgedeckt werden.

2 Kognitive und neuroanatomische Modellvorstellungen zum Bildbenennen

In diesem Kapitel soll eine Einführung in bedeutsame kognitive und neuroanatomische Modellvorstellungen zum Bildbenennen gegeben werden. Zunächst wird auf *kognitive* Modelle eingegangen, die den Prozess des Bildbenennens erklären können. Der Schwerpunkt liegt dabei auf den unterschiedlichen Annahmen zum Aufbau des mentalen Lexikons und zum lexikalischen Abruf. Der zweite Teil des Kapitels widmet sich *neuroanatomischen* Modellen des Benennens. Nach einem kurzen Überblick über die Modellvorstellungen des 19. und 20. Jahrhunderts werden die wesentlichsten Erkenntnisse zu neuroanatomischen Korrelaten des Benennens aus heutiger Sicht dargestellt. Dabei werden vor allem Forschungsergebnisse berücksichtigt, die durch moderne Methoden der funktionellen Bildgebung erzielt wurden.

2.1 Kognitive Modelle

Kognitive Modelle der Sprachverarbeitung bilden mentale Prozesse bei der Produktion und/oder Rezeption von Sprache ab. Sie beruhen auf empirischen Daten von sprachgesunden Personen und Patienten mit zentralen Sprachstörungen. In der neuro- und psycholinguistischen Literatur werden hierarchisch-serielle von konnektionistischen Modellen der Sprachverarbeitung unterschieden (für einen Überblick: Nickels 2000).

Hierarchisch-serielle Modelle zeichnen sich durch hochspezialisierte, autonome Verarbeitungseinheiten und Verbindungsrouten aus, die unabhängig voneinander sind. Sie arbeiten nach den Prinzipien der Serialität, der Diskretheit und der Unidirektionalität. Der Informationsfluss verläuft strikt seriell, d.h. alle Verarbeitungsschritte erfolgen nacheinander. Die Verarbeitung auf einer Ebene muss abgeschlossen sein, bevor Verarbeitungsprozesse auf anderen Ebenen erfolgen. Der Aktivierungsfluss verläuft nur in eine Richtung. Eine parallele Informationsverarbeitung oder der Rückfluss von Informationen auf eine frühere Ebene ist ausgeschlossen.

Im Kontrast dazu beruhen konnektionistische Modelle auf netzwerkartigen Verbindungen zwischen verschiedenen Verarbeitungseinheiten, in denen sich Aktivierung parallel ausbreiten kann ("spreading activation"). Neben der parallelen Informationsverarbeitung erlaubt die Struktur eines solchen Modells ferner, dass sich Komponenten des Systems gegenseitig beeinflussen können. Konnektionistische Modelle werden anhand der zugrundeliegenden Informationsverbreitungsmechanismen in interaktive (vgl. Dell 1986, 1988) und Kaskaden-Modelle (vgl. Riddoch & Humphreys 1987; Humphreys et al. 1988; Caramazza 1997; Plaut & Shallice 1993) unterteilt. Während in interaktiven Modellen auch ein Rückfluss der Aktivierung auf frühere Ebenen

("feedback") vorgesehen ist, verläuft die Aktivierung in Kaskaden-Modellen ausschließlich in eine Richtung ("strictly feedforward").

In den nächsten Abschnitten werden drei Modelle vorgestellt, die Rückschlüsse auf Verarbeitungsprozesse beim Bildbenennen erlauben, das Logogenmodell (Morton 1979 a, b, 1980 a, b; Patterson & Shewell 1987; Patterson 1988), das Sprachproduktionsmodell von Levelt et al. (1999; vgl. Levelt 1989, 1999) und das „Independent Network Model“ (IN Modell) von Caramazza (1997). Alle zitierten Modelle machen unterschiedliche Vorhersagen im Bezug auf die Verarbeitung von Nomen und Verben.

2.1.1 Das Logogenmodell

Das Logogenmodell (Morton 1970, 1979a, b, 1980 a, b; Patterson & Shewell 1987; Patterson 1988; für einen Überblick: Stadie et al. 1994) gehört bis heute zu den bedeutendsten kognitiven Modellen der Einzelwortverarbeitung. Es ist ein modulares, seriell arbeitendes Modell, das die Rezeption und Produktion von monomorphematischen Wörtern sowie Nichtwörtern erklären kann. Es basiert auf den Annahmen zur Informationsverarbeitung von Fodor (1983), nach denen kognitive Module hochspezialisiert, schnell, bereichsspezifisch, reflexhaft organisiert, eingekapselt und mit einer spezifischen neuronalen „Hardware“ verbunden sind (vgl. Blanken 1996). In frühen Versionen des Modells wurde zunächst nur die Verarbeitung schriftsprachlicher Stimuli beim Lesen beschrieben. Eine Erweiterung des Modells für die sprachlichen Leistungen Nachsprechen, Schreiben und Bildbenennen erfolgte später. Vorschläge zur Struktur der Subsysteme des Modells wurden u.a. von Coltheart (1978), Forster (1976) und Morton & Patterson (1980) eingebracht. Evidenzen aus neuropsychologischen Studien führten zu einer weiteren Ausdifferenzierung des Modells (u.a. Morton & Patterson 1980; Howard & Franklin 1987). Vorschläge zur lexikalischen Verarbeitung morphologisch komplexer Wörter wurden u.a. von De Bleser & Bayer (1988), Cholewa & De Bleser (1995) und De Bleser et al. (1997) eingebracht.

Das Logogenmodell verfügt über verschiedene Komponenten und Verbindungsrouten. Dabei werden Input- und Output-Systeme sowie Schrift- und Lautsprachsyste me voneinander unterschieden. Im Gegensatz zur Supramodalitätsannahme (Huber et al. 1983) wird davon ausgegangen, dass die Schriftsprache nicht von der gesprochenen Sprache abhängig ist, sondern in einem unabhängigen System verankert ist (vgl. Stadie et al. 1994; De Bleser et al. 1997). Weiterhin werden lexikalische und segmentale Verarbeitungsrouten unterschieden. Die Unabhängigkeit der einzelnen Komponenten und Verbindungsrouten des Modells wurde durch verschiedene Studien zur gesunden und gestörten Sprachverarbeitung belegt (vgl. Stadie et al. 1994).

Die Basis des Modells bildet die Annahme von Logogenen. Unter einem Logogen wird die mentale Repräsentation der spezifischen lexikalischen Informationen eines Wortes verstanden. Diese

Wortform ist ohne korrespondierende semantische Merkmale aktivierbar. Ein Logogen kann erst dann aktiviert werden, wenn sein individuell definierter Schwellenwert erreicht ist. Der individuelle Schwellenwert der Logogene differiert und ist abhängig von der Auftretenshäufigkeit (lexikalische Frequenz) der Items. Die Speicherung der Logogene erfolgt in vier modalitätsspezifischen Lexika, einer Art Langzeitspeicher, die jeweils für die Rezeption und Produktion bestehen (phonologisches Eingangs- und Ausgangslexikon, graphematisches Eingangs- und Ausgangslexikon). Die Bedeutungsstruktur eines Wortes ist, unabhängig von der entsprechenden Wortform, in einem semantischen System gespeichert (De Bleser 1997a). Die Struktur dieses Systems ist bis heute Gegenstand kontroverser Diskussionen, die sich bis in die Arbeiten der klassischen deutschen Aphasologen zurückverfolgen lassen. Während z.B. Wernicke (1886) ein semantisches System annahm, in dem multiple sensorische Gedächtnisinhalte mit auditiven und motorischen Wortrepräsentationen verknüpft waren, ging Kussmaul (1877) von einem einfachen suprasensorischen Konzeptzentrum aus. Bis heute wird debattiert, ob ein amodales oder ein modalitätsspezifisches semantisches System angenommen werden muss (vgl. Warrington 1975; Riddoch et al. 1988; Humphreys & Riddoch 1988; Shallice 1987, 1988a, b, 1993; Caramazza et al. 1990; Hillis et al. 1990, 1995; Rapp et al. 1993). Für das Bildbenennen wurde ein zusätzliches Modul, die Pictogen-Komponente, postuliert (Morton 1985), in der abstrakte Objektrepräsentationen gespeichert sind. Ein "Pictogen" (Seymour 1979) bezeichnet das mentale Abbild der strukturellen Eigenschaften eines Objektes. Es wird durch alle Ansichten desselben Objektes aktiviert. Die Pictogen-Komponente und die Semantik bilden innerhalb des Logogenmodells zusammen das "Kognitive System". Neben den bereits dargestellten Modulen verfügt das Logogenmodell über verschiedene lexikalische und segmentale Verbindungsrouten zwischen den Komponenten. Es werden ferner vier modalitätsspezifische Arbeitsspeicher ("buffer") und jeweils zwei Analysensysteme für auditiven und visuellen Input angenommen.

Das mündliche Objektbenennen kann im Logogenmodell als dreistufiger Prozess erklärt werden (vgl. De Bleser 1997a). Der erste Verarbeitungsschritt besteht im Aufbau einer temporären Repräsentation zur visuellen Analyse eines Objektes. Dabei entsteht eine erste, von der Perspektive des Betrachters abhängige, Objektbeschreibung, die ein entsprechendes Pictogen im kognitiven System aktiviert. Auf dieser Stufe können z.B. Objekt/Nichtobjekt Entscheidungen getroffen werden (Seymour 1979). Das Pictogen aktiviert anschließend eine entsprechende Repräsentation im semantischen System. Semantische Entscheidungen über Objekte, wie z.B. die Beurteilung semantischer Ähnlichkeit, sind auf dieser Ebene möglich (Stadie et al. 1994). Von hier aus erfolgt die Aktivierung eines entsprechenden Logogens im phonologischen oder graphematischen Output Lexikon. Via den phonologischen "output buffer" kommt es zur Objektbenennung.

Kontroverse Positionen werden zur semantischen Beteiligung am Benennen vertreten. Während Seymour (1979) annimmt, dass beim Objektbenennen stets das semantische System durchlaufen werden muss, schlagen andere Autoren analog zur direkt-lexikalischen Route beim Lesen (Schwartz, Saffran & Marin 1980) eine direkte Benennroute unter Umgehung des semantischen Systems vor ("nicht-semantische Benennroute", Kremin 1986; Shuren et al. 1993). Für diese umstrittene Annahme spricht die Beobachtung von Patienten mit gutem Benennen von Objekten und Bildern bei gestörtem semantischem Wissen.

Vorschläge zur Speicherung wortartenspezifischer Informationen im Logogenmodell wurden u.a. von Cholewa & De Bleser (1995), De Bleser et al. (1997) und der Forschungsgruppe um Alfonso Caramazza (Miceli et al. 1988; Caramazza & Hillis 1991; Hillis & Caramazza 1995; Rapp & Caramazza 1998) vorgetragen. Diesen Annahmen zufolge sind Informationen über die Wortkategorie eines Items auf der Ebene der modalitätsspezifischen Lexika repräsentiert. Modalitätsspezifische Leistungsdissoziationen zwischen Nomen und Verben sind mit dem Logogenmodell gut erklärbar (vgl. Abschnitt 3.3.3).

2.1.2 Das Sprachverarbeitungsmodell von Levelt (1999)

Das Modell von Levelt (Levelt 1989, 1999; Levelt et al. 1999) erklärt den Prozess der Sprachproduktion und -rezeption auf der Satzebene. Es steht in der Tradition modularer und serieller Annahmen, wobei sich der Aufbau einzelner Subkomponenten auch konnektionistischer Ansätze bedient. Das Modell enthält auf der Produktionsseite drei seriell verschaltete Komponenten, den „Conceptualizer“, den „Formulator“ und den „Articulator“. Rezeptive und produktive Verarbeitungseinheiten interagieren mit einem zweistufigen Lexikon, das das Kernstück des Levelt'schen Modells ist. Das mentale Lexikon wird in Levelt et al. (1999) als ein konnektionistisches Netzwerk beschrieben, in dem sich Aktivierung über Knoten und Verbindungsrouten ausbreiten kann. Die oberste supramodale Ebene des Netzwerkes beinhaltet Wortbedeutungen, die auch als „lexikalisches Konzept“ bezeichnet werden. Der lexikalische Eintrag ist auf den darunter liegenden Ebenen in zwei unabhängigen Teilkomponenten repräsentiert, der Lemma- und der Lexemebene. Die Lemmaebene ist supramodal angelegt und spezifiziert syntaktische Eigenschaften eines Wortes (z.B. Genus, Wortkategorie, thematische Rollen, Subkategorisierungsrahmen, Argumentstruktur). Ein Lemma enthält somit syntaktische aber auch lexikalisch-semantische Eigenschaften. Die phonologische Form eines „syntaktisch spezifizierten Wortes“ (De Bleser 1997b: 67) ist auf der modalitätsspezifischen Lexem-Ebene repräsentiert. Hier sind sowohl morphologische als auch phonologische Wortmerkmale gespeichert. Levelt et al. gehen von einem dekomponierten Formlexikon aus, in dem lediglich freie und gebundene Morpheme enthalten sind. Diese können auf der Basis von Wortbildungs- und

Formbildungsregeln zu polymorphematischen Wörtern zusammengesetzt werden (vgl. Taft & Forster 1975; Taft 1981).

Die lexikalische Selektion beim Bildbenennen verläuft im Levelt Modell stets über die Konzeptebene. Zunächst wird ein lexikalisches Konzept ausgewählt, das anschließend ein entsprechendes Lemma aktiviert. Dieser Prozess ist als "spreading activation" Mechanismus vorstellbar (Levelt 1989: 211), wobei ein lexikalisches Konzept verwandte Konzepte und dazugehörige Lemmas aktiviert, bis ein entsprechender Lemmaknoten selektiert wird. Levelt et al. (1999) schlagen vor, dass bereits auf dieser Ebene Items mit intendierten syntaktischen Merkmalen (z.B. grammatische Wortkategorie) bevorzugt werden. Diese Annahme setzt voraus, dass ein Aktivierungsrückfluss von der Lemma-Ebene auf die Konzeptebene möglich sein muss. Erst wenn die Selektion des Lemmas abgeschlossen ist, erfolgt die Ansteuerung eines adäquaten, modalitätsspezifischen Lexems. Zur Produktion des Wortes wird anschließend ein phonetischer Plan erstellt, der in artikulatorische Programme überführt wird, so dass eine Benennung erfolgen kann.

Das Levelt-Modell unterscheidet sich in verschiedener Hinsicht vom Logogenmodell. Unter anderem erfolgt die lexikalische Auswahl im Logogenmodell direkt durch semantische Merkmale eines Items. Im Levelt-Modell dagegen kann ein Lexem nur über die Lemma-Ebene aktiviert werden. Der Aktivierungsmechanismus an sich verläuft im Logogenmodell über definierte Schwellenwerte, im Levelt-Modell jedoch über "spreading activation" Mechanismen bzw. für die Auswahl des Lexems über einen "pointer", der vom spezifischen Lemma auf eine entsprechende Formadresse deutet. Während der lexikalische Eintrag im Logogenmodell sowohl morphosyntaktische als auch phonologische bzw. orthographische Komponenten enthält, die in den modalitätsspezifischen Output-Lexika gespeichert sind, ist er im Levelt-Modell in Lemmata (grammatische/semantische Informationen) und Lexeme (phonologische, orthographische, morphologische Informationen) aufgespalten. Die Information über die Wortart eines Items ist auf der supramodalen Lemmaebene gespeichert. Diese Annahme hat weitreichende Konsequenzen für die Erklärung neurolinguistischer Daten zur Nomen- und Verbverarbeitung (siehe Abschnitt 3.3.3), denn das Modell erklärt ausschließlich supramodale Leistungsdissoziationen zwischen Nomen und Verben.

2.1.3 „Independent Network Model (IN)“ nach Caramazza (1997)

Beim „Independent Network Model (IN)“ nach Caramazza (1997) handelt es sich um ein konnektionistisches Modell des Lexikons mit kaskadenartigem Informationsfluss. Dieses Modell stellt einen Versuch dar, syntaktische Merkmale sowohl von der Lemma-Ebene als auch von einem Outputlexikon abzulösen. Dabei verzichtet es auf die Lemma-Ebene als einzigem syntaktischen

Mediator zwischen konzeptueller und lexikalischer Repräsentation. Das IN Modell geht stattdessen davon aus, dass lexikalisches Wissen in unabhängigen Netzwerken organisiert ist, die mit einem modalitätsspezifischen Lexem verknüpft sind (Shapiro et al. 2000: 667). Das Modell besteht aus mehreren Netzwerken. Ein lexikalisch-semantisches Netzwerk repräsentiert die Wortbedeutung (semantische Eigenschaften, Prädikate etc.). Es ist aus einzelnen Merkmalen aufgebaut, die erst zu einem spezifischen Konzept komponiert werden müssen („componential structure“). Syntaktische Merkmale sind in einem lexikalisch-syntaktischen Netzwerk repräsentiert. Innerhalb dieses Systems existieren Subnetzwerke für spezifische syntaktische Funktionen, die sich gegenseitig hemmen (Subnetzwerk für die grammatische Kategorie, das Geschlecht etc.). Das lexikalisch-semantische sowie das lexikalisch-syntaktische Netzwerk sind mit einem Form-Netzwerk verbunden, das aus zwei Subnetzwerken für phonologische bzw. orthographische Outputlexeme besteht. Während der Aktivierungsfluss vom lexikalisch-semantischen zum lexikalisch-syntaktischen Netzwerk eher schwach ist, nimmt Caramazza (1997) starke Aktivierungsflüsse vom lexikalisch-semantischen und lexikalisch-syntaktischen zum modalitätsspezifischen Form-Netzwerk an. Der Aufbau dieses Sprachmodells impliziert, dass:

“... lexical-semantic and grammatical information are independent since we can damage one without affecting the other; and syntactic and word form information are also independent of each other for the same reason.” (Caramazza 1997:203)

Beim Bildbenennen wird nach der visuellen Analyse des Stimulus eine Repräsentation aus dem lexikalisch-semantischen Netzwerk selektiert, diese aktiviert mehrere potentielle Repräsentationen im phonologischen bzw. orthographischen Netzwerk (starke Aktivierung). Gleichzeitig erfolgt eine schwache Aktivierung entsprechender syntaktischer Merkmale im lexikalisch-syntaktischen Netzwerk. Letztere gilt vor allem für syntaktische Merkmale, die einen semantischen Gehalt haben (z.B. grammatische Kategorie). Um eine vollständige Aktivierung der syntaktischen Merkmale zu erreichen, muss zusätzliche Aktivierung aus einem der modalitätsspezifischen Form-Netzwerke in das lexikalisch-syntaktische Netzwerk fließen.

Gegenüber dem Logogen- und Levelt-Modell hat das IN Modell den Vorteil, dass phonologische und syntaktische Informationen unabhängig voneinander zugänglich sind. Caramazza untermauert seine Annahmen vor allem durch Befunde zum „tip of the tongue“ (TOT) Phänomen und kategoriespezifischen grammatischen Störungen, die in unterschiedlicher Weise in den einzelnen Modalitäten auftreten können (vgl. Abschnitt 3.3). Beim TOT Phänomen handelt es sich um eine Störung des Wortabrufes, die bei aphasischen Personen und auch bei gesunden Sprechern auftreten kann. Dabei liegt das intendierte Wort dem Sprecher „auf der Zunge“, ein lexikalischer Abruf ist jedoch nicht möglich. Verschiedene Untersuchungen haben gezeigt, dass im TOT Zustand, sowohl syntaktische als auch phonologisch-prosodische Informationen abgerufen werden können (Miozzo

& Caramazza 1997b; Caramazza & Miozzo 1997). Die Beobachtung von doppelten Dissoziationen (u.a. Miozzo & Caramazza 1997a), wobei entweder syntaktische Informationen abgerufen werden konnten, jedoch nicht phonologische oder vice versa, führte Caramazza zu der Annahme, dass syntaktische und phonologische Merkmale im mentalen Lexikon unabhängig voneinander verankert sein müssen. Das TOT Phänomen kann im Lemma-Modell nicht erklärt werden, da hier beim Abruf von phonologischen Informationen immer auch syntaktische Informationen zugänglich sein müssten (für eine andere Interpretation siehe Roelofs et al. 1998).

Ein weiteres wesentliches Argument für die Unabhängigkeit von phonologischen und syntaktischen Merkmalen ist die Existenz von modalitätsspezifisch variierenden Störungen in der Verarbeitung grammatischer Kategorien. Das IN Modell kann zwei kategoriespezifische Störungsmuster vorhersagen. Bei der Verletzung eines kategoriespezifischen Knotens im lexikalisch-syntaktischen Netzwerk (z.B. für Verben) sollten einerseits supramodale Störungen im mündlichen und schriftlichen Benennen zu beobachten sein. Andererseits könnte die selektive Beschädigung eines modalitätsspezifischen Outputlexikons oder die Störung der Verbindung zwischen einem modalitätsspezifischen Formlexikon und dem syntaktischen Netzwerk zu modalitätsspezifischen Störungen einer Wortkategorie führen. Beide Störungsmuster wurden bislang beobachtet (siehe Kapitel 3.3).

2.2 Neuroanatomische Modelle des Benennens

2.2.1 Modelle des 19. und 20. Jahrhunderts

Die ersten Befunde (vgl. Price 2000), die Rückschlüsse auf neuronale Korrelate des Sprachsystems erlauben, stammen von Broca (1861) und Wernicke (1874). Broca (1861) identifizierte anhand einer post-mortem Untersuchung seines Patienten Leborges eine Region im Fuß der dritten linkshemisphärischen Frontalwindung, später Broca-Areal genannt, die mit motorischen Repräsentationen von Wörtern in Verbindung gebracht wurden. Eine Läsion in dieser Region sollte Broca zufolge für die gestörte Sprachproduktion verantwortlich sein. 1874 untersuchte Wernicke post-mortem einen Patienten, der durch eine Störung des auditiven Sprachverständnisses aufgefallen war. Ursächlich dafür war eine Läsion im linken posterioren superioren Temporallappen, direkt hinter dem primär auditorischen Kortex, später Wernicke-Areal genannt. In diesem Areal vermutete Wernicke die auditiven Repräsentationen der Wörter. Wernicke nahm weiterhin an, dass bei einer Läsion im Fasciculus arcuatus, der als Faserstrang das Broca mit dem Wernicke Areal verbindet, eine spezifische Sprachstörung zu erwarten sei. Dabei sollte bei erhaltenem Sprachverständnis und erhaltener Sprachproduktion das Nachsprechen unmöglich sein (Leitungsaphasie). Aufgrund dieser Beobachtungen und Annahmen entstand ein erstes Modell von der neuronalen Organisation des Sprachsystems. Bereits 1885 berichtete Lichtheim über einen Patienten mit Leitungsaphasie und lieferte so Evidenz für Wernickes Modellvorstellung.

Unterschiedliche Annahmen bestanden hinsichtlich der Modellvorstellungen zum Objektbenennen. So postulierte Kussmaul (1877) ein einfaches Konzeptzentrum für die semantischen Merkmale von Objekten (vgl. De Bleser 1997a). Da in Kussmauls Modell keine direkte Verbindung zwischen diesem Konzeptzentrum und einem Outputsystem vorgesehen war, musste das Benennen über das auditive Wortformsystem verlaufen. Dieser Annahme zufolge sollten alle Sprachverständnisstörungen von Benennstörungen begleitet sein. Charcot (1883a, b) hingegen sprach sich für multiple, sensorisch-basierte semantische Systeme aus (visuell, taktil, auditiv usw.), die getrennt von einem zentralen Konzept System existieren sollten. Ferner führte er direkte Verbindungen zwischen Konzepten und phonologischen sowie graphematischen Outputsystemen ein. So konnte er einerseits modalitätsspezifische Benennstörungen und andererseits Sprachverständnisstörungen ohne Benennstörungen erklären. Wernicke (1886) übernahm zwar die Vorstellung von sensorisch-basierten semantischen Systemen, lehnte aber ein zentrales Konzeptsystem ab. Stattdessen nahm er multiple semantische Systeme an, die jeweils in der Nähe der entsprechenden primär-sensorischen Kortexareale beider Hemisphären (z.B. visuelles semantisches System in der Nähe des primär visuellen Kortex) angesiedelt waren. Die unabhängigen Verbindungen zu den modalitätsspezifischen Outputsystemen wurden beibehalten. Das Objektbenennen und die Spontansprache erforderte nach Wernickes Vorstellung, dass „*the associated bilaterally represented sensory object memories (...) could access the motor phonological output lexicon (...) in the left hemisphere*“ (De Bleser 1997a: 96). Das Modell sagt modalitätsspezifische Benennstörungen vorher, die wenige Jahre später von Freund (1888, 1889: Optische Aphasie) und Redlich (1894, in Wolff 1904: Taktile Aphasie) nachgewiesen wurden.

Weitere frühe Annahmen zur neuroanatomischen Repräsentation der Sprache kommen von Déjerine (1891, 1892). Obwohl sich Déjerine nicht mit dem Benennen von Objekten beschäftigte, sondern mit Störungen der Schriftsprache, identifizierte er dennoch eine Region im linken inferioren Parietallappen, die noch heute (im Rahmen von anderen sprachlichen Verarbeitungsprozessen) als bedeutsam erachtet wird. Er assoziierte den linken G. angularis mit der Repräsentation visueller Wortformen. Für das Lesen waren nach Déjerine mehrere anatomische Regionen relevant: der bilaterale Okzipitallappen (visuelle Wahrnehmung), der G. angularis (visuelle Wortform), das Wernicke-Areal (auditive Wortrepräsentation) und das Broca-Areal (motorische Wortrepräsentation). Dieser Annahme zufolge wird die visuelle Wortrepräsentation zunächst in eine auditive Wortrepräsentation überführt, um dann mit Hilfe der motorischen Wortrepräsentation artikuliert werden zu können (vgl. De Bleser 1997a; Price 2000). Im klinischen Bereich unterschied Déjerine zwei Lesestörungen, Alexie mit und ohne Agraphie. Ursächlich für die Alexie mit Agraphie sei eine Läsion im linken G. angularis. Die reine Alexie hingegen betrachtete er als Diskonnektionssyndrom. Die Störung entstehe durch Läsionen im linken

Okzipitallappen und im Splenium des Corpus callosum, durch die der G. angularis vom visuellen Input abgekoppelt sei.

Im 20. Jahrhundert griff Geschwind (1965) die Annahmen der klassischen deutschen Aphasologen (Wernicke 1874, 1886, 1906; Déjerine 1891, 1892) auf und verschmolz sie auf der Basis von weiteren Fallstudien zu einem Modell, das heute als Wernicke-Geschwind-Modell bekannt ist. Dieses Modell zählte im zweiten Teil des letzten Jahrhunderts zu den einflussreichsten neuroanatomischen Modellen der Sprache. Es besteht aus sieben neuroanatomischen Komponenten der linken Hemisphäre: primär visueller Kortex, G. angularis, primär auditiver Kortex, Wernicke-Areal, Fasciculus arcuatus, Broca-Areal und primär motorischer Kortex. Sprachliche Prozesse laufen in diesem Modell strikt seriell ab. Der Prozess des lauten Lesens z.B. vollzieht sich über die Komponenten primärer visueller Kortex (visuelle Analyse), G. angularis (Dekodierung der visuellen Wortinformation, eine Art abstraktes graphematisches Wortzentrum), Wernicke Areal (Assoziation der dekodierten Wortinformation mit der auditiven Wortinformation - Verständnis), Fasciculus arcuatus, Broca Areal (phonologischer Output), primär motorisches Areal (Aktivierung der Artikulationsmuster). Die Annahmen zum Bildbenennen orientieren sich an Wernickes Vorstellungen.

2.2.2 Modelle des 21. Jahrhunderts

In Modellen des 19. und 20. Jahrhunderts wurden spezifische neuroanatomische Regionen als relevant erachtet, die noch heute zu wichtigen Bestandteilen des Sprachsystems zählen. All diese Erkenntnisse beruhen jedoch auf Läsions-Defizit Studien (für Kritik siehe Abschnitt 1.3) und können daher die neuronale Organisation des Sprachsystems nicht hinreichend erklären. Mit dem Einsatz moderner Hirnforschungsmethoden eröffneten sich neue Perspektiven in der Untersuchung des Sprachsystems. Die neuroanatomischen Modellannahmen des 19. und 20. Jahrhunderts wurden hierdurch verändert und verfeinert, jedoch nicht verworfen. Price (2000), die eine Reihe von bis dato aktuellen fMRT-, PET- und Läsionsstudien zur Sprachverarbeitung in der Arbeit „Neuroanatomy of Language“ zusammengefasst hatte, kam zu folgendem Schluss:

„First, the site that corresponds to the function of Wernicke’s area is the upper bank of the posterior superior temporal sulcus. Second, the critical site for articulatory planning is the anterior insula, not the third frontal convolution (Broca’s Area). Third, the angular gyrus is not specific to visual word forms but is engaged when semantic associations are made. Fourth, the meaning of words is also distributed along the left inferior and middle temporal cortices. Fifth, reading and naming retrieval tasks activate the left posterior inferior temporal lobe. (...) In brief, the only anatomical regions that were missing from the 19th century neurological model were in the inferior temporal cortices, areas that are relatively resistant to the ischaemic damage that the lesion deficit model is dependent upon.” (Price 2000: 355)

Neuere Forschungsergebnisse spezifizieren demnach die Funktion des linken inferioren Frontallappens, korrigieren die Annahmen zum G. angularis und weisen die Bedeutung der inferior

temporalen Kortexgebiete, besonders des basal temporalen Sprachareals (BTLA), für die Sprachverarbeitung nach. Als Erklärung dafür, dass das BTLA in Modellen der Neurologen des 19. Jahrhunderts nicht auftrat, führt Price (2000) an:

„Lesions that selectively take out the left posterior inferior temporal cortex are much rarer because the blood supply to the region comes from both the posterior and middle cerebral arteries thereby protecting it from profound ischaemic damage”. (Price 2000: 347)

Vor dem Hintergrund der neuen Befunde aus der funktionellen Bildgebung schlug Price (2000) ein überarbeitetes neuroanatomisches Modell der Sprachverarbeitung vor (siehe Tab. 1). Diesen Annahmen zufolge sind am Prozess des lauten, mündlichen Objektbenennens folgende Strukturen beteiligt: (1) der G. fusiformis posterior bilateral und G. lingualis bilateral (Bilder sehen); (2) linkshemisphärische Regionen im mittleren posterioren temporalen, im posterioren temporo-parietalen oder anterioren inferioren temporalen Kortex (semantischer Zugriff); (3) der posteriore inferiore temporale Kortex (phonologischer Abruf) und (4) die linke anteriore Insula sowie das frontale Operculum (artikulatorische Planung), (5) der bilaterale sensomotorische Kortex sowie der G. temporalis superior (motorischer Output & auditiver Input bei Hören der eigenen Sprache) beteiligt.

2.3 Zusammenfassung des zweiten Kapitels

In diesem Kapitel wurden verschiedene kognitive und neuroanatomische Modellannahmen vorgestellt, die den Prozess des Bildbenennens erklären können.

Die vorgestellten kognitiven Modelle (Logogenmodell, Levelt-Modell, IN-Modell) unterscheiden sich u.a. im Hinblick auf die Speicherung von grammatischen Kategorien. Sie machen unterschiedliche Vorhersagen über die Störbarkeit von Nomen und Verben im Rahmen aphasischer Störungsbilder (siehe dazu Abschnitt 3.3.3) Während im Logogenmodell eine Repräsentation von Nomen und Verben in den modalitätsspezifischen Lexika angenommen wird, sind Wortartenmerkmale im Levelt-Modell auf einer supramodalen Lemmaebene gespeichert. Das IN-Modell hingegen sieht von einer supramodalen Lemmaebene ab, nimmt aber im Gegensatz zum Logogenmodell unterschiedliche lexikalische Netzwerke an, in denen einerseits semantische und andererseits syntaktische Merkmale repräsentiert sind. In Abhängigkeit vom jeweiligen Modell können so supramodale und/oder modalitätsspezifische Nomen/Verb Dissoziationen erklärt werden.

Neuroanatomische Modellvorstellungen zum Bildbenennen beruhen auf Erkenntnissen aus Läsions-Defizit Studien und funktionell-bildgebenden Studien. Die klassischen neuroanatomischen Modelle des 19. und 20. Jahrhunderts können aus heutiger Sicht überwiegend bestätigt werden, sie wurden jedoch partiell verfeinert, korrigiert und um relevante Kortexareale erweitert. Aus den aktuellen Forschungsergebnissen lassen sich relativ präzise Erwartungen hinsichtlich der

Aktivierungen ableiten, die im Rahmen einer fMRT Studie zum Bildbenennen auftreten sollten (siehe Tabelle 1).

Tabelle 1: Kortikale Aktivierungen für sprachliche Funktionen nach Price (2000)

Sprachliche Funktion	Kortikale Aktivierung
Wörter hören	G. temporalis superior bilateral
Wörter sehen	G. fusiformis posterior bilateral G. lingualis bilateral ggf. L S. temporalis superior posterior
Bilder sehen	G. fusiformis posterior bilateral G. lingualis bilateral
Zugriff zur Wortbedeutung in Abh. von der Art der semantischen Attribute	L mittlerer posteriorer temporaler Kortex L posteriorer temporo-parietaler Kortex L anteriorer inferiorer temporaler Kortex
Phonologischer Abruf beim Benennen (über Semantik)	L posteriorer inferiorer temporaler Kortex (BTLA)
Phonologischer Abruf bei sublexikalischem Sprechen bzw. Lesen (ohne Semantik)	S. temporalis superior posterior bilateral
Artikulatorische Planung	L anteriore Insula L frontales Operculum
Motorischer Output (inkl. Hören der eigenen Sprache)	Sensomotorischer Kortex bilateral G. temporalis superior bilateral

Legende: L = links; G = Gyri; S = Sulcus; BTLA = Basal temporales Sprachareal

3 Aspekte der Nomen- und Verbdissoziation

In diesem Kapitel soll einen Überblick über die Dissoziation von Nomen und Verben aus unterschiedlichen Sichtweisen gegeben werden. Zunächst sollen die wesentlichsten linguistischen Unterschiede der Wortkategorien aufgezeigt werden (für einen Überblick: Langacker 1987; Sasse 1993; Lyons 1995). Im Anschluss daran werden Befunde zur psychologischen Realität der Nomen/Verb Distinktion vorgestellt und diskutiert. Es werden sowohl Daten aus der psycho- als auch aus der neurolinguistischen Forschung berücksichtigt. Der Schwerpunkt des Kapitels liegt auf einer intensiven Auseinandersetzung mit Befunden aus Hirnforschungsstudien.

3.1 Linguistische Aspekte zur Unterscheidung von Nomen und Verben

Die Unterscheidung von Nomen (lat. *Name*) und Verben (lat. *Rede, Wort, Ausspruch*) geht auf die Wortartenlehre des Plato (ca. 429-347 v. Chr.) zurück (Lyons 1995: 11f). Platos Auffassung stimmte jedoch nicht mit dem heutigen Verständnis der Wortkategorien Nomen und Verb überein. Nach seiner Definition fungierte das Nomen als Subjekt einer Aussage, während das „Verbum“ das Prädikat bildete. Dabei fasste Plato Adjektive als Subklasse des Verbs auf (Lyon 1995: 328f). Aristoteles (384-322 v. Chr.) fügte diesen Kategorien eine weitere hinzu: die Konjunktionen. Als Konjunktionen wurden alle Wörter bezeichnet, die nicht den genannten Kategorien angehören. Eine Differenzierung von Nomen, Verben und Adjektiven im Gegensatz zu allen übrigen Wörtern erfolgte erst im Mittelalter (Lyons 1995: 12).

Nach Jung (1984: 165) können Wörter nach unterschiedlichen Kriterien klassifiziert werden. So kommen syntaktische (Funktion im Satz), morphologische (Flektierbarkeit) und begrifflich-kategorielle Merkmale (Referenz) Kriterien in Betracht. Ansätzen der generativen Grammatik zufolge (vgl. Haegeman 1994; Steinitz 1997) werden lexikalische und nicht-lexikalische Wortkategorien unterschieden. Zu den lexikalischen Kategorien zählen Nomen, Verben, Adjektive und Präpositionen. Sie werden definiert durch die Kombination der Merkmale „nominal“ und „verbal“. Dabei sind Verben durch die Merkmale [+V/-N] und Nomen durch die Merkmale [-V/+N] charakterisiert. Diese Unterscheidung eignet sich nicht, um den Unterschied der Wortkategorien hinreichend zu erfassen. Obwohl ein genereller, sprachübergreifender Unterschied zwischen Nomen und Verben von vielen Linguisten angenommen wird, zeigen sich doch in einigen Sprachen massive Probleme mit dieser Unterscheidung (vgl Sasse 1993: 656ff). Um eine linguistische Nomen/Verb Distinktion nachzuweisen, müssen viele weitere Kriterien herangezogen werden. Im Folgenden sollen die wesentlichsten linguistischen Charakteristika von Nomen und

Verben (hier: nur Hauptverben) im Deutschen vorgestellt werden (für einen Überblick: Langacker 1986; Sasse 1993; Maratsos 1990; Black & Chiat 2003; Kauschke 2003).

3.1.1 Semantisch-konzeptuelle und pragmatische Faktoren

Allgemeinen Definitionen zufolge (Kürschner 1993: 143f; Duden, Grammatik, 1995) referieren Nomen auf zeitlich stabile und perzeptiv saliente Entitäten. Sie treten als Konkreta (Objekte, Personen, Tiere, Eigennamen, Substanzen, Gattungsbezeichnungen) oder Abstrakta auf. Konkreta lassen sich in Nomina propria (=Eigennamen) und Appellativa (=Gattungsnamen) unterteilen. Subklassen der Appellativa sind Kollektiva (=Sammelbezeichnungen) und Kontinuativa (=Stoffbezeichnungen). Vorgänge („Sterben“), Zustände („Hass“), Handlungen („Sprung“), Eigenschaften („Mut“), Beziehungen („Verwandschaft“) sowie Maß- und Gewichtsbezeichnungen („Kilometer“) bilden die Gruppe der Abstrakta. Verben hingegen bezeichnen Tätigkeiten, Vorgänge, Zustände oder Handlungen. Sie sind zeitlich eher instabil und können wie Nomen abstrakt oder konkret sein (Kürschner 1993: 107f; Duden, Grammatik 1995). Im Gegensatz zu Nomen präzedieren Verben, d.h. sie stellen Beziehungen zwischen Satzteilen her. Nomen dagegen referieren auf Objekte, die von Verben implizit in Relation zueinander gesetzt werden.

Hinsichtlich der zeitlichen Stabilität erscheinen diese Definitionen unzutreffend, denn es finden sich in der Sprache sowohl zeitlich instabile Nomen („Knall“) als auch zeitlich stabile Verben („bewahren“). Ebenso können Nomen auf temporäre („Pause“) und Verben auf dauerhafte („überragen“) Zustände verweisen (Frawley 1992; Duden, Grammatik 1995; Behrens 1999; Kauschke 2003). Die Gruppe der Nomina actionis stellt eine weitere Abweichung von der Eingangs zitierten Definition dar, denn diese Nomen beziehen sich direkt auf ein Geschehen („Schlaf“, „Reise“). Bereits an diesen wenigen Beispielen zeigt sich, dass der semantisch-pragmatische Unterschied zwischen Nomen und Verben nicht immer eindeutig ist. So reichen auch theoretische Hypothesen zur Distinktion der Kategorien, besonders vor dem Hintergrund cross-linguistischer Befunde, von der Annahme einer eindeutigen Unterscheidbarkeit bis dazu, dass „Nomenhaftigkeit“ und „Verbhaftigkeit“ als Pole einer graduellen Merkmalsskala angesehen werden (vgl. Sasse 1993: 657). Argumente für die letztere Position werden u.a. auch von Ross (1973), Walter (1981) und Maguire et al. (2006) vorgetragen.

Insgesamt herrscht Einigkeit darüber, dass der Zusammenhang zwischen einem Objekt in der Welt und dem sprachlichen Objektkonzept enger ist, als der zwischen einer Handlung in der Welt und dem sprachlichen Verbkonzept (Black & Chiat 2000). Dies scheint daran zu liegen, dass die konzeptuelle Struktur von Verben „freier“ ist, als die von Nomen. Verben sind weniger streng an spezifische Situationen gebunden (Stenzel 1997), sie beziehen sich häufig auf vorübergehende und nicht-greifbare Ereignisse (Behrens 1999), sie bezeichnen relationale Konzepte und sind weniger

gut wahrnehmbar im Vergleich zu Nomen (Gentner 1981, 1982). Diese und weitere Beobachtungen (vgl. Abschnitt 3.2.1) führten Gentner zu der Position, dass Verben insgesamt konzeptuell komplexer sind als Nomen (1981, 1982, vgl. Gentner & Boroditsky 2000).

3.1.2 Syntaktische Faktoren

Die grammatischen Kategorien Nomen und Verb unterscheiden sich deutlich in ihrer Funktion und Distribution auf Satzebene. Während das Verb v.a. als Prädikat fungiert und in vielen flektierenden Sprachen in Kongruenz mit dem Subjekt des Satzes auftritt, erfüllt das Nomen die Funktion des Subjekts, Objekts, einer adverbialen Bestimmung oder eines Attributes. Dabei erscheint es im Deutschen meist zusammen mit einem Artikel (Duden, Grammatik 1995).

Vor dem Hintergrund der generativen Syntaxtheorie bildet die Kategorie der Verben den Kopf der Verbalphrase (vgl. Haegeman 1994), die der Nomen hingegen den Kopf der Nominalphrase. Das Verb lizenziert seine syntaktische Umgebung durch den Subkategorisierungsrahmen und die Argumentstruktur. Der Subkategorisierungsrahmen determiniert die internen Argumente, die zur Konstruktion eines wohlgeformten Satzes notwendig sind. Dabei unterscheiden sich Verben in der Anzahl der Argumente, die sie spezifizieren. Während intransitive Verben („niesen“) kein internes Argument verlangen, benötigen transitive Verben („schneiden“) ein, und ditransitive Verben („legen“) sogar zwei interne Argumente. Die Argumente können aus einer Nominal- oder Präpositionalphrase oder aus einem Satz bestehen (z.B. bei epistemischen Verben: sagen, denken, glauben). Die Argumentstruktur spezifiziert darüber hinaus die Anwesenheit eines externen Arguments, des Subjekts. Das Verb weist allen spezifizierten Argumenten Kasus zu. Auch Nomen können Argumente spezifizieren. Vor allem nominalisierte Verben sind in der Lage Nominal- oder Präpositionalobjekte (z.B. Eroberung + NP; Teilnahme + PP) zu selektieren. Jedoch erfolgt der weit überwiegende Teil der Argumentselektion durch Verben. Das Verb weist seinen Argumenten ferner eine thematische Rolle (Theta-Rollen) zu und gibt dadurch eine spezifische semantische Ausrichtung des jeweiligen Subjekts oder Objekts vor. So muss z.B. der Agents des Verbs „essen“ das semantische Merkmal [+belebt] tragen. Insgesamt kann das Verb aufgrund seiner vielfältigen syntaktischen Funktionen und seiner Wirkung an der Schnittstelle zwischen Syntax, Semantik (Spezifizierung der Theta-Rollen) und Morphologie (Kasusmarkierung) als das wichtigste Element eines Satz betrachtet werden (vgl. Bußmann 1990: 828; Behrens 1999: 33).

3.1.3 Morphologische Faktoren

Sowohl Nomen als auch Verben gehören in flektierenden Sprachen zu den flektierbaren Wortklassen. Flexion bewirkt durch Affigierung und/oder Formveränderung des Wortstammes die Bildung einer spezifischen, syntaktisch bedeutsamen grammatischen Form (vgl. Kürschner 1993: 73ff). Die Flexion im Deutschen ist wortartenspezifisch. So werden Verben konjugiert, um

morphosyntaktisch kongruent zum Subjekt zu sein (Person, Numerus). Das Verb trägt darüber hinaus Markierungen für Tempus, Modus und Genus verbi. Zur Markierung des Kasus werden Nomen dekliniert. Sie tragen daneben Markierungen für Genus und Numerus.

Beide Wortkategorien sind durch Derivation und Komposition morphologisch veränderbar (Lyons 1995). Morphosyntaktische Derivationsprozesse können auch einen Kategoriewechsel verursachen. So reflektieren spezifische Affixe die Nominalisierung eines Verbs bzw. die Verbalisierung eines Nomens („schreiben – Schreibung“, „Pfeffer – pfeffern“; vgl. Sasse 1993: 659).

3.1.4 Zusammenfassung

Dieser Abschnitt hat gezeigt, dass sich deutsche Nomen und Verben auf vielen linguistischen Ebenen fundamental voneinander unterscheiden. Sasse (1993) fasst zusammen:

„To sum up, category-establishing and category-changing morphosyntax in languages with a prototypical N-V distinction is nothing but a grammaticalization of the most central linguistic aspects of their semantic and pragmatic elements.” (Sasse 1993: 660)

Demnach wird von grammatischen Kategorien gesprochen, wenn die offensichtlichen semantischen und pragmatischen Unterschiede der Wortkategorien grammatikalisiert werden. Diese Grammatikalisierung ist im Deutschen besonders stark ausgeprägt und schlägt sich vor allem auf den linguistischen Ebenen Syntax und Morphologie nieder.

3.2 Psycholinguistische Aspekte der Nomen/Verb Verarbeitung

Dieser Abschnitt beleuchtet Unterschiede in der Verarbeitung von Nomen und Verben im Spracherwerb und hinsichtlich der Performanz bei gesunden, erwachsenen sowie älteren Personen. Dabei ist der Fokus auf on- und off-line Befunde zum Bildbenennen gerichtet.

3.2.1 Spracherwerb und gesundes Altern

Eine Standardannahme zum lexikalischen Erwerb von Nomen und Verben war über viele Jahre die „noun-bias“ Hypothese. Danach treten Nomen als erste Wortart im kindlichen Lexikon auf und bilden quantitativ den größten Anteil der Wörter, ferner sind sie einfacher zu erwerben und stehen im kindlichen Wortschatz meist für Objektbezeichnungen (Gentner 1981, 1982; Bates et al. 1994; für einen Überblick: Kauschke 1999, 2000; Bassano 2000). Erwerbsdaten aus verschiedenen Sprachen schienen diese Annahme zu bestätigen, so dass die „noun-bias“ Hypothese zunächst als universell gültig angesehen wurde (u.a. Dromi et al. 1987; Caselli et al. 1995). Gentner (1982) erklärte die Erwerbsreihenfolge mit grundlegenden konzeptuellen Unterschieden zwischen Nomen und Verben („natural partitions hypothesis“). Ihrer Ansicht nach basiert die Differenz auf:

„... a preexisting perceptual-conceptual distinction between concrete concepts such as a person or things and predicative concepts of activity, change-of-state, or causal relations.“ (Gentner 1982: 301)

Gentner untermauerte diese Annahme mit verschiedenen psycholinguistischen Befunden. So seien Nomen leichter zu erinnern, stabiler bei der Übersetzung in andere Sprachen und hätten insgesamt eine enger umrissene Bedeutung als Verben. Nomina entsprächen Objekt-Konzepten, während Verben relationale Konzepte reflektierten. Objekt-Konzepte seien eher kohäsiv. Relationale Konzepte dagegen wären variabler und perzeptiv schwerer zu erfassen, da sie verschiedene Bedeutungselemente beinhalteten. Dies resultiere in einer stabileren Verbindung zwischen Objekten in der Welt und Nomen gegenüber Handlungen in der Welt und Verben (vgl. Abschnitt 3.1.1). Untersuchungen zu spezifischen Sprachentwicklungsstörungen unterstützen diese These, denn die betroffenen Kinder zeigen häufig, wenn auch nicht immer, eine schlechtere Performanz für Verben (Black & Chiat 2000; Marshall 2003). Interessanterweise werden im Rahmen von Spracherwerbsstörungen keine doppelten Dissoziationen in der Nomen- und Verbverarbeitung berichtet, wie es häufig bei erworbenen Sprachstörungen der Fall ist (vgl. Abschnitt 3.3). Ein theoretisches Problem an Gentners Hypothese ist jedoch, dass es erstens sowohl Nomen mit unklar umrissener Bedeutung als auch Verben mit stabilem Zusammenhang zwischen Dingen in der Welt gibt. Zweitens kann nicht direkt von den Dingen in der Welt auf Wortkategorien wie Nomen und Verben geschlossen werden.

Neuere Untersuchungen zur Komposition des kindlichen Lexikons in verschiedenen europäischen Sprachen, wie Französisch (Bassano 2000), Englisch (Gopnik 1988; Davidoff & Masterson 1996), Italienisch (D’Orodoico et al. 2001) oder Deutsch (Kauschke 2000) zeigen, dass die „noun-bias“-Hypothese relativiert werden muss. So wurde nachgewiesen, dass Nomen zwar früher in der spontanen Sprache erscheinen als Verben, jedoch weder stets die ersten spontan verwendeten Wörter sind, noch den größten Anteil im kindlichen Lexikon stellen (Bloom et al. 1993; De Bleser & Kauschke 2003; Kauschke 1999, 2000, 2003). Erwerbsdaten aus dem Mandarin-Chinesischen, dem Tzeltal oder dem Koreanischen (Tardif 1996; Tardif et al. 1997; Choi 1998; Brown 1998) zeigen ein ausgewogenes Verhältnis zwischen Nomen und Verben bzw. sogar einen Verbvorteil (vgl. Kauschke 2003). Bei letzteren Sprachen handelt es sich um verbfinale Sprachen. Dies legt den Schluss nahe, dass die Erwerbsreihenfolge der Wortarten eng an die Eigenschaften der jeweiligen Muttersprache gebunden ist. Dabei sind v.a. Charakteristika, wie Frequenz und Salienz der Wortarten im Input, die grundlegende Verbposition im Satz (verbzweit versus verbfinale Struktur), die Subjekttransparenz (pro drop Parameter) und der pragmatische Fokus bedeutsame Einflussfaktoren (Kauschke 2003). Marshall (2003) betonte außerdem den großen Einfluss der kindgerichteten Sprache („motherese“) auf die Zusammensetzung des kindlichen Lexikons (vgl. Goldfield 2000).

Neben Studien zum kindlichen Lexikon wurde die Nomen/Verb Dissoziation sowohl bei Kindern als auch bei gesunden älteren Menschen mit der Methode des Bildbenennens untersucht (u.a. Davidoff & Masterson 1996; De Bleser & Kauschke 2003; Barresi et al. 2000; Nickolas et al. 1985; Au et al. 1995; Ramsay et al. 1999).

Davidoff & Masterson (1996) untersuchten 316 Kinder im Alter von drei bis fünf Jahren mit einem Bildbenennparadigma. Sie fanden heraus, dass die Kinder ihrer Stichprobe Nomen und transitive Verben zur gleichen Zeit produzieren konnten, während intransitive Verben erst später produziert wurden. Die Autoren leiteten daraus ab, dass zwischen Nomen und Verben kein genereller Unterschied besteht. Den Transitivitätseffekt erklärten sie einerseits mit der höheren Anzahl an Argumenten bei transitiven Verben und andererseits mit der größeren Menge an assoziierten Objekten, die den Erwerb von transitiven Verben unterstützen würden.

Diese Daten stehen im Kontrast zu den Ergebnissen von De Bleser & Kauschke (2003, siehe Abschnitt 6.1 für eine genauere methodische Beschreibung der Studie) für das Deutsche. Die Autoren untersuchten 240 deutsche Kinder, die über 8 Altersgruppen verteilt waren (2;6 – 7;11 Jahren). In allen Altersgruppen wurden Nomen signifikant besser benannt als Verben. Dabei zeigte sich, dass intransitive besser als transitive Verben benannt werden konnten. Dieser Unterschied war im überwiegenden Teil der Altersgruppen signifikant. Innerhalb der Nomen offenbarte sich ferner ein Vorteil für künstliche gegenüber natürlichen Nomen, der in den meisten Altersgruppen ebenfalls signifikant war. In der Kontrollgruppe bestehend aus 35 Erwachsenen (MW Alter 22,5 Jahre) trat hingegen kein signifikanter Effekt zum Vorteil einer Wortklasse auf. Der Nomenvorteil wird innerhalb dieser Studie auf aufgabenspezifische Faktoren zurückgeführt. So vermuten die Autoren, das Handlungsbenennen weniger natürlich ist als Objektbenennen. Für den Transitivitätseffekt in den Daten führen sie keine Erklärung an. Die Daten legen jedoch eine grammatische Interpretation nahe. Intransitive Verben werden eher als transitive Verben erworben, weil sie weniger grammatische Merkmale tragen.

Eine bessere Performanz für künstliche gegenüber natürlichen Objekten wurde in der Literatur häufig beschrieben (u.a. Humphreys et al. 1999, vgl. Snodgrass & McCullough 1986; Lloyd-Jones & Humphreys 1997). Dieses Phänomen ist wahrscheinlich darauf zurückzuführen, dass strukturell ähnliche Objekte einer Kategorie viele gemeinsame visuelle Merkmale tragen (z.B. die Kategorie Tiere: Hund, Katze, Wolf, Fuchs etc.). Die visuelle Diskriminierung dieser ähnlichen Merkmale kann den Benennprozess verlangsamen bzw. fehleranfälliger machen. Im Gegensatz dazu werden Vertreter einer Kategorie mit wenigen strukturellen Ähnlichkeiten schneller und korrekter benannt (z.B. Artefakte: Hut, Leiter, Schlüssel, Schrank, Tisch, Brille etc.).

Quer- und Längsschnittstudien zur Benennungsfähigkeit von Nomen und Verben im Alter (u.a. Nickolas et al. 1985; Au et al. 1986; Ramsay et al. 1999; Baresi et al. 2000) ergaben ebenfalls inkonsistente Befunde. Für den englischen Sprachraum kamen dabei vorrangig der Boston Naming Test (BNT, Kaplan et al. 1976) und der Action Naming Test (ANT, Obler & Albert 1979) zur Anwendung. Die Forschungsergebnisse zeigen, dass die Benennleistung während des gesunden Alterns insgesamt zurückgeht. Wiederholt berichteten Forscher aber robuste Dissoziationen zwischen den Tests (Nickolas et al. 1985; Baresi et al. 2000). Mit fortschreitendem Alter wurden dabei bessere Leistungen für das Benennen von Handlungen im Kontrast zu Objekten erzielt. Einschränkend merkten Mackay et al. (2002) dazu an, dass obgleich der ANT und der BNT formal ähnlich konstruiert sind, die Tests nicht zum direkten Vergleich entworfen wurden. Differenzen in verschiedenen linguistischen Parametern könnten ebenso als Ursache für den Leistungsunterschied verantwortlich sein. Mackey et al. wählten daher ein Subset aus beiden Testinstrumenten aus, das nach der Benennungsgenauigkeit einer Kontrollgruppe gematcht war und untersuchten eine Stichprobe im Alter von 60 bis 88 Jahren. Hierbei konnten sie zwar die Abnahme der Benennleistung mit fortschreitendem Alter bestätigen, jedoch zeigten sich keine Dissoziationen zwischen dem Benennen von Handlungen und Objekten.

Für den deutschen Sprachraum legten De Bleser & Kauschke (2003) Ergebnisse vor, wobei alle 11 älteren Teilnehmer (48-72 Jahre, MW 62,2) im Vergleich zu einer jüngeren Kontrollgruppe signifikant schlechter bei Verben als bei Nomen abschnitten. Innerhalb der Nomen zeigte sich ferner ein signifikanter Vorteil für künstliche gegenüber biologischen Items, während innerhalb der Verben ein signifikanter Vorteil für intransitive Items beobachtet wurde.

3.2.2 Reaktionszeitstudien zum Bildbenennen bei Sprachgesunden

Reaktionszeitstudien zum Benennen von Objektbildern haben eine lange Tradition (für einen Überblick: Bates et al. 2003), nur relativ wenige Studien beschäftigten sich jedoch explizit mit dem Vergleich der Benennlatenzen von Nomen und Verben bei nicht-aphasischen Personen (Cuetos et al. 1999; D'Amico et al. 2002; Vigliocco et al. 2002; Cuetos & Alija 2003; Bogka et al. 2003; Szekely et al. 2005; im Rahmen von fMRT/MEG Studien: Sörös et al. 2003; Tranel et al. 2005). Ergebnisse für andere sprachliche Anforderungen, z.B. lexikalisches Entscheiden, semantisches Kategorisieren oder Wortart-Entscheiden, wurden u.a. von Sereno (1999), Tyler et al. (2001), Perani et al. (1999a), Chiarello et al. (2002), Laudanna et al. (2002) und Tsapkini et al. (2002) vorgelegt.

D'Amico et al. (2002) untersuchten fünfjährige italienische Kinder und junge Erwachsene mit einem Reaktionszeitexperiment zum Benennen von Objekten und Handlungen. Sie fanden, dass sowohl Erwachsene als auch Kinder Handlungen signifikant langsamer benannten als Objekte. Die

genaue Analyse der Daten ergab, dass Verben insgesamt eine niedrigere Benennübereinstimmung aufwiesen als Nomen. Die Variabilität der Benennungen lag darüber hinaus bei Verben wesentlich höher als bei Nomen, weil die Versuchsteilnehmer viele unterschiedliche Varianten produzierten, um das gleiche Ereignis zu beschreiben. D'Amico und Kollegen führten den Verbnachteil in den Reaktionszeiten auf drei Ursachen zurück, die mit den linguistischen Eigenschaften der grammatischen Kategorien Nomen/Verb zusammenhängen, die komplexere unterliegende Struktur der Verben (Nomen referieren auf einfache Einheiten, Verben bilden Prädikate und haben Argumente), die Unterschiede in der zeitlichen Stabilität (Nomen seien eher statisch, Verben eher dynamisch) und eine schwierigere Mapping-Prozedur bei Verben (variablerer Zusammenhang zwischen Event und lexikalischem Item).

Szekely et al (2005) untersuchten 100 gesunde, englischsprachige Erwachsene mit Objektbenennen (n=520 Objektbilder), weitere 50 Personen nahmen an einem Experiment zum Benennen von Handlungen teil (n=275 Handlungsbilder). Neben Benennlatenzen für die Wortklassen wurden auch Einflussfaktoren auf das Benennen ermittelt (vgl. Abschnitt 4.2). Die Autoren stellten fest, dass auch dann, wenn bild- und wortrelationierte Faktoren ausgeschlossen wurden, signifikante Unterschiede zugunsten der Nomen bestanden. Das Benennen von Handlungen erwies sich als konsistent langsamer und fehleranfälliger. Szekely et al. führten dieses Ergebnis auf den komplexeren visuellen Input bei der Abbildung von Handlungen zurück. Besonders bei transitiven Verben würden höhere Ansprüche an das „scene parsing“ gestellt (vgl. Cuetos et al. 1999; Cuetos & Alija 2003 für eine ähnliche Interpretation).

Bogka et al. (2003) untersuchten Benennlatenzen für die griechische und englische Sprache. Ihre Ergebnisse zeigten in beiden Sprachen einen Vorteil für das Objektbenennen unabhängig von Differenzen in der Wortlänge der Items. Die Stimulussets unterschieden sich neben der Wortlänge auch in der Vorstellbarkeit und visuellen Komplexität. Bird et al. (2000a, b, 2001) zufolge ist eine Dissoziation der grammatischen Kategorien auf den Parameter Vorstellbarkeit reduzierbar (vgl. Abschnitt 3.3.3). Chiarello et al. (1999) zeigten für das Englische, dass Nomen durchschnittlich besser vorstellbar sind als Verben. Aus diesem Grund integrierten Bogka et al. die Vorstellbarkeit (und visuelle Komplexität) der Items als Kovariablen in die statistische Analyse, dabei verschwand der Wortklasseneffekt. Die Ergebnisse sprechen somit für einen semantischen Unterschied zwischen Nomen und Verben. Die Autoren zweifeln jedoch die Reduzierbarkeit grammatischer Effekte auf die Vorstellbarkeit an:

„Nevertheless we have argued elsewhere that rated imageability is a little understood measure and while it may be compatible with grammatical class differences, it does not mean that those differences are reducible in their entirety to imageability.“ (Bogka et al. 2003: 393)

Semantische Effekte erklären auch die Daten von Vigliocco et al. (2002). Sie untersuchten den Einfluss der semantischen Distanz auf das Benennen von Objekten und Handlung im Englischen. Die Items jeder Wortklasse wurden auf der Grundlage von Ratings in drei Distanzgruppen eingeteilt: gleiche Distanz, nahe Distanz (z.B. Kleidung [belt] & Körperteile [hand]; Körperbewegungen [run] & Handlungen mit Werkzeugen [cut]) und weite Distanz z.B. (Kleidung [belt] & Fahrzeuge [car]; Handlungen mit Werkzeugen [run] & Handlungen mit dem Mund [eat]). Über alle Distanzgruppen zeigte sich erstens ein stabiler Nomenvorteil, zweitens ein signifikanter Effekt der Distanzgruppen, d.h. Bilder im Kontext von semantisch fernen Items konnten über beide Wortklassen schneller benannt werden, als Bilder im Kontext semantisch naher Items. Die Autoren folgern aus den Daten erstens eine merkmalsbasierte Organisation des semantischen Systems und vertreten zweitens die Auffassung, dass die Wortklassen den gleichen Organisationsprinzipien hinsichtlich der semantischen Distanz unterliegen. Den Nomenvorteil in den Reaktionszeiten führen sie auf semantisch-konzeptuelle Unterschiede zwischen den Wortarten zurück. Sie begründen ihren Standpunkt damit, dass Nomen im Kontrast zu Verben über ein kohäsiveres Konzept verfügen und einer semantischen Kategorie mit klaren Grenzen angehören (vgl. Vinson & Vigliocco 2002).

Gegen einen Nomenvorteil in den Reaktionszeiten beim Bildbenennen sprechen die Daten von Tranel et al. (2005). Die Autoren fanden in den Verhaltensdaten zu einem PET Experiment (vgl. Abschnitt 3.3.4.5) keinen Reaktionszeitunterschied für das Benennen von Objekten und Handlungen. Sörös et al. (2003) hingegen beobachteten in den Verhaltensdaten zu einer MEG Untersuchung sogar einen Reaktionszeitvorteil zugunsten von Verben (vgl. Abschnitt 3.3.4.6).

Studien, in denen andere sprachliche Paradigmen verwendet wurden, führten zu unterschiedlichen Ergebnissen. Kürzere Latenzen für Nomen gegenüber Verben berichteten Sereno (1999) und Tyler et al. (2001) für das lexikalische Entscheiden. Tyler et al. (2001) beobachteten den Nomenvorteil auch beim semantischen Kategorisieren, Sereno (1999) auch beim Entscheiden über die Wortklassenzugehörigkeit. Dem gegenüber zeigten sich bei Perani et al. (1999a) keine Reaktionszeitunterschiede im lexikalischen Entscheiden. Chiarello et al. (2002) fanden inkonsistente Wortarteneffekte über verschiedene Entscheidungsexperimente. Priming Studien von Laudanna et al. (2002) und Tsapkini et al. (2002) richteten sich auf die morphologische Verarbeitung von Nomen und Verben. Die komplexen Ergebnisse der beiden Studien sprechen für unterschiedliche morphologische Verarbeitungsprozesse bei Nomen und Verben, deren Ursprung auf der Ebene der lexikalischen Verarbeitung vermutet wird.

3.2.3 Zusammenfassung der psycholinguistischen Befunde

Insgesamt zeigen die Studien zum Spracherwerb, dass sich über verschiedene Sprachen unterschiedliche Muster hinsichtlich eines Nomen- oder Verbvorteils zeigen. Die strenge Form der „noun-bias“ Hypothese (Gentner 1981, 1982) muss daher abgelehnt werden. Als wichtige Einflussgrößen im Hinblick auf den Erwerb von Nomen oder Verben werden neben semantisch-konzeptuellen Faktoren die linguistische Struktur der Muttersprache, sowie pragmatische und kulturelle Aspekte diskutiert.

Widersprüchliche Befunde hinsichtlich einer wortartenspezifischen Präferenz existieren zum off-line Bildbenennen bei Kindern, Erwachsenen und älteren Personen. In den unterschiedlichen Studien zeigen sich Vorteile für Nomen, für Verben oder keine Differenzen. Fast alle beschriebenen Reaktionszeitstudien zum Bildbenennen wiesen dagegen einen robusten Latenzvorteil für Nomen auf. Weniger eindeutig sind die Ergebnisse von Reaktionszeitstudien zum lexikalischen Entscheiden oder Entscheiden über Wortklassenzugehörigkeit.

Die Gründe für wortartenspezifische Reaktionszeitunterschiede werden kontrovers diskutiert. Ihr Ursprung wird auf der grammatischen (D'Amico et al. 2002), der semantischen (Vigliocco et al. 2002; Vinson & Vigliocco 2002) oder der lexikalischen (Laudanna et al. 2002; Tsapkini et al. 2002) Ebene vermutet. Alternativ werden höhere kognitive Anforderungen spezifisch für das Benennen von Handlungen diskutiert („scene parsing“; Szekeley et al. 2005; vgl. Cuetos et al. 1999; Cuetos & Alija 2003).

3.3 Neurolinguistische Aspekte der Nomen/Verb Distinktion

Die Verarbeitung von Nomen und Verben bildet seit längerem einen bedeutsamen Forschungsschwerpunkt in der kognitiven Neurolinguistik. Ausgangspunkt dafür war die Entdeckung und Beschreibung selektiver Störungen der grammatischen Kategorien im Rahmen von neurogenen Störungen der Sprache. Dabei wurden sowohl Patienten mit selektivem Nomen- als auch Verbvorteil beobachtet. Vereinzelt wurden doppelte Dissoziationen demonstriert. Die Auseinandersetzung mit den unterschiedlichen Leistungsmustern führte zu einer intensiven Diskussion einerseits um die Struktur des mentalen Lexikons und andererseits um neuronale Korrelate der Wortkategorien (für einen Überblick über aphasische Nomen/Verb Dissoziationen: Gainotti et al. 1995, 1998; Hollstein 1999; Druks 2002; Marshall 2003; Laiacona & Caramazza 2004). Zur Erforschung der zugrundeliegenden kognitiven und neuronalen Mechanismen der lexikalischen Verarbeitung wurden unterschiedliche Untersuchungsmethoden eingesetzt. Zunächst standen Verhaltensstudien im Vordergrund, in denen selektive Nomen/Verb Störungen beschrieben und analysiert wurden. Mit der Entwicklung strukturell-bildgebender Verfahren, wie CT und MRT rückte der Fokus zunehmend auf neuronale Korrelate des Defizits. Im Rahmen von Läsions-Defizit

Studien stand nun die Frage im Zentrum, ob die Verarbeitung der Wortkategorien an bestimmte kortikale Strukturen gebunden ist und ob diese Strukturen wortartenspezifisch sind. Neuere Untersuchungen widmen sich eher ungestörten Sprachverarbeitungsmechanismen. Mit Hilfe von elektrophysiologischen (ERP, EEG, MEG, rTMS) und funktionell-bildgebenden (PET, fMRT) Verfahren wurden und werden überwiegend größere Personengruppen untersucht, um Aufschluss über neuronale Prozesse bei der Verarbeitung von Nomen und Verben zu erhalten. In den folgenden Abschnitten soll der Stand der neurolinguistischen Forschung zum Thema gesunde und gestörte Nomen- und Verbverarbeitung in den wesentlichsten Aspekten dargestellt werden.

3.3.1 Allgemeine Charakteristika selektiver Nomen/Verb Störungen

Erste Dokumentationen von Nomen/Verb Dissoziationen gehen auf das 18. Jahrhundert zurück (Denes & Dalla Barba 1998; Östberg 2003). Der neapolitanische Philosoph G.B. Vico (zitiert nach Denes & Dalla Barba 1998) beschrieb 1744 einen Patienten, der nach einem apoplektischen Insult eine selektive Verbproduktionsstörung zeigte. Ein Jahr später, 1745, berichtete der Schwede Carl Linnaeus (zitiert nach Östberg 2003) den Fall eines neurologischen Patienten mit selektiver Störung für Nomen und Eigennamen. Trotz der wissenschaftlichen Veröffentlichung dieser Phänome blieben selektive Nomen/Verb Dissoziationen vorerst unbeachtet. Erst in den sechziger Jahren des 20. Jahrhunderts wurden sie wiederentdeckt. Dissoziationen zwischen Nomen und Verben wurden zunächst in der Spontansprache bei Agrammatismus und Anomie beobachtet und in erster Linie als syntaktisches Defizit interpretiert (Chen & Bates 1998), denn im Mittelpunkt des damaligen Forschungsinteresses standen das Verb und seine syntaktische Funktion. Selektive Störungen der Nomen wurden als nicht-syntaktisches Phänomen eher wenig beachtet. Unterstützung fand diese Annahme durch die relativ konsistente Beobachtung, dass agrammatische Patienten weniger Verben, anomische Patienten dagegen weniger Nomen produzieren (Goodglass et al. 1966; Myerson & Goodglass 1972; Miceli et al. 1984, 1988; McCarthy & Warrington 1985; Bates et al. 1991; Daniele et al. 1994; Zingeser & Berndt 1988, 1990; vgl. Druks 2002: 289f).

In den späten achziger Jahren ging die Forschung dazu über, die Nomen/Verb Dissoziation als lexikalisches Problem zu begreifen. Leistungsdissoziationen für Nomen und Verben wurden gezielt experimentell überprüft. Die Untersuchungen erstreckten sich über unterschiedliche sprachliche Modalitäten und Leistungen (z.B. mündliches und schriftliches Benennen, Wort-Bild zuordnen, Lesen, Schreiben nach Diktat usw.). Im Zentrum stand nun die Frage, ob die Wortarten sich in ihrer Verfügbarkeit unterscheiden und ob ein Zusammenhang zwischen der Störungsausprägung, dem Aphasiesyndrom oder der zugrunde liegenden Läsion vorhanden ist (Druks 2002). Empirische Studien konnten keinen eindeutigen Zusammenhang zwischen der selektiven Störung einer lexikalischen Kategorie und einem spezifischen Aphasiesyndrom (Broca- bzw. Wernicke-Aphasie) nachweisen. Mehrere Studien belegten stattdessen, dass weder zwischen einem Verbdefizit und

Agrammatismus noch zwischen einem Nomendefizit und Anomie ein stabiler Zusammenhang besteht. Darüber hinaus führen weder Agrammatismus noch eine Anomie zwangsläufig zu selektiven Störungen für eine Wortkategorie (u.a. Williams & Canter 1987; Basso et al. 1990; Berndt et al. 1997a, b; Luzzatti et al. 2002).

Einen empirischen Beitrag zur Erforschung des aphasischen Nomen/Verb Defizits haben Luzzatti et al. (2002) geleistet. Sie führten eine umfangreiche Studie mit 58 flüssigen und nicht-flüssigen aphasischen Patienten durch, die an einem Experiment zum Benennen von Handlungen und Objekten teilnahmen. Das Stimulusmaterial war ausbalanciert hinsichtlich der Subgruppen von Nomen (natürliche Items/Artefakte) und Verben (Transitivität bzw. Ergativität) sowie kontrolliert auf die Parameter Erwerbsalter und Vertrautheit. Die lexikalische Frequenz der Verben war gegenüber Nomen leicht erhöht, der Parameter Vorstellbarkeit unterschied sich signifikant zwischen den grammatischen Kategorien. Es wurden nur Stimulusbilder eingeschlossen, die eine Benennübereinstimmung von >95% erreichten. Die Autoren fanden über alle Patienten häufiger selektive Defizite bei Verben im Vergleich zu Nomen (Verben 34%, Nomen 10%). Etwa ein Fünftel der Fälle blieben signifikant, wenn die nicht gematchten Parameter Frequenz und Vorstellbarkeit statistisch berücksichtigt wurden. Bessere Leistungen für Nomen zeigten sich bei fünf von sechs agrammatischen Patienten. Kein agrammatischer Patient wies einen Verbvorteil auf. Bei flüssigen Patienten traten beide Störungsmuster auf (n=9 für Verbdefizite, n=6 für Nomendefizite). Dabei waren Nomenvorteile mit Wernicke-Aphasie und Verbvorteile mit anomischen Patienten assoziiert. Die Autoren stellten ferner fest, dass ein Verbvorteil mit der lexikalischen Frequenz, ein Nomenvorteil hingegen mit der Vorstellbarkeit interagierte.

Aus der Literatur zu selektiven Störungen der Wortkategorien kann insgesamt abgeleitet werden, dass über alle Aphasiker wesentlich häufiger Defizite bei Verben zu beobachten sind (u.a. Jonkers 1998; Hollstein 1999; Kemmerer & Tranel 2000; Luzzatti et al. 2002). Daneben zeigen sich jedoch auch selektive Defizite bei Nomen (Miceli et al. 1984, 1988; Miozzo et al. 1994; Berndt et al. 1997a, b) bzw. vergleichbare Leistungen für die Wortkategorien (Berndt et al. 1997a). Obwohl eine Leistungsdifferenz nicht zwingend an ein aphasisches Syndrom gebunden ist, besteht eine Tendenz dazu, dass unflüssige Patienten häufiger ein Verbdefizit aufweisen (u.a. Miceli et al. 1984, 1988; Berndt et al. 1997a, b; Chen & Bates 1998; Luzzatti et al. 2002). Dennoch treten Verbdefizite nicht nur bei unflüssigen Patienten auf, im Gegenteil, auch bei flüssigen Patienten können selektiv beeinträchtigte Leistungen für Verben festgestellt werden (Berndt et al. 1997a, b; Jonkers & Bastiaanse 1998; Bastiaanse & Jonkers 1998; Luzzatti et al. 2002). Insgesamt zeigt sich bei flüssigen Patienten eine höhere Variabilität der Leistungsmuster (Basso et al. 1990, Luzzatti et al. 2002).

3.3.2 Störungsprofile

Selektive Störungen der Nomen/Verb Verarbeitung können unterschiedliche Profile aufweisen. Die Art des Störungsprofils gibt Hinweise auf die funktionale Lokalisation der Nomen/Verb Dissoziation (für einen Überblick über Fallbeispiele: Druks 2002; Marshall 2003; Hollstein 1999). So wurden erstens Dissoziationen geschildert, die sich auf alle sprachlichen Modalitäten und Leistungen erstreckten. Dissoziationen dieser Art werden nachfolgend als „supramodales Störungsprofil“ bezeichnet. Die erste Beschreibung eines Patienten mit supramodalem Störungsprofil stammt von McCarthy & Warrington (1985). Ihr agrammatischer Patient ROX erzielte sowohl in produktiven als auch in rezeptiven Aufgaben (Benennen, Wort-Bild zuordnen) signifikant schlechtere Leistungen für Verben. Die qualitative Fehleranalyse ergab, dass anstelle des Zielverbs häufig Kombinationen aus Kopula und Nomen bzw. semantische Paraphrasen produziert wurden. Ähnliches berichteten Miceli et al. (1988) über die agrammatischen Patienten FDP und CS. Beide Patienten wiesen ein Verbdefizit auf, das sich sowohl in der Produktion als auch, jedoch weniger stark ausgeprägt, im Sprachverständnis zeigte. Der Patient AA (Miceli et al. 1988) mit einer flüssigen Aphasie nach Herpes Enzephalitis und bilateraler Temporallappenläsion zeigte hingegen ein ausgeprägtes Defizit bei Nomen rezeptiv wie produktiv. Auch Daniele et al. (1994, Patient GP) und Silveri & Di Betta (1997, Patient DA) berichteten über selektive Beeinträchtigungen bei Nomen, die sich auf die In- und Outputmodalität erstreckten. Supramodale Leistungsmuster sprechen für die Störung einer zentralen, supramodalen Komponente des Sprachsystems. Dies kann in Abhängigkeit von der zugrunde liegenden Modellvorstellung z.B. das semantische System oder die Lemma-Ebene (Levelt et al. 1989) sein.

Im Kontrast dazu wurden Patienten beschrieben, bei denen sich die Leistungsdissoziation nur in spezifischen sprachlichen Modalitäten zeigte, bzw. in unterschiedlicher, zum Teil sogar in entgegengesetzter Ausprägung über die Modalitäten erstreckte. Diese Art der Dissoziation soll unter der Bezeichnung „modalitätsspezifisches Störungsprofil“ zusammengefasst werden. Hierbei dominieren Leistungsmuster, bei denen das Nomen-Verb-Defizit zwischen der Input- und Outputmodalität (u.a. Miceli et al. 1988; Kremin 1994; Miozzo et al. 1994; DeRenzi & di Pellegrino 1995; Orpwood & Warrington 1995; Berndt et al. 1997a b; Silveri & Di Betta 1997; Breedin et al. 1998) oder zwischen der phonologischen und graphematischen Modalität (u.a. Caramazza und Hillis 1991; Hillis & Caramazza 1995; Berndt et al. 1997a; Rapp & Caramazza 1998; Shapiro et al. 2000; vgl. Zingeser & Berndt 1988) dissoziierte.

Eindrucksvolle Evidenz für ein modalitätsspezifisches Störungsprofil, das Dissoziationen zwischen dem phonologischen und graphematischen Outputsystemen aufweist, liefert die Studie von Caramazza und Hillis (1991). Die Patientinnen SJD (flüssige Aphasie, Tiefenagraphie) und HW (flüssige Aphasie, Tiefendyslexie) zeigten beide einen signifikanten Vorteil für Nomen bei gut

erhaltenem auditiven und visuellen Sprachverständnis. SJD zeigte im schriftlichen Benennen ein signifikantes Verbdefizit bei guten Leistungen im mündlichen Benennen für beide Kategorien. HW hingegen las und benannte Verben signifikant schlechter als Nomen, während sie sehr gute Leistungen im schriftlichen Benennen und Schreiben nach Diktat erzielte. Die Autoren interpretierten diese doppelte Dissoziation als Evidenz für eine wortartenspezifische Organisation auf der Ebene der lexikalischen Ausgangslexika. Sie schlugen vor, dass sowohl phonologische als auch orthographische Repräsentationen in den Outputlexika nach grammatischen Kategorien strukturiert sind. Auch die Daten von Rapp & Caramazza (1998) unterstützen diese Annahme. Das Sprachverständnis des Patienten PW war in beiden Modalitäten und für beide Wortkategorien unbeeinträchtigt, ebenso war das mündliche Benennen von Nomen und Verben vergleichbar gestört. Im schriftlichen Benennen trat jedoch ein herausragendes Verbdefizit auf. Die Autoren erklären die Daten mit einem gestörten Zugriff auf die Outputlexika, wobei besonders das graphematische Outputlexikon betroffen sei.

Fallbeschreibungen, bei denen die kategoriespezifische Störung zwischen den In- und Outputsystemen in entgegengesetzter Weise dissoziiert, finden sich u.a. bei Hillis & Caramazza (1995) und Shapiro et al. (2000). Bei der Patientin EBA (Hillis & Caramazza 1995) konnte ein hochkomplexes Störungsbild festgestellt werden. Während sie im phonologischen Output einen Vorteil für Verben zeigte, konnte für den graphematischen Input ein Nomenvorteil beobachtet werden. Das auditive Sprachverständnis wies hingegen keine kategoriespezifischen Beeinträchtigungen auf. Diese Daten unterstützen die Annahme von modalitätsspezifischen, nach grammatischen Kategorien organisierten Lexika (Hillis & Caramazza 1995). Die Leistungen des Patienten JR (Shapiro et al. 2000) waren beim mündlichen Benennen, Satzvervollständigen und Satzgenerieren durch einen signifikanten Verbvorteil gekennzeichnet, während sich beim visuellen Synonymieentscheiden (vgl. Breedin et al. 1994) ein signifikanter Vorteil für Nomen zeigte. In produktiven und rezeptiven Leistungen zeigte sich ferner ein Konkretheitseffekt bei Nomen. Da der Patient auch in der Pluralbildung bei Nomen und Pseudonomen stärker beeinträchtigt erschien als beim Bilden der 3. Person Singular bei homonymen Verben und Pseudoverben, nahmen die Autoren als Störungsursache eine Zugriffstörung auf die syntaktischen Informationen über Nomen an. Eine Störung auf der Ebene der Lexika wurde aufgrund der Leistungen im Affigierungsexperiment zurückgewiesen. Nach Modellvorstellungen, bei denen die Lexika nach morphologischen Aspekten organisiert sind (vgl. Cholewa & De Bleser 1995; De Bleser et al. 1997), wäre jedoch eine Lokalisation der Störungsursache auf lexikalischer Ebene ebenso möglich, da Pluralbildung in diesem Kontext als lexikalische nicht aber als syntaktische Leistung aufgefasst wird.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass nur eine systematische, individuelle Analyse der sprachlichen Leistungen die Zuordnung zu einem Störungsprofil erlaubt. Trotz sorgfältiger Analysen, kann die funktionelle Störungsursache jedoch oftmals nicht eindeutig identifiziert werden. Dies ist zum einen darin begründet, dass die Patienten ein sehr individuelles Störungsmuster zeigen und ihre Leistungen von unterschiedlichen Parametern (Frequenz, Konkretheit, Bildhaftigkeit etc.) in unterschiedlicher Weise beeinflusst werden. Zum anderen stellt sich die Frage, ob die verfügbaren Tests genügend sensitiv zur Aufdeckung aller Effekte sind.

3.3.3 Funktionelle Lokalisation und Kompatibilität mit Sprachverarbeitungsmodellen

Eine genaue Analyse der Fehlermuster des Patienten kann Hinweise darauf geben, auf welcher linguistischen Ebene der funktionelle Ursprung einer selektiven Nomen/Verb Störung angenommen werden kann. In Bezug auf die linguistischen Ebenen konkurrieren derzeit vier Erklärungsansätze: der konzeptuell-semantische Ansatz, der syntaktische Ansatz, der morphologische Ansatz und der lexikalische Ansatz (vgl. Chen & Bates 1998; Laiacona & Caramazza 2004). Generell sprechen semantische Paraphasien und visuell-semantische Fehlreaktionen für einen semantischen Störungslokalus. Das Auftreten von Frequenzeffekten signalisiert dagegen einen lexikalischen Störungsursprung. Ersetzungen durch Wörter der jeweils anderen Wortart (Nomen durch Verb, Verb durch Nomen) und morphologische Fehler sind auf der morphosyntaktischen Ebene anzusiedeln.

Nach dem *konzeptuell-semantischen Ansatz* beruht ein Nomen- bzw. Verbdefizit auf dem selektiven Verlust wortartenspezifischer Merkmale im semantischen System (McCarthy & Warrington 1985; Daniele et al. 1994; vgl. Breedin et al. 1994; Gainotti et al. 1995; Marshall et al. 1996a, b; Robinson et al. 1996; Bak & Hodges 1997; Teixeira Ferreira et al. 1997). Es wird davon ausgegangen, dass der Unterschied zwischen Nomen und Verben auf einen semantischen Unterschied zwischen Objekten und Handlungen zurückzuführen ist. Herausragende Probleme beim Abruf von Verben werden nach dieser Annahme mit größeren Schwierigkeiten bei der Aktivierung der komplexen semantischen Kernmerkmale von Verben (Art und Richtung der Bewegung, Einbeziehen von Instrumenten, funktionell-assoziative Merkmale etc.) erklärt. Selektive Probleme bei der Verarbeitung von Nomen dagegen entstünden durch ein Defizit bei der Aktivierung perzeptiver Merkmale (Marshall et al. 1996a, b). Neuroanatomische Evidenz für diese Annahme lieferten u.a. Petersen et al. (1988) und Pulvermüller et al. (1996). Die Autoren vermuteten, dass Verben eher mit motorischen und Nomen eher mit sensorischen Merkmalen in Verbindung stehen. Ihre Studien zeigten, dass lexikalische Einträge mit motorischen Eigenschaften eher in anterioren kortikalen Regionen (nahe des motorischen Kortex) verarbeitet werden, während Items mit sensorischen Eigenschaften eher in posterioren Arealen repräsentiert sind (nahe des temporo-okzipitalen Kortex).

Wird ein konzeptuell-semantischer Störungslokus vermutet, sollten stets supramodale Störungsmuster zu beobachten sein, da eine Störung der Semantik sowohl Verständnis- als auch Produktionsdefizite in der phonologischen und graphematischen Modalität zur Folge hat. Modalitätsspezifische Nomen/Verb Dissoziationen sprechen daher gegen einen konzeptuell-semantischen Störungslokus.

Auch Bird et al. (2000a, b, 2001) erklärten Wortklasseneffekte bei Nomen und Verben als semantisches Phänomen. Sie vertraten die Ansicht, dass vermeintliche Nomen/Verb Dissoziationen auf Effekte der Vorstellbarkeit (imageability) reduziert werden können. Leistungsunterschiede zwischen den grammatischen Kategorien seien damit Artefakte, die auf eine mangelhafte Kontrolle dieser Variable zurückzuführen sind. Bird und Kollegen definierten Vorstellbarkeit als die Gesamtmenge der Merkmale, die die semantische Repräsentation eines Wortes bilden. Wörter mit vielen Merkmalen seien besser vorstellbar als Wörter mit wenigen Merkmalen. Wahre Wortklasseneffekte beruhen den Autoren zufolge auf selektiven Störungen der bereits erwähnten perzeptiven bzw. funktionell-assoziativen Merkmale. Damit griffen Bird et al. eine theoretische Dichotomie auf, die bereits zur Erklärung von kategoriespezifischen Störungen bei belebten versus nicht-belebten Nomen herangezogen wurde (Warrington & Shallice 1984; McCarthy & Warrington 1988). Sie schlugen vor, dass eine selektive Störung bei Verben mit einer Störung von Artefakt-Nomen einhergehen müsse, da beide Kategorien vorrangig durch funktionell/assoziative Merkmale definiert seien. Belebte Nomen hingegen trügen vorwiegend perzeptive Merkmale. Obwohl die Autoren wenig empirische Evidenz für ihre Annahmen vorlegten, vertraten sie die Auffassung, dass es Patienten geben müsse, deren Verbdefizit aufgrund gestörter funktioneller Merkmale sowie geringerer Vorstellbarkeit auftritt. Solange konkrete Nomen stets besser vorstellbar sind als konkrete Verben und ein Matching dieser Variable praktisch unmöglich ist, kann dieses Argument nur schwer empirisch widerlegt werden.

Berndt et al. (2002) stellten Patienten vor, deren Performanz zwar beim Lesen und Satzvervollständigen von der Vorstellbarkeit beeinflusst war, die jedoch nicht notwendigerweise ein Verbdefizit zeigten. Die Autoren sprachen sich dafür aus, dass Vorstellbarkeit und Wortklasse unabhängige Faktoren sind, die die sprachliche Leistung beeinflussen können (vgl. Druks 2002). Wie in den Abschnitten 3.1 und 3.2 gezeigt wurde, bestehen neben der differierenden Vorstellbarkeit aus linguistischer und psycholinguistischer Sicht viele weitere distinktive Eigenschaften der grammatischen Kategorien, so dass es problematisch ist, den Wortklassenunterschied auf ein einziges Merkmal zu reduzieren. Weitere Forschungsbemühungen sind an dieser Stelle notwendig, um empirische Belege gegen Bird et al.'s These zu erbringen.

Der *syntaktische Ansatz* (Saffran et al. 1980; Saffran 1982) erklärt in erster Linie das Verbdefizit bei Broca-Aphasikern. Dabei wird die Nomen/Verb Dissoziation auf die größere syntaktische Komplexität von Verben zurückgeführt. Demnach sollten Broca Aphasiker auch größere Schwierigkeiten bei transitiven verglichen mit intransitiven Verben haben. Diese Vorhersage konnte jedoch noch nicht konsistent nachgewiesen werden (vgl. Jonkers 1999; Jonkers & Bastiaanse 1996, 1998; Thompson et al. 1997; De Bleser & Kauschke 2003;). Friedmann (2000) vertrat alternativ die Position, dass ein selektives Verbdefizit auf der Unfähigkeit des agrammatischen Patienten basiert, ein Verb an die korrekte Satzposition zu bewegen und es korrekt zu flektieren. Berechtigte Einwände gegen den syntaktischen Ansatz wurden von Chen & Bates (1998) vorgetragen. Die Autoren kritisierten, dass im Rahmen dieses Ansatzes nur das Verbdefizit bei unflüssigen, agrammatischen Patienten erklärt werden kann, während ein selektives Nomen/Verbdefizit bei flüssigen, nicht-agrammatischen Patienten unberücksichtigt bleibt (vgl. Berndt et al. 1997b; Marshall et al. 1998).

Der *morphologische Erklärungsansatz* (vgl. Caramazza & Berndt 1985; Saffran et al. 1980; Saffran 1982; Chen & Bates 1998) führt selektive Defizite für Verben darauf zurück, dass Verben morphologisch stärker markiert sind als Nomen. Das Auftreten von Defiziten bei Nomen kann jedoch auch innerhalb dieser Annahme nicht erklärt werden. Ferner gilt der morphologische Ansatz nur für Sprachen, in denen Verben morphologisch stärker markiert sind als Nomen, z.B. für das Deutsche, Englische oder Italienische. Im Ungarischen z.B. sind Nomen und Verben etwa gleich stark markiert, während im Chinesischen z.T. keine Flektionsmorpheme bei beiden Wortkategorien auftreten (Chen & Bates 1998). Sowohl für das Ungarische (Osmán-Sági 1987) als auch für das Chinesische (Bates et al. 1991) konnten dennoch doppelte Nomen/Verb Dissoziationen demonstriert werden. Der morphologische Erklärungsansatz kann daher nicht allein zur Erklärung von Wortklassenunterschieden herangezogen werden.

Der *lexikalische Erklärungsansatz* sieht die Ursache für eine Nomen/Verb Dissoziation in einer Verarbeitungsstörung, die ausschließlich das mentale Lexikon betrifft (Miceli et al. 1984). Fallberichte von Patienten mit Nomen/Verb Dissoziationen, die nur in der Produktion, nicht aber im Verständnis (Miceli et al. 1988) oder nur in der mündlichen, nicht aber in der schriftlichen Modalität auftreten (Caramazza & Hillis 1991; Hillis & Caramazza 1995; Rapp & Caramazza 1997), führten zur Annahme von separaten, nach grammatischen Kategorien organisierten Lexika für jede Modalität. Informationen über die Wortklassen sind dieser Annahme zufolge in den modalitätsspezifischen Lexika, die in verschiedenen Kortexarealen lokalisiert sind (Shapiro & Caramazza 2001a, b), redundant gespeichert und daher auch selektiv störfähig. Dieser Ansatz ist gut belegt und kann vor allem kategorie-spezifische Störungen erklären, bei denen der Patient keine Defizite im semantischen Wissen aufweist.

Wie sind die beobachteten Störungsbilder nun mit Modellen der Sprachverarbeitung in Einklang zu bringen? Im *Levelt-Modell* ist eine Nomen/Verb Dissoziation auf der konzeptuell-semantischen Ebene eher schlecht zu erklären, da auf dieser Ebene noch keine Wortartinformation abgerufen wird. Nach Levelt et al. (1989) werden zwar bereits auf dieser Ebene Items mit den intendierten syntaktischen Merkmalen (z.B. grammatische Wortkategorie) „vorgewärmt“, jedoch ist eine vollständige Aktivierung nominaler und verbaler Eigenschaften noch nicht erfolgt. Alternativ müsste die „sensory/functional“ Theorie (Warrington & Shallice 1984; McCarthy & Warrington 1988) zur Erklärung herangezogen werden. Dann aber wären Leistungsdissoziationen nur für konkrete Items erwartbar, da abstrakte Items weder ausgeprägte funktionelle noch sensorische Eigenschaften haben. Hollstein (1999) bemerkt dazu, dass eine Zugriffstörung auf bestimmte konzeptuell-semantische Merkmale schwerlich zu einer selektiven Störung für eine ganze Wortart führen könne, da bestimmte Konzepte sowohl durch Nomen als auch durch Verben ausgedrückt werden können. Auch auf der Lexem-Ebene sind kategoriespezifische grammatische Störungen nicht erklärbar, da das Modell keine wortklassenspezifische Unterteilung der Lexika vorsieht (vgl. Breedin et al. 1998). Eine Störung auf der Lemma Ebene erklärt Leistungsunterschiede zwischen Nomen und Verben am besten.

Breedin & Martin (1996) gingen der Frage nach, ob grammatische Informationen über Verben auf einer separaten Ebene repräsentiert sind oder von der Semantik des Verbs ableitbar sind. Sie untersuchten vier Patienten mit Verbpaaren, die eine ähnliche Funktion, jedoch leicht unterschiedliche Bedeutung hatten und Agens/Patiens Umkehrungen (buy/sell). Die Aufgaben zielten auf drei Aspekte (Verbsemantik, thematische Rollen, Subkategorisierung). Alle Patienten zeigten ein unterschiedliches Leistungsmuster. Für die Beantwortung der Frage waren die Daten des Patienten LK relevant. Während bei LK die Leistungen für die Verbsemantik und die Subkategorisierung intakt waren, wurden schwere Störungen hinsichtlich der thematischen Rollen beobachtet. Die Daten sprechen daher gegen die Annahme, dass der Subkategorisierungsrahmen über die thematischen Rollen von der Verbsemantik abgeleitet werden kann. Die Autoren folgern daher eine separate Speicherung semantischer und grammatischer Merkmale, wie sie im Levelt-Modell angenommen wird.

Caramazza (1997) bezweifelt die Annahme einer amodalen Lemma Ebene, weil ein phonologischer Zugriff seiner Meinung nach auch ohne die Aktivierung von syntaktischen Merkmalen auf der Lemma Ebene möglich ist (TOT Phänomen, vgl. Caramazza 1997; Shapiro et al. 2000). Die Befunde der Forschungsgruppen um Caramazza und Micheli stellen ein besonderes Problem für das Levelt-Modell dar (Miceli et al. 1988; Caramazza & Hillis 1991; Hillis & Caramazza 1995; Rapp & Caramazza 1998). In den zitierten Untersuchungen zeigten sich entgegengesetzte Kategoriedefizite in den beiden Outputmodalitäten. Da angenommen wird, dass die Lemma Ebene

supramodal organisiert ist, können diese Leistungsdissoziationen im Levelt-Modell nicht erklärt werden.

Im Gegensatz dazu bietet das *Logogenmodell* gute Erklärungsmöglichkeiten für modalitätsspezifische Befunde, vorausgesetzt, es werden modalitätsspezifische Lexika angenommen, in denen die grammatische Information redundant enthalten ist. Einige Autoren (u.a. Miceli et al. 1988; Caramazza & Hillis 1991; Hillis & Caramazza 1995; Rapp & Caramazza 1998) sprechen sich für eine nach grammatischen Kategorien unterteilte Lexikonstruktur aus. Demnach wären alle Lexika, auch Inputlexika, in verschiedener Weise selektiv störbar. Das Logogenmodell hat jedoch Probleme, supramodale Störungsmuster zu erklären. Diese Muster können innerhalb des Modells nur als semantische Störung gedeutet werden (vgl. semantischer Störungslokus im Levelt-Modell). Nomen/Verb Dissoziationen, die in gleicher Weise nur in den Outputmodalitäten auftreten, können nur als Zugriffstörung von der Semantik auf die Wortarteninformation in den Outputlexika interpretiert werden.

Das *IN Modell* von Caramazza (1997) kann sowohl modalitätsspezifische als auch supramodale Störungsmuster in den Outputmodalitäten vorhersagen, die einen grammatischen Störungsursprung haben. Störungen auf der Ebene der phonologischen oder orthographischen Repräsentationen führen zu Nomen/Verb Dissoziationen in nur einer Outputmodalität. Dabei sollte es sich um eine Zugriffstörung handeln, bei der entweder von der phonologischen oder von der orthographischen Repräsentation nicht auf wortartenspezifische Merkmale im syntaktischen Netzwerk zugegriffen werden kann. Ist die wortartenspezifische Repräsentation im syntaktischen Netzwerk zerstört, kommt es hingegen zu supramodalen Störungen. Categoriespezifische grammatische Störungen im Sprachverständnis werden durch das Modell nicht erklärt, da die Inputsysteme nicht spezifiziert sind. Für die Organisation des lexikalischen Wissens im Gehirn müssen zusätzliche Annahmen gemacht werden:

„We must assume either that syntactic information about different grammatical classes is represented in different areas of the brain or that lexeme representations are organised by grammatical class in different parts of the brain. We could, then, explain the patterns of selective damage to either one of the spatially segregated networks.” (Caramazza 1997: 199)

Das IN Modell wurde bislang noch nicht systematisch mit empirischen Studien überprüft.

Zusammengenommen sind sowohl die Annahmen zur funktionellen Lokalisation der Nomen/Verb Dissoziation als auch zur Kompatibilität mit Modellen der Sprachverarbeitung nicht einheitlich. Kein Sprachverarbeitungsmodell kann problemlos alle Phänomene erklären, die im Rahmen von selektiven Nomen/Verb Störungen auftreten. Die einheitliche Zuordnung der Störungsmuster zu einer spezifischen linguistischen Ebene scheint ebenso unmöglich zu sein (vgl. Luzzatti et al.

2002). Dafür sprechen auch die Befunde von Berndt et al. (1997a; siehe auch Berndt et al. 2002). Sie untersuchten 11 aphasische Personen mit unterschiedlichen Aufgaben (Benennen, Definieren; Sätze vervollständigen), um den funktionellen Störungsort im Modell von Levelt (1989) zu lokalisieren. Das Störungsbild der Patienten erwies sich als sehr heterogen. Einige Personen zeigten viele semantische Fehlleistungen, andere wiesen Frequenzeffekte auf, bei einem weiteren Teil kam es zu Effekten der Vorstellbarkeit. Inkonsistent waren auch die produktiven und rezeptiven Fähigkeiten bei reversiblen Sätzen. Insgesamt schien das Störungsmuster bei einigen Patienten auf eine Schädigung der Lemma Ebene, bei anderen auf eine Störung der Lexemebene hinzuweisen. Druks (2002) resümiert, dass die sprachliche Performanz der betroffenen Patienten in höchstem Maße individuell und nicht verallgemeinerbar ist:

„One of the most important lessons that we need to learn from these studies is that verb/noun differences occur in different patients for different reasons. Unfortunately, diagnostic categories such as Broca’s aphasia, agrammatism, anomia etc. cannot help to determine the nature of the problem in individual patients. Similarly, quick naming tests cannot do so. Patients need to be studied in depth and all possible avenues of investigation need to be explored.” (Druks 2002: 312f)

Nur diese individuelle und genaue Herangehensweise *kann* im Einzelfall zu Vermutungen über den funktionellen Störungsursprung führen.

3.3.4 Evidenzen aus der Hirnforschung

Der zweite Teil dieses Kapitels widmet sich den neuroanatomischen Korrelaten der grammatischen Kategorien Nomen und Verb. In den folgenden Abschnitten soll ein Überblick über die Ergebnisse von Hirnforschungsstudien zur Nomen/Verb Verarbeitung bei gesunden und aphasischen Personen gegeben werden. Sowohl Befunde aus Läsionsstudien als auch Stimulations-, elektrophysiologische und funktionell-bildgebende Studien werden vorgestellt. Dabei liegt der Schwerpunkt auf Untersuchungen, die mit funktioneller Magnetresonanztomographie (fMRT) und Positronen Emissions Tomographie (PET) durchgeführt wurden (für einen Überblick: Cappa & Perani 2003; vgl. Kapitel 1 für methodische Informationen zu den einzelnen Methoden).

3.3.4.1 Läsion-Defizit Studien

Der erste Bericht über einen Patienten mit selektivem Nomendefizit und post-mortem Analyse der Störungsursache, geht auf Pitres zurück (1898, zitiert nach McCarthy & Warrington 1990). Pitres dokumentierte eine Läsion im linken Temporallappen, ausgedehnt bis zum G. angularis, die für das Nomendefizit verantwortlich schien. Für Gehirnuntersuchungen zu Zeiten Pitres’ war der Tod des Patienten unerlässlich zur Feststellung der genauen Läsion. Mit der Entwicklung der strukturell-bildgebenden Verfahren (CT, MRT) entdeckte die Forschung etwa 90 Jahre später erneut das Interesse an der neuronalen Lokalisation von neuropsychologischen und neurolinguistischen Defiziten.

Damasio & Tranel (1993) stellten drei Patienten mit selektiven Störungen beim Abruf von Nomen bzw. Verben vor. Beim Benennen von Objekt- und Handlungsbildern zeigten zwei Patienten (AN, Boswell) Störungen beim Abruf von Nomen, während die Produktion von Verben ungestört war. Der dritte Patient (KJ) dagegen war ungestört beim Benennen von Nomen, während die Verbproduktion beeinträchtigt war. Diese Leistungsmuster entsprechen einer klassischen doppelten Dissoziation. Das zugrunde liegende Läsionsmuster dissoziierte ebenso: während die Patienten AN und Boswell Läsionen im Bereich des vorderen und mittleren linken Temporallappens aufwiesen, war die Läsion bei KJ im linken Frontallappen lokalisiert. Die Autoren sprachen sich aufgrund der differierenden Schädigungsorte für separate neuronale Systeme aus, die für die Verarbeitung von Nomen und Verben verantwortlich sind.

Damasio & Tranel's Annahme wurde durch die Studienergebnisse von Daniele et al. (1994) unterstützt. Die Autoren beschrieben drei Patienten mit progressiven Aphasien aufgrund von degenerativen Hirnerkrankungen. Die Patienten RE und GG zeigten starke Beeinträchtigungen bei der Verarbeitung von Verben. Während anfänglich nur die Produktion von Verben betroffen war, erstreckte sich das Defizit im fortgeschrittenen Krankheitsstadium auch auf die rezeptive Verarbeitung von Verben. Beide Patienten wiesen atrophische Prozesse im Bereich des linken Frontallappens auf. Im Kontrast dazu standen die Leistungen des Patienten GP, der rezeptive und produktive Defizite bei Nomen zeigte. Dieser Patient litt primär an atrophischen Prozessen im Bereich des linken Temporallappens.

In vielen weiteren Studien wird ebenfalls eine Assoziation von selektiven Verbdefiziten und Läsionen im linken Frontallappen berichtet (u.a. Goodglass et al. 1966; Miozzo et al. 1994; Breedin et al. 1998; Tranel et al. 2001; Bak et al. 2001). Selektive Beeinträchtigungen bei Nomen dagegen werden meist im Zusammenhang mit Läsionen im vorderen, mittleren oder unteren Temporallappen beobachtet, zuweilen ausgedehnt bis in die hinteren Assoziationsareale (u.a. Miceli et al. 1988; Zingeser & Berndt 1988; Damasio & Tranel 1993; Daniele et al. 1994; Miozzo et al. 1994; für eine Zusammenfassung Gainotti et al. 1995; Gainotti 1998). Die Forschung vermutete zunächst, dass der Zusammenhang zwischen selektivem Wortklassendefizit und Läsionsort systematisch ist. Daher wurde das beobachtete Läsionsmuster als anterior-posterior Dissoziation bei selektiven Nomen/Verbdefiziten bezeichnet (Damasio & Tranel 1993).

Obwohl Daniele et al. (1994) eine anterior-posterior Dissoziation bei Patienten mit degenerativen Krankheitsprozessen zeigen konnten, ist die Forschungslage bei diesen Erkrankungen nicht eindeutig. So belegen Untersuchungen zur Nomen/Verb Dissoziation bei Alzheimer Patienten, dass Benennstörungen bei Verben wesentlich stärker ausgeprägt sind als bei Nomen. Interessanterweise ist Morbus Alzheimer aber durch eine frühe Schädigung des temporalen Kortex charakterisiert, was

sich u.a. häufig in einer überproportionalen Beeinträchtigung für belebte versus unbelebte Objekte zeigt (vgl. Cappa et al. 1998). Entgegengesetzte Befunde kommen von Robinson et al. (1996), die über einen Alzheimer Patienten mit selektiven Störung für Nomen berichteten, während Lee et al. (1998) bei chinesischen Alzheimer Patienten keinen Unterschied im Benennen von Nomen und Verben feststellen konnte.

Eingeschränkte Evidenz für eine anterior-posterior Dissoziation fanden Hillis et al. (2002), die mit perfusionsgewichteter MRT 33 Schlaganfallpatienten in der akuten Phase untersuchten. Sie verwendeten Bildbenennen als auch eine Wort-Bild Verifikationsaufgabe. 3 von 33 Patienten zeigten signifikant mehr Fehler beim Benennen von Handlungen gegenüber Objekten, bei 2 von 33 Patienten konnte das entgegengesetzte Muster beobachtet werden. Bei allen Patienten mit selektivem Verbdefizit konnte eine Hypoperfusion im inferioren Part des linken präzentralen Gyrus festgestellt werden, während die Patienten mit Nomendefizit eine Hypoperfusion im linken posterioren G. temporalis medius bzw. im inferioren G. temporalis und Thalamus zeigten. Hillis et al. nehmen ein teilweise überlappendes neuronales Netzwerk für das Benennen von Objekten und Handlungen an, da neben den bereits berichteten wortklassenspezifischen Regionen auch überlappende Hypoperfusionen im Bereich des G. temporalis medius beobachtet wurden.

Tranel et al. (2001) untersuchten die neuronale Basis für den Abruf von Verben anhand der MRT Daten von 75 Patienten mit unterschiedlichen Hirnläsionen. Sie stellten fest, dass Patienten mit Verbdefizit überlappende Läsionen im Bereich des linken frontalen Operculums sowie der darunterliegenden weißen Substanz und im Bereich der vorderen Insel zeigten. Ferner konnten sie feststellen, dass Läsionen im Bereich des anterioren und inferioren Temporallappens Störungen beim Nomenabruf nicht aber beim Verbabruf verursachten. Eine weitere Analyse ergab, dass das Benennen von Handlungen nicht nur mit Läsionen in prämotorischen und präfrontalen Arealen sondern auch mit Läsionen im mesialen okzipitalen Kortex und der paraventriculären weißen Substanz unter supramarginalen und posterior temporalen Regionen assoziiert war. Der Verbabruf wird demnach nicht allein durch anteriore Kortexareale unterstützt. Aufgrund dieser Daten mussten die Autoren die strenge Form der anterior-posterior Hypothese (Damasio & Tranel 1993) relativieren. Sie fassten die Forschungslage wie folgt zusammen:

„The evidence available so far suggests that there is a preferred system involving ventral occipitotemporal and anterolateral temporal cortices, that excels at processing knowledge for concrete entities (hier: Objekte). This ventral system processes featural information (e.g., shape, colour, texture) that is critical for the neural encoding of concrete entities, and in its anterior extent, processes the linguistic knowledge pertinent to those concrete entities. A second preferred system, comprising networks in the dorsal component of temporooccipital and parietal cortices and the ventrolateral premotor/prefrontal region, excels at processing concepts of actions and their corresponding words.” (Tranel et al. 2001:667)

Bei einer Metaanalyse über 18 Patienten mit categoriespezifischen Störungen für Nomen bzw. Verben (für einen Überblick: Gainotti et al. 1995) stellte sich ebenfalls heraus, dass die anterior-posterior Dissoziation relativiert werden muss. So traten Verbdefizite häufig auch bei Läsionen auf, die vom anterioren, superioren Anteil des Temporallappens bis zum inferioren, posterioren Anteil des Frontallappens ausgedehnt waren, zuweilen waren auch parietale Anteile betroffen. Die Läsionsmuster erschienen bei Verbdefiziten insgesamt sehr viel variabel. Baxter & Warrington (1985) fanden z.B. bei ihrem Patienten GOS Läsionen im Bereich des linken Frontal-, Temporal- und Okzipitallappens, ein ähnlich ausgedehntes Läsionsmuster zeigt auch der Patient AM (Miceli et al. 1988). Bei dem Patienten DP (Miceli et al. 1988) wurden temporale und parietale Läsionen aufgedeckt. Caramazza & Hillis (1991) beobachteten bei dem Patienten HW sogar ausschließlich parietale Läsionen (vgl. Silveri et al. 2003: Patient SA). Bei allen weiteren von Miceli et al. (1988: Patient CS & FS) und Caramazza und Hillis (1991: Patient SJD) untersuchten Patienten sind neben Läsionen im Frontallappen immer auch Läsionen im Temporallappen diagnostiziert worden. Paradoxe Muster berichten ferner De Renzi & Pellegrino (1995). Ihr Patient Mario zeigte bei einer ausgedehnten linksseitigen fronto-temporalen Läsion gute Leistungen bei Verben. Reine Schädigungen des linken inferioren Frontallappens mit einem selektiven Verbdefizit sind eindeutig in der Minderheit (Damasio & Tranel 1993: Patient KJ; Daniele et al. 1993, 1994: Patient GC, RA, vgl. Bak et al. 2001).

Die zugrunde liegenden Läsionen bei selektiven Nomendefiziten weisen dafür eher auf ein einheitliches Muster hin (Miceli et al. 1988: Patient AA, SF, AE; Damasio & Tranel 1993: Patient Boswell, AN; Daniele et al. 1993, 1994: AN, GP). Doch obwohl hier meist der Temporallappen geschädigt ist, wurden auch Patienten mit zusätzlichen Läsionen im Frontal- und/oder Parietallappen vorgestellt (Zingeser & Berndt 1988: Patient HY; Daniele et al. 1994: Patient GP; Silveri et al. 2003: Patient CG).

Die Evidenzen für eine anterior-posterior Dissoziation in der Nomen/Verb Verarbeitung sind bei weitem nicht so eindeutig, wie oftmals angenommen wurde. Insgesamt muss die Forschungslage auch hier als inkonsistent bewertet werden. Aus den geschilderten Befunden kann lediglich geschlossen werden, dass Läsionen im linken inferioren frontalen Kortex häufig, jedoch nicht zwingend und nicht ausschließlich, zusammen mit Verbdefiziten beobachtet werden, wohingegen Läsionen im Temporallappen überwiegend, jedoch nicht ausschließlich, zu Nomendefiziten führen können. Insgesamt muss daher die doppelte Dissoziation, die in Verhaltensstudien zur gestörten Nomen- und Verbverarbeitung nachgewiesen wurde aufgrund der geschilderten Läsionsdaten in Frage gestellt werden.

3.3.4.2 Elektrokortikale Stimulation

Während in Läsionsstudien sprachliche Defizite im Zusammenhang mit permanenten Schädigungen spezifischer Kortexareale betrachtet werden, setzt die elektrokortikale Stimulation temporale Läsionen direkt an der Kortexoberfläche (vgl. Abschnitt 1.2.1). Willkürlich kann auf diese Weise die Sensitivität spezifischer Areale für eine sprachliche Leistung getestet werden.

Corina et al. veröffentlichten 2005 eine Stimulationsuntersuchung, die eine starke Gegenevidenz zur anterior-posterior Dissoziation in der Nomen/Verb Verarbeitung darstellt. Die Autoren führten Aufgaben zum Objekt- und Handlungsbenennen bei präoperativen Epilepsiepatienten durch. Ein Elektrodengitter wurde über temporale und inferior parietale Kortexareale implantiert. Das Testmaterial bestand aus sehr kurzen Videosequenzen von alltagsrelevanten Handlungen, die eng mit Objekten verknüpft waren (smoke cigarette, cut paper etc.). Die Patienten wurden aufgefordert, einmal die Handlung und ein anderes Mal das Objekt zu benennen. Während der Aufgabe wurden spezifische Elektroden aktiviert, die temporäre funktionelle Läsionen setzten und somit eine veränderte sprachliche Reaktion hervorriefen, sofern das stimulierte Kortexareal aktiv war.

Die Untersucher stellten fest, dass die Stimulation von verschiedenen temporalen und parietalen Regionen Defizite sowohl bei Nomen als auch bei Verben auslösen kann. Sie beobachteten, dass ein Verbdefizit durch die Stimulation mehrerer temporaler Areale hervorgerufen werden kann, während bei der Stimulation des exakt gleichen Areals kein Nomendefizit auftritt. In drei Fällen fanden sie eine doppelte Dissoziation, wobei zwei kortikale Regionen mit kategoriespezifischer Benennungsfunktion nur einen Zentimeter auseinander lagen. Fehler beim Benennen von Nomen traten im Zusammenhang mit der Stimulation des G. temporalis medius superior und anterior auf. Fehler im Zusammenhang mit Verben wurden bei der Stimulation des G. supramarginalis, G. temporalis medius posterior und G. medius superior registriert. Ferner zeigte sich eine hohe interindividuelle Variabilität der relevanten Kortexareale. Diese Ergebnisse stehen im Gegensatz zur anterior-posterior Hypothese, da sie darauf hinweisen, dass auch im Temporal- bzw. Parietallappen verbrelevante Strukturen oder Verbindungswege existieren. Es stellt sich jedoch die Frage, inwiefern diese Ergebnisse auf gesunde Personen übertragbar sind, da schwere Epilepsien eventuell eine funktionelle kortikale Reorganisation mit sich bringen könnten (für Kritik an der Methode siehe Abschnitt 1.2.1).

3.3.4.3 Ereigniskorrelierte Potentiale (ERP)

Die bisher berichteten neurolinguistischen Befunde zur Nomen/Verb Dissoziation beruhen ausschließlich auf der Analyse von Patientendaten. Im folgenden Abschnitt werden nun Befunde von elektrophysiologischen Studien vorgestellt, die mit gesunden Personen durchgeführt worden sind. Obwohl diese Methoden bereits seit den 70er Jahren des 20. Jahrhunderts intensiv zur Untersuchung der Nomen/Verb Verarbeitung eingesetzt wurden, ergeben die Daten bis zum

heutigen Tag kein klares Bild. Im Fokus der Untersuchungen standen neben isolierten Wörtern (Dehaene et al. 1995; Preissl et al. 1995; Koenig & Lehmann 1996; Pulvermüller et al. 1996, 1999a, b) auch Wortpaare (Gomes et al. 1997; Rösler et al. 2001; Khader et al. 2003, Khadar & Rösler 2004) und kontextuell eingebettete Nomen und Verben (Teyler et al. 1973; Brown et al. 1973, 1976, 1979, 1980; Molfese et al. 1996; Federmeier et al. 2000).

In frühen experimentellen Serien (Teyler et al. 1973; Brown et al. 1973, 1976, 1979, 1980) wurden einheitlich topographische Unterschiede für die Verarbeitung von Nomen und Verben berichtet. Vor allem Brown et al. (1973, 1976, 1979, 1980) sprachen sich dafür aus, dass die linke Hemisphäre zwischen Items diskriminieren kann, die als Nomen oder Verb verwendet werden (klassenambige Items: Sit by the fire/Ready, aim, fire). Items, die als Nomen gebraucht wurden zeigten relativ zu Verben stärkere Positivierungen anterior und stärkere Negativierungen posterior in den ersten 300 ms.

In der neueren ERP Literatur beschäftigten sich Dehaene und Kollegen (1995) mit der Verarbeitung von Wortkategorien. Dehaene et al. leiteten ERP's bei einer visuellen, semantischen Klassifikationsaufgabe ab. Wörter sollten hinsichtlich der Zugehörigkeit zu einer Kategorie (Tiere, Verben, Numerale, Eigennamen, Pseudowörter) beurteilt werden. Obgleich für Verben und Tiernamen die gleiche links temporale Negativierung beobachtet wurde, konnte zusätzlich eine Positivierung über der frontal inferioren Region spezifisch für Verben festgestellt werden.

Koenig und Lehmann (1996) leiteten ERP's beim Lesen von Nomen und Verben ab. Die Analyse von sehr kleinen Zeitintervallen ("microstate potential maps") nach Stimulusbeginn offenbarte topographische Differenzen für die Wortklassen entlang der rechts-links Achse. Die Ergebnisse wurden als Evidenz für unterschiedliche neuronale Populationen gewertet, die der Verarbeitung der Wortklassen zugrunde liegen.

Eine Vielzahl von Experimenten wurde von der Forschungsgruppe um Friedemann Pulvermüller durchgeführt (u.a. Preissl et al. 1995; Pulvermüller et al. 1996, 1999a, b). Preissl et al. (1995) berichteten Unterschiede in ERP's bei einer visuellen lexikalischen Entscheidungsaufgabe mit konkreten Nomen, Verben mit motorischen Assoziationen und Pseudowörtern. Etwa 200 ms nach Stimulusbeginn (P200) zeigten sich für Verben mehr positive Potentiale über den frontalen und zentralen Elektroden. Verantwortlich für den topographischen Unterschied sind den Autoren zufolge stärkere motorische Assoziationen, die mit der lexikalischen Entscheidung über Verben einhergehen. Das Ergebnis wird als Evidenz für verschiedene neuronale Generatoren gewertet, die der Verarbeitung der Wortklassen zugrunde lägen. Auch Pulvermüller et al. (1996, 1999a,) berichten wortklassenspezifische Effekte. Für lexikalische Entscheidungen über Nomen, Verben

und Pseudowörter fanden Pulvermüller et al. (1999a) stärkere Aktivität im Hochfrequenzbereich (30 Hz) für Verben 500-800 ms nach Stimulusbeginn über frontalen und zentralen Elektroden. Für Nomen hingegen wurde stärkere Aktivität über okzipitalen Regionen beobachtet. In die Studie wurden nur Nomen mit starken visuellen und Verben mit starken motorischen Assoziationen einbezogen. Das Ergebnis ist daher nicht repräsentativ für die gesamte Gruppe der Nomen und Verben, sondern nur für eine sehr spezifische Subgruppe. Ebenso kann keine Aussage darüber gemacht werden, worauf der Unterschied zurückzuführen ist. Sehr wahrscheinlich reflektiert dieses Ergebnis eher den Unterschied zwischen Objekten und motorischen Handlungen an sich, als den Unterschied zwischen den Wortklassen Nomen und Verb. Rösler et al. (2001) kritisierten die Studien von Preissl et al. (1995) und Pulvermüller et al. (1999a) aus methodischen Gründen. Rösler et al. zufolge beruhen die Ergebnisse auf nicht normalisierten Wellenformen und CDS Analysen, es wird angezweifelt, ob die Ergebnisse einer z-score Normalisierung standhalten würden, d.h. ob ein topographischer Unterschied bestehen bleiben würde, wenn diese Verfahren zur Anwendung kämen. Ferner kritisieren Rösler et al. an der Studie von Preissl und Kollegen (1995), dass keine Reaktionszeiten für die Entscheidung über Nomen und Verben angegeben wurden. Ein vermeintlicher topographischer Unterschied zwischen den Wortklassen könne auch durch mangelnde Berücksichtigung der Reaktionszeitdifferenz entstanden sein.

In einer weiteren Studie untersuchten Pulvermüller et al. (1999b) ERPs bei lexikalischen Entscheidungen über Nomen mit starken visuellen Assoziationen im Gegensatz zu Verben mit starken motorischen sowie Nomen mit starken motorischen Assoziationen. Dabei zeigten sich topographische Unterschiede innerhalb der Wortkategorie Nomen in Abhängigkeit von den semantischen Assoziationen (motorisch/frontozentral; visuell/okzipito-temporal). Eine ähnliche Differenz wurde zwischen „visuellen“ Nomen und Verben mit motorischen Assoziationen beobachtet. Im Kontrast dazu traten aber keine Unterschiede zwischen Nomen und Verben mit motorischen Assoziationen auf. Dieses Ergebnis wird als Evidenz dafür gewertet, dass nicht allein grammatische Eigenschaften zwischen den Wortklassen für differierende Hirnreaktionen verantwortlich sein können. Im Gegenteil, die Autoren schlagen semantische Unterschiede zur Erklärung der wortklassenspezifischen ERPs vor und unterstützen mit ihren Ergebnissen die anterior/posterior Dissoziation. Federmeier et al. (2000) kritisieren die Studie aus methodischen Gründen. Sie merken an, dass ein Vergleich dieser Resultate mit anderen Studien schwierig sei, da Pulvermüller et al. (1999b) keinerlei Wellenformen in der Veröffentlichung präsentieren.

Federmeier et al. (2000) untersuchten ambige (to joke/the joke) und nicht-ambige (bear, eat) Nomen und Verben sowie Pseudowörter (to phream/the phream) in minimal kontrastiven Satzkontexten. Die Aufgabe der Probanden bestand darin, die Sätze Wort für Wort zu lesen. Für alle drei Stimulustypen konnten Wortklasseneffekte nachgewiesen werden, die Art des Effektes

variierte mit dem Stimulustyp (+/- ambig) und dem Präsentationskontext. Pseudowörter elizitierten stärkere N400 Effekte, wenn sie als Verben gebraucht wurden relativ zu einer Funktion als Nomen. Im Kontrast dazu elizitierten ambige Items stärkere frontozentrale Negativität 200-450 ms nach Stimulusbeginn, wenn sie als Nomen verwendet wurden. Nicht-ambige Nomen führten im Vergleich zu nicht-ambigen Verben ebenfalls zu einer stärkeren Negativierung nach 250-400 ms über zentral-parietalen Elektroden. Für nicht-ambige Verben verglichen mit allen anderen Stimulustypen fanden die Untersucher eine links lateralisierte anteriore Positivierung nach 200 ms (vgl. Dehaene 1995; Preissl et al. 1995). Die Autoren werteten dieses Ergebnis als Evidenz dafür, dass das Gehirn unterschiedliche lexikalische Items in verschiedener Weise verarbeitet. Sie schlussfolgerten, dass die neuronale Verarbeitung der Wortklassen dabei sowohl eine Funktion des Stimulustyps als auch der Rolle ist, die ein Item im Satzkontext spielt.

Ein ungewöhnliches Paradigma verwendeten Molfese und Kollegen (1996). Sie testeten das Verständnis von Wortkategorien bei der Präsentation von Videoszenen. Jede Videoszene zeigte eine Person, die ein Objekt manipulierte. Zusätzlich wurden auditive Informationen eingespielt. Im Rahmen einer "match-mismatch" Prozedur wurde bei der Hälfte aller Videoszenen der Name des dargebotenen Objektes bzw. der Handlung eingespielt. Bei der anderen Hälfte wurde jeweils ein unpassendes Nomen oder Verb präsentiert. Die Analyse zeigte unterschiedliche elektrophysiologische Antworten in Abhängigkeit von der grammatischen Kategorie. Dabei konnten für Verben stärkere Signale als für Nomen festgestellt werden. Aussagen über eine topographische Dissoziation der Wortklassen innerhalb der linken Hemisphären werden nicht gemacht.

Gomes et al. (1997) untersuchten die lexikalische Repräsentation von Nomen und Verben anhand des N400 Effekts bei semantischem Priming. Dieser Effekt wird häufig mit semantischen Verarbeitungsprozessen in Verbindung gebracht. Die Autoren präsentierten in einer lexikalischen Entscheidungsaufgabe semantisch relationierte und nicht relationierte Nomen-Nomen/Pseudowort oder Nomen-Verb/Pseudowort Paare. Das Paradigma wurde sowohl auditiv als auch visuell durchgeführt. Die Autoren fanden Unterschiede in der Effektgröße und Latenz der N400 Komponente, konnten jedoch keinen topographischen Unterschied feststellen. Gomes et al. begründen die Differenz mit allgemein stärkeren lexikalischen Assoziationen zwischen zwei Nomen relativ zu Nomen-Verb Paaren.

Eine Serie von Experimenten wurde ferner von der Forschungsgruppe um Patrick Khadar und Frank Rösler vorgelegt. Dabei zeigten sich differierende Befunde. In einem Experiment zum visuellen lexikalischen Entscheiden von Rösler et al. (2001) wurden Nomen-Nomen/Pseudowort oder Verb-Verb/Pseudowort Paare präsentiert, die eine starke, moderate oder keine semantische

Verbindung aufwiesen. Die Autoren fanden keine überzeugende Evidenz für topographische Unterschiede der Potentiale oder die Ausprägung bzw. Latenz des N400 Effekts.

Khader et al. (2003) verwendeten eine semantische Entscheidungsaufgabe über Nomen und Verben in minimalen Phrasenstrukturen. Als Prime wurden Nomen/Verb oder Nomen/Nomen Paare visuell präsentiert, das Zielwort war entweder ein Nomen oder ein Verb (Holz/Tischler, sägt; frisst/Tischler, Holz). Sowohl die Primewörter untereinander als auch Prime und Zielwort konnten semantisch relationiert, moderat relationiert oder nicht relationiert sein. Die Phrasen bestanden stets aus einem Verb und zwei Nomen, die potentiell Subjekt- und Objektargumente des Verbs sein konnten. Im Gegensatz zu Rösler et al.'s Paradigma war die Wortkategorie des Zielwortes durch den minimalen Kontext bestimmt und für den Probanden stets erwartbar, was das Auftreten von N400 Effekten forcieren sollte. Khadar und Kollegen fanden reliable Unterschiede in den ERP Topographien für Nomen und Verben zwischen 300 und 800 ms nach Stimulusbeginn. Für Verben wurden relativ zu Nomen überwiegend größere positive Amplituden über zentralen, frontalen und parietalen Elektroden sowie mehr negative über okzipitalen und temporo-parietalen Elektroden beobachtet. Ein topographischer Unterschied im N400 Effekt konnte jedoch nicht festgestellt werden. Die Autoren schlussfolgern, dass der Zugriff auf die Wortklassen topographisch unterschiedliche Zelleinheiten aktiviert. Semantische Evaluations- und Integrationsprozesse, reflektiert durch die N400 Komponente, seien jedoch unabhängig von der Wortkategorie. Worauf der topographische Unterschied zwischen den Wortklassen genau beruht, kann auch von den Untersuchern nicht erklärt werden. Einerseits nehmen sie Konkretheitseffekte an, da die experimentell verwendeten Nomen konkreter waren als die Verben, andererseits werden unterschiedliche Assoziationen (motorisch versus visuell) zur Erklärung der Ergebnisse herangezogen. Da eine rein semantische Interpretation (Konkretheitseffekt) durch den gemeinsamen N400 Effekt eher unwahrscheinlich erscheint, könnte das Ergebnis auf konzeptuelle Unterschiede zwischen Objekten und Handlungen zurückzuführen sein.

Das gleiche Paradigma verwendeten Khadar und Rösler (2004) in einer EEG Untersuchung. Die elektrophysiologische Reaktion wurde hier jedoch ausschließlich für das erste Wort der Triplets erfasst. Im EEG Theta Band, das mit syntaktischen Verarbeitungsprozessen in Verbindung gebracht wird (Bastiaanse et al. 2002), zeigte sich eine stärkere Verminderung für Verben relativ zu Nomen über links frontalen Regionen, namentlich über dem G. frontalis inferior (BA 45). Weiterhin zeigte die Theta Band Kohärenz eine Abkopplung der links anterioren Elektroden von links- und rechtsseitigen posterioren Arealen, die ebenfalls für Verben stärker ausgeprägt war. Das bedeutet, dass links anteriore Regionen beim Lesen von Verben anscheinend stärker in Verarbeitungsprozesse eingebunden sind. Die Autoren sehen in diesem Ergebnis Hinweise auf einen grammatischen Unterschied zwischen den Wortkategorien.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die Ergebnisse der ERP Studien überwiegend für

einen Verarbeitungsunterschied von Nomen und Verben sprechen. Dieser Unterschied wird jedoch nicht einheitlich beschrieben. Ein Grund dafür liegt in der großen Variation an Paradigmen, Analyseverfahren und Stimulusmaterial, die zur Anwendung kamen. Ein weiterer Grund ist darin zu sehen, dass in ERP Studien stets unterschiedliche Aspekte der Verarbeitungsdifferenz berichtet werden (verschieden ausgeprägte Amplituden und Effekte, zuweilen nur in spezifischen Zeitintervallen oder die differierende topographische Verteilungen des Signals). Über alle Studien betrachtet ergibt sich daraus eine Vielzahl an unterschiedlichen, höchstkomplexen Ergebnissen, die die Forschungslage relativ unübersichtlich erscheinen lassen. Übereinstimmungen zeigen sich in den Studien von Dehaene (1995), Preissl et al. (1995) und Federmeier et al. (2000), die gleichermaßen für Verben eine links lateralisierte anteriore Positivierung nach 200 ms finden. Dies könnte Evidenz für die Annahme sein, dass der linke präfrontale Kortex stärker in die Verarbeitung von Verben eingebunden ist. Eindeutige und einheitliche Evidenz für eine anterior-posterior Dissoziation konnte nicht nachgewiesen werden. Ebenso besteht keine Einigkeit darüber, durch welche linguistischen Faktoren kategoriespezifische ERP Differenzen verursacht werden.

3.3.4.4 Repetitive transkraniale Stimulation (rTMS)

Die Annahmen einer besonderen Verbindung zwischen dem linken präfrontalen Kortex und der Verbverarbeitung wird von zwei rTMS Studien unterstützt (Shapiro et al. 2001; Cappa et al. 2002). Shapiro et al. (2001) stimulierten mit rTMS den linken präfrontalen Kortex von acht rechtshändigen Versuchspersonen, um die Rolle dieser Region bei der Produktion von Nomen und Verben zu ermitteln. Sie verwendeten eine experimentelle Technik, die die Erregbarkeit eines Hirnareals herabsetzen kann. Nomen oder Verben erschienen einzeln in graphematischer Form auf dem Bildschirm. Die Probanden sollten diese Wörter/Nichtwörter laut in einer spezifischen morphologischen Form (Singular oder Plural bei Nomen; dritte Person Singular oder Plural bei Verben) produzieren, die durch ein entsprechendes Symbol angezeigt wurde. Die elektromagnetische Stimulation über dem linken präfrontalen Kortex ergab ausschließlich für Verben eine verspätete Reaktion im Vergleich zur Baseline Bedingung. Um zu entscheiden, ob dieser Unterschied auf semantische oder rein grammatische Differenzen zurückzuführen ist, wurde das gleiche Prozedere mit Pseudowörtern wiederholt. Die Pseudowörter erschienen einmal in der Verbbedingung und einmal in der Nomenbedingung. Auch hier beobachteten die Autoren eine verzögerte Reaktion in der Verbbedingung. Sie schlussfolgerten aus den Ergebnissen der Studie erstens, dass der linke präfrontale Kortex in den Prozess des Verbabrufes, nicht aber in den des Nomenabrufes involviert ist und zweitens, dass dieses Areal die Verarbeitung von grammatischen Informationen unterstützt. Sie schlagen vor, dass Nomen und Verben mindestens in einer Dimension, der grammatischen Kategorie, unterschiedliche neuroanatomische Grundlagen haben. Der linke präfrontale Kortex sei selektiv eingebunden in die Verarbeitung von Verben als grammatische Kategorie.

Zu ähnlichen Ergebnissen führte auch die Studie von Cappa und Kollegen (2002). Sie untersuchten den linken als auch den rechten dorsolateralen präfrontalen Kortex (DLPFC) beim Benennen von Objekten und Handlungen. Es wurde eine faszinierende magnetische Stimulation gewählt. Cappa et al. fanden, dass die Reaktionszeiten für Objektbenennen bei Stimulation des linken und rechten dorsolateralen präfrontalen Kortex sowie in der Scheinstimulation nicht signifikant unterschiedlich waren. Beim Verbbenennen zeigten sich schnellere Reaktionszeiten im Vergleich zu den anderen Stimulationsorten nur, wenn über dem linken DLPFC stimuliert wurde. Die Autoren schlossen aus diesem Ergebnis, dass der linke DLPFC in das Verbbenennen involviert ist. Sie sprechen sich für eine "semantische Interpretation" der Befunde aus und berufen sich dabei auf die Theorie der "Mirror Neurons" (vgl. Rizzolatti et al. 1999). Mirror Neurons sind Neuronengruppen im linken präfrontalen Kortex, die zunächst beim Affen entdeckt wurden. Sie werden aktiv, wenn ein Affe eine Handlung ausführt, oder diese beim Experimentleiter oder einem anderen Affen beobachtet. Auch beim Menschen konnten im DLPFC Aktivierungen gefunden werden, z.B. beim Greifen nach Objekten oder beim Beobachten von sinnvollen Gesten. Cappa et al. sehen in diesen Befunden eine Verbindung zur Verbsemantik. Zu Recht bemerken die Autoren aber, dass aufgrund der vielfältigen Unterschiede zwischen Nomen und Verben die Spezifität des Effektes mit den Daten dieser Studie nicht geklärt werden kann.

3.3.4.5 Funktionelle Bildgebung (fMRT, PET)

Mehrfach versuchten Forscher, sich mittels funktionell-bildgebender Studien dem Problem der Nomen/Verb Dissoziation zu nähern (für einen Überblick: Cappa & Perani 2003). Erste Hinweise auf neuronale Korrelate bei der Verarbeitung von Nomen und Verben gehen auf PET und fMRT Studien zurück, die um die 90er Jahre des 20. Jahrhunderts durchgeführt wurden (Petersen et al. 1988, 1989; Frith et al. 1991; Wise et al. 1991; Raichle et al. 1994; Martin et al. 1995; Fiez et al. 1996). In diesen Studien wurden vorrangig Generierungsparadigmen verwendet, d.h. nach Vorgabe eines Items, zumeist eines Nomens, sollten Verben, Nomen, Adjektive etc. frei mental generiert werden. Hierbei wurden für die Verbgenerierung wiederholt robuste Aktivierungen im linken G. frontalis inferior, im dorsolateralen präfrontalen Kortex und im rechten Cerebellum (Petersen et al. 1988, 1989; Tranel et al. 1997) zuweilen aber auch im G. temporalis medius und inferior beobachtet (Martin et al. 1995). Zur Analyse der neuronalen Verarbeitungsprozesse bei Nomen und Verben ist das Generierungsparadigma jedoch ungeeignet. Erstens erfordert die Generierung eines Verbs meist die vorherige Präsentation eines Nomens. Die genannten Studien arbeiteten jedoch ausnahmslos mit Blockdesigns und konnten daher nicht zwischen Aktivierungen für Nomen und Verben unterscheiden. Erst heute besteht durch ereigniskorrelierte Designs die technische Möglichkeit der Aktivierungstrennung. Zweitens ist bei Generierungsaufgaben nicht vorhersehbar, was der Proband wirklich produziert. Es besteht ein gravierender Mangel an experimenteller

Kontrolle, ein Matching spezifischer linguistischer Parameter (Frequenz, morphologische Struktur, Konkretheit, Wortlänge usw.) ist im Generierungsparadigma nicht möglich.

Im Gegensatz zu den frühen bildgebenden Studien untersuchten ab etwa der Mitte der 90er Jahre einige Autoren gezielt die neuronale Representation und Verarbeitung von Nomen und Verben (Martin et al. 1995; Warburton et al. 1996; Perani et al. 1999a; Tyler et al. 2001, 2003, 2004; Sörös et al. 2003; Li et al. 2004). Während anfänglich noch Generierungsparadigmen verwendet wurden, ging die Forschung später zu spezifischeren sprachlichen Anforderungen über. Im überwiegenden Teil der Studien wurden Wortarteneffekte mit rezeptiven Paradigmen, z.B. lexikalischer Entscheidung oder semantischer Kategorisierung überprüft (Perani et al. 1999a; Tyler et al. 2001, 2003, 2004). Nachfolgend soll ein Überblick über den Aufbau und die Ergebnisse der Studien gegeben werden.

Erste Untersuchungsergebnisse zur Nomen- und Verbverarbeitung gehen auf eine PET Studie von Martin et al. (1995) zurück. Es sollten Farb- bzw. Handlungswörter generiert werden, die entweder mit Strichzeichnungen von Objekten oder in einer zweiten Studie mit graphematischen Nomen assoziiert wurden. In beiden Studien führte die Generierung von Farbwörter zu Aktivierungen im ventralen Temporallappen, unmittelbar anterior zu der Region, die für die Wahrnehmung von Farben verantwortlich ist. Für Verben wurden Aktivierungen im mittleren G. temporalis, anterior zum Gebiet MT/MST beobachtet. MT und MST sind extrastriäre visuelle Areale im mittleren Temporallappen (MT) bzw. im superioren mittleren Temporallappen (MST), die mit der visuellen Verarbeitung von Bewegung in Verbindung gebracht werden. Ferner wurden Aktivierungen im linken inferioren Frontallappen festgestellt. Daraus leiteten die Autoren ab, dass das Wissen über wortklassenspezifische Attribute, stets nah an den Regionen gespeichert ist, die auch für die Wahrnehmung dieser Attribute verantwortlich sind.

Warburton et al. (1996) kontrastierten in einer Serie von 4 PET Studien erstmals direkt die Wortklassen Nomen und Verb. Jedes der vier Experimente enthielt drei Bedingungen, eine Ruhebedingung, eine Verbgenerierungsbedingung und eine Bedingung, die über alle Experimente variierte. In der Ruhebedingung wurden die Probanden angehalten, die Augen zu schließen und an "nichts" zu denken ("empty your mind"). In der Verbgenerierungsbedingung sollten die Probanden zu einem auditiv präsentierten, konkreten Nomen so viele Verben wie möglich still produzieren. Als dritte Bedingung wurde in Studie eins eine Entscheidung über die semantische Relation von auditiv präsentierten Nomen- und Verbpaaren ("eat" - "orange" versus "knit" - "glasses") verlangt, Studie zwei erforderte das Hören von konkreten Nomina. Die dritte Studie beinhaltete die stille Generierung von Basic-Level Nomen nach Vorgabe eines Oberbegriffes und im vierten Experiment wurde stilles Nachsprechen von Nichtwörtern verlangt. Zur Interpretation

wortartenspezifischer Effekte sind allein die Ergebnisse des dritten Experimentes heranzuziehen. Hier wurde Nomen- und Verbgenerierung jeweils mit der Ruhebedingung als auch miteinander verglichen. Die Autoren fanden ähnliche Aktivierungsmuster für Nomen- und Verbgenerierung. Relativ zur Ruhebedingung wurden linkshemisphärische Aktivierungen in posterioren Arealen des mesialen, inferioren und superioren Temporallappen entdeckt. Ferner wurden Aktivierungen im posterioren, inferioren Parietallappen, der temporo-parietalen Verbindungsstelle sowie in präfrontalen und prämotorischen Arealen gefunden. In der rechten Hemisphäre zeigten sich Aktivierungen im S. temporalis superior, in der anterioren Insula sowie im frontalen operculum und im S. präcentralis. Aktivierungen im supplementär motorischen Areal (SMA) und im anterioren G. cinguli wurden beidseits entlang der Mittellinie gefunden. Subkortikale Aktivierungen traten im Kopf des N. caudatus und beidseits im Thalamus auf. Die Verbgenerierung führte relativ zur Nomengenerierung zu stärkeren Aktivierungen im linkshemisphärischen G. frontalis inferior und S. präcentralis sowie im S. temporalis inferior, in der temporo-parietalen Verbindungsregion und beidseits im SMA. Der entgegengesetzte Kontrast zeigte stärkere Aktivierungen im rechtshemisphärischen S. frontalis superior und beidseits im G. cinguli anterior und im S. callosomarginalis. Im Rahmen dieser Studie konnte keine anterior-posterior Dissoziation nachgewiesen werden. Die Autoren betonten, dass eine sehr ähnliche Aktivierungsverteilung für den Nomen- und Verbabruf vorliegt. Verben verursachten jedoch stärkere Aktivierungen. Aus welchem Grund Verben das gemeinsame neurofunktionelle System stärker aktivieren als Nomen, konnte nicht geklärt werden. Sowohl für den Abruf von Nomen als auch von Verben wurden Aktivierungen in linkshemisphärischen Regionen des inferolateralen Temporallappens berichtet. Die Autoren vermuten eine Beteiligung dieser Regionen an Wortabrufprozessen.

Perani und Kollegen (1999a) untersuchten die Nomen- und Verbverarbeitung in einer PET Studie mit rezeptivem Paradigma. 14 männliche Versuchspersonen absolvierten eine visuelle lexikalische Entscheidungsaufgabe mit konkreten und abstrakten Nomen und Verben. Alle Stimuli waren hochfrequent und nach Frequenz, Wortlänge sowie Silbenzahl gematcht. Lexikalische Entscheidungen über Verben relativ zu Nomen führten zu linkshemisphärischen Aktivierungen des G. frontalis medius und inferior, des G. temporalis medius und superior, des superioren Parietallappens, des G. occipitalis inferior, des G. lingualis und des rechtshemisphärischen N. lentiformis. Der entgegengesetzte Kontrast ergab keine signifikanten Voxel bei der definierten statistischen Schwelle von $p < 0,001$ (Voxel-Level, unkorrigiert). Die Autoren berichteten ferner einen Effekt der Abstraktheit. Abstrakte Stimuli führten zu deutlich höherer Aktivierung in frontalen und temporalen Regionen beider Hemisphären sowie im G. cinguli und der Amygdala. Die Reaktionszeiten für Nomen und Verben unterschieden sich nicht. Zusammenfassend fanden Perani et al. überwiegend gleiche Aktivierungsmuster für Nomen und Verben. Verben aktivierten

jedoch das gemeinsame neurofunktionelle Set stärker als Nomen. Nur wenige Areale (Broca Areal und G. temporalis medius) wurden spezifisch in der Verbbedingung aktiv. Die Autoren interpretierten die Daten als Evidenz für ein inkomplett überlappendes neurologisches Substrat für die Verarbeitung von Nomen und Verben (vgl. auch Cappa & Perani 2003). Stärkere und spezifische Aktivierungen für Verben seien durch einen automatischen Zugriff auf syntaktische Informationen verursacht, die mit dem Verbabruf einherginge. Insgesamt kann eine neurofunktionelle Nomen/Verb Dissoziation durch die Studie jedoch nicht bestätigt werden, da die bildgebenden Daten statistisch nicht korrigiert wurden. Im Falle einer Korrektur könnten die als verbsspezifisch gewerteten Aktivierungen verloren gehen. Warburton et al.'s als auch Perani et al.'s Untersuchung deuten auf ein gemeinsames neuronales System für die Verarbeitung von Nomen und Verben hin, wobei Verben innerhalb des Systems stärkere (und eventuell spezifische) Aktivierungen verursachen. Keine der beiden Studien liefert Evidenz für eine anterior-posterior Dissoziation.

In einer Serie von mehreren PET und fMRI Studien untersuchten Tyler und Kollegen die neuronale Repräsentation der Wortarten Nomen und Verb (Tyler et al. 2001, 2003, 2004). In Tyler et al. (2001) werden zwei PET Studien beschrieben, die rezeptive Verarbeitungsprozesse mit visuellen lexikalischen und semantischen Entscheidungsaufgaben untersuchten. Im ersten Experiment (visuelles lexikalisches Entscheiden) wurden Nomen und Verben nach Wortlänge und Frequenz kontrolliert, während die Vorstellbarkeit der Items systematisch variiert wurde. In der Kontrollbedingung sollte das Graphem "x" aus einer Konsonantenkette detektiert werden. Die funktionell-bildgebenden Daten wurden mit einem „fixed-effects model“ analysiert (vgl. Abschnitt 1.4.2.5.2). Die statistische Schwelle lag bei $p < 0,05$ (Voxel-Level, korrigiert für multiple Vergleiche). Tyler et al. fanden in dieser Untersuchung weder einen Effekt der Wortart noch einen Effekt der Vorstellbarkeit. Einzig die Reaktionszeiten zeigten einen signifikanten Vorteil für Nomen gegenüber Verben.

Im zweiten Experiment (semantische Kategorisierung) wurden drei Wörter einer semantischen Kategorie visuell präsentiert, die Teilnehmer sollten entscheiden, ob ein anschließend präsentiertes viertes Wort derselben semantischen Kategorie entstammt oder nicht. In der Kontrollbedingung wurden jeweils drei Konsonantenketten bestehend aus gleichartigen Kleinbuchstaben präsentiert. Die Probanden sollten entscheiden, ob eine nachfolgend dargebotene Konsonantenkette aus Großbuchstaben dasselbe Graphem repräsentiert. Die Items waren kontrolliert nach Wortlänge und Vorstellbarkeit, hier wurde die Frequenz der Items systematisch variiert. Die Ergebnisse wurden auf einem statistischen Niveau von $p < 0,05$ (Voxel-Level, korrigiert für multiple Vergleiche) angegeben. Wieder fanden die Autoren keine Voxel, die als signifikant erachtet werden können, weder für den Effekt der Wortart noch für den Effekt der Frequenz. Die Reaktionszeiten zeigten wiederholt einen signifikanten Vorteil für Nomen. Tyler et al. schlussfolgern daher, dass Nomen

und Verben in einem undifferenzierten Netzwerk verankert sind, dass weder nach Wortarten noch nach anderen Merkmalen (Vorstellbarkeit etc.) unterteilt ist. Differierende Aktivierungsmuster in Nomen/Verb Experimenten mit funktionell bildgebenden Verfahren sehen die Autoren als Artefakt an, der auf Mängel beim Matching zurückzuführen ist. Anzumerken ist jedoch, dass an beiden Studien nur jeweils neun bzw. acht Personen teilnahmen. Möglicherweise sind die Ergebnisse der beiden Studien auf die kleine Stichprobe zurückzuführen. Darüber hinaus erlaubt die statistische Auswertung mit dem „fixed effects model“ keine Rückschlüsse auf die gesamte Population der Menschen sondern lediglich eine Aussage über die untersuchte Stichprobe.

Gegen eine wortklassenspezifische neuronale Repräsentation sprechen auch die fMRT Daten von Li et al. (2004) für den mandarin-chinesischen Sprachraum. Mandarin-Chinesisch zeichnet sich unter anderem dadurch aus, dass sich Nomen und Verben durch fehlende grammatische Marker schlecht voneinander abgrenzen. Die Sprache verfügt dadurch über viele Wortklassen-ambige Nomen und Verben (Li et al. 2004). Es wurde ein Experiment zur visuellen lexikalischen Entscheidung über Nomen, Verben, wortklassen-ambige Items und Pseudowörter durchgeführt. Die Studie kommt zu dem Ergebnis, dass visuelles lexikalisches Entscheiden über Nomen und Verben relativ zu einer Fixationsaufgabe ein weit verteiltes, bilaterales Aktivierungsmuster verursacht, das alle Hirnlappen einschließt. Für den direkten Vergleich zwischen den Wortarten finden die Autoren keine signifikanten Aktivierungen. Bei einer statistischen Schwelle von $p < 0,001$ (unkorrigiert, random-effects Analyse, $n=8$ Teilnehmer) zeigte sich lediglich eine Aktivierung des N. caudatus für Nomen im Vergleich mit Verben. Die Autoren interpretierten diesen Effekt als Gegenevidenz zur anterior/posterior Dissoziation. Wie bereits Tyler et al. (2001) betrachten sie Wortarteneffekte bei Nomen und Verben in bildgebenden Studien lediglich als einen Artefakt durch nicht kontrollierte Parameter, wie z.B. Erwerbssalter, Wortfrequenz oder konzeptuelle Komplexität. Ebenso wie bei Tyler et al. (2001) kann das Ausbleiben signifikanter Effekte auch durch die geringe Stichprobe verursacht sein. Bei einer random-effects Analyse mit nur acht Personen besteht eine erhebliche Gefahr falsch negativer Ergebnisse.

Dem gegenüber stehen Studien, die Evidenzen für distinkte kortikale Areale der Nomen- und Verbverarbeitung berichten. In einer Folgestudie mit fMRT untersuchten Tyler et al. (2003) Objekte und damit assoziierte Handlungen. Mit einer visuellen Kategorisierungsaufgabe wurde die semantische Zusammengehörigkeit von Items aus vier experimentellen Bedingungen überprüft (Tiere, Werkzeuge, biologische Handlungen, mit Werkzeugen assoziierte Handlungen). Die Nomen erschienen stets im Plural, Verben wurden in der Verlaufsform präsentiert. Tyler et al. konnten zeigen, dass Werkzeugnamen und Handlungen, die mit Werkzeugen assoziiert sind, das gleiche Set an neuronalen Strukturen aktivieren (cluster-level $p < 0,05$, korrigiert für multiple Vergleiche). Wurde die statistische Schwelle herabgesetzt, zeigten sich stärkere Aktivierungen für

Handlungen, die mit Werkzeugen assoziiert sind gegenüber Werkzeugen an sich im linken G. frontalis inferior und der Insula. Für biologische Handlungen relativ zu Tiernamen konnte bei der definierten statistischen Schwelle eine stärker ausgeprägte Aktivierung im linken G. frontalis inferior festgestellt werden. Die Herabsetzung der Schwelle hatte zusätzliche Aktivierungen im linken G. temporalis medius zur Folge. Die Autoren führten den Unterschied in der Aktivierungsstärke zwischen Nomen und Verben auf unterschiedliche morphologische Eigenschaften der Wortarten zurück. Nicht die categoriespezifische Repräsentation der Wortarten sei für den Aktivierungsunterschied verantwortlich, sondern eine differierende morphosyntaktische Verarbeitung.

In einer weiteren fMRT Studie versuchten Tyler et al. (2004) sich der Rolle der Morphologie bei der Verarbeitung von Nomen und Verben systematisch zu nähern. Die Probanden sahen Sequenzen von drei graphematischen Wörtern. Über das jeweils dritte Item (target) sollte eine semantische Entscheidung gefällt werden (semantisch verwandt/nicht-verwandt bezogen auf die ersten zwei Items). Die Items wurden regulär flektiert mit dem Suffix -s bzw. -ing. Die Autoren fanden vergleichbare Aktivierungsmuster in frontalen und temporalen Regionen für Nomen und Verben gegenüber der Baseline. Im direkten Vergleich zeigte sich jedoch eine stärker ausgeprägte Aktivierung für Verben im G. frontalis inferior. Tyler et al. verglichen dieses Ergebnis mit den strukturellen MR Bildern von drei aphasischen Patienten, die Probleme mit der Verbmorphologie zeigten (Tyler 1992; Tyler et al. 2002; Longworth et al. 2002). Bei allen Patienten konnte eine Läsion im linken inferioren präfrontalen Kortex und im linken superioren temporalen Kortex festgestellt werden. Die Autoren schlagen daher vor, dass Nomen und Verben hinsichtlich der neuronalen Repräsentation ihrer Wortstämme nicht differieren, da keine Unterschiede im Bereich des Temporallappens gefunden wurden. Sie vermuten jedoch, dass morphologisch komplexe Verben in morphosyntaktische Prozesse involviert sind und daher zusätzliche Aktivierungen im linken inferioren frontalen Kortex hervorrufen.

Auch Shapiro et al. (2005) verwendeten morphologische Markierungen bei der Untersuchung von Nomen und Verben im Deutschen. In ihrer PET Studie verwendeten sie ein ähnliches Paradigma wie in einer früheren rTMS Studie (Shapiro et al. 2001 für das Englische). Die Teilnehmer sollten den Singular (bei Verben 1. Person Singular) oder Plural zu spezifischen deutschen Nomen, Verben (Fahne/Fahnen; kaufe/kaufen) oder Pseudowörtern bilden. Die Datenanalyse ergab, dass Verben/Pseudoverben versus Nomen/Pseudonomen mehr Aktivierung im linken rostralen präfrontalen Kortex produzierten, besonders in superior gelegenen Abschnitten. Reale Verben riefen zusätzliche Aktivierung im linken inferioren frontalen Kortex hervor. Der entgegengesetzte Kontrast führte zur Aktivierung von bilateralen temporo-parietalen Regionen. Für reale Nomen zeigten sich ferner Signalintensitäten im rechten G. temporalis superior, im mittleren linkshemisphärischen G. fusiformis sowie rechtsseitig in der insula und im cerebellum. Den

Autoren zufolge spricht das Ergebnis dafür, dass „*nouns and verbs are processed by spatially and/or functionally distinct neural populations*“ (Shapiro et al. 2005: 1064), genauer gesagt spricht es sogar für eine anterior-posterior Dissoziation bei der Verarbeitung der Wortkategorien. Die Autoren vermuten, dass durch die Verwendung einer so genannten “grammatischen” Aufgabe der neuronale Unterschied zwischen den Wortklassen erst evident wird. Sie vermuten, indem sie sich auf bildgebende Studien berufen, die keine Verarbeitungsdifferenzen fanden:

„One reason for this puzzling negative finding might be that the tasks used in neuroimaging studies to date have engaged processing mechanisms that do not distinguish between nouns and verbs” (Shapiro et al. 2005: 1059)

Hier muss jedoch erneut angemerkt werden, dass Flexion und Pluralbildung von Einzelwörtern eher lexikalische als grammatische Prozesse sind. Die Studie unterstützt die Ergebnisse von Tyler et al. (2004).

Evidenz für die distinkte neuronale Verarbeitung der Wortkategorien kommt auch von Tranel et al. (2005). Sie verwendeten in einer PET Studie Fotos von homonymen und nicht-homonymen Nomen und Verben, die overt benannt werden sollten. Nomen verursachten relativ zur Baseline Aktivierungen im linken posterior/ventralen inferioren Temporallappen, Verben hingegen im linken frontalen Operculum und in der linken mesialen Temporalregion (MT) sowie im linken inferioren Temporallappen. Dieses Muster wurde vom Faktor Homonymität beeinflusst. Homonyme Nomen generierten Aktivierung im linken frontalen Operculum und im linken inferioren Temporallappen, nicht-homonyme Nomen dagegen nur im linken inferioren Temporallappen. Nicht-homonyme und homonyme Verben verursachten Aktivierungen im linken frontalen Operculum sowie im linken mittleren und inferioren Temporallappen. Dabei war die Aktivierung im frontalen Operculum und im mittleren Temporallappen bei homonymen Verben deutlich geringer ausgeprägt als bei nicht-homonymen Verben.

Die Autoren schlossen aus den Daten, dass nicht-homonyme Nomen nur das „Nomen-System“ aktivieren (linker inferiorer Temporallappen), homonyme Nomen dagegen zusätzlich einen Teil des „Verb-Systems“ (linkes Operculum). Demnach weisen die homonymen Varianten der Wortklassen stärkere Aktivierungsüberlappungen auf als ihre nicht-homonymen Gegenstücke. Die einzige Gemeinsamkeit zwischen der Nomen- und Verbproduktion unabhängig von der Homonymität bestand in der Aktivierung des linken inferioren Temporallappens, der den Autoren zufolge für Wortabrufmechanismen beim Objektbenennen spricht. In der Verbbedingung entstünde die Aktivierung durch automatischen Abruf der abgebildeten Argumente des zu produzierenden Verbs. Insgesamt interpretieren die Autoren die Ergebnisse als Beleg für räumlich distinkte neuronale Korrelate der Nomen- und Verbproduktion (mit einer Einschränkung im linken inferioren Temporallappen). Sie sehen die Daten als konsistent mit der Annahme, dass die

grammatische Klasse einen Einfluss auf den Wortabrufprozess hat. Die Ergebnisse unterstützen jedoch nicht die klassische anterior-posterior Dissoziation, da auch in der Verbbedingung Aktivierungen des Temporallappens nachgewiesen wurden.

Auch die Arbeit von Kable et al. (2002) unterstützt die Annahme von neuronalen Unterschieden in der Nomen- und Verbverarbeitung. Die Autoren untersuchten mit fMRT den Zugriff auf Wissen über Nomen und Verben. Es wurde konzeptuelles Matching von Wörtern und Bildern verwendet. Sowohl für Objekte als auch für Handlungen wurden relativ zur Kontrollaufgabe Aktivierungen im inferior frontalen, prämotorischen, inferior parietalen, inferior temporalen und okzipitalen sowie lateral temporalen Kortex beobachtet. In der Bildbedingung führte der Zugriff auf Handlungswissen gegenüber Objektwissen zu stärkeren Aktivierungen in den Regionen MT und MST bilateral sowie in den nahe gelegenen lateralen Aspekten des temporalen Kortex. Die Wortbedingung führte zu linkslateralisierten Aktivierungen in Gebieten, die anterior und dorsal zur Region MT/MST liegen. Der jeweils entgegengesetzte Kontrast zeigte keine signifikanten Voxel. Dieses Ergebnis stellt Gegenevidenz zur klassischen anterior/posterior Dissoziation dar, da im direkten Kontrast mit Nomen in der Verbbedingung ausschließlich temporale Regionen aktiv wurden. Die Aktivierung von MT/MST ist den Autoren gemäß darauf zurückzuführen, dass Verben Bewegungsmerkmale tragen.

Aufschluss über kortikale Aktivierungsmuster beim Objekt- und Handlungsbenennen geben auch Studien, die zwar nicht primär auf die Verarbeitung von Nomen und Verben ausgerichtet sind, aber dennoch diesbezüglich relevante Befunde liefern (Moore & Price 1999b; Murtha et al. 1999; Etard et al. 2000; Damasio et al. 2001, Hernandez et al. 2001; Whatmough et al. 2001). Diese „Nebenbefunde“ sollen hier kurz beschrieben werden.

Hernandez et al. (2001) untersuchten in einer fMRT Studie „language switching“ bei sechs spanisch-englisch bilingualen Probanden mit Englisch als dominanter Sprache. Neben Aufgaben zum „language switching“ beinhaltete das Untersuchungsparadigma auch das Benennen von Objekt- und Handlungsbildern in der dominanten Sprache. Der direkte Vergleich von Aktivierungen für Nomen und Verben ergab keine signifikanten Voxel. Die Ergebnisse sprechen für stark überlappende neuronale Systeme, die der Verarbeitung beider lexikalischer Klassen unterliegen. Zu Recht betrachten die Autoren diesen Nebenbefund mit Vorsicht, denn obwohl die Studie mit einem 3 Tesla Tomographen durchgeführt wurde, bestand die Probandengruppe nur aus sechs Personen. Hernandez et al. erwogen daher, dass der fehlende Effekt auf mangelnde statistische Power zurückzuführen sei, die Herabsetzung der statistischen Schwelle ergab jedoch auch keinen signifikanten Unterschied zwischen den Wortklassen.

Hanna Damasio und Kollegen (2001) untersuchten in einer PET Studie neuronale Korrelate für das Benennen von Handlungen und räumlichen Relationen. Neben anderen Bedingungen beinhaltete das Paradigma auch Aufgaben zum Benennen von Handlungen mit und ohne Werkzeugen/Utensilien und zum Benennen von Objekten (Werkzeuge/Utensilien) sowie Kontrollaufgaben (face orientation task). Das Benennen von Handlungen führte relativ zur Kontrollaufgabe zu Aktivierungen des linken frontalen Operculums, des linken G. frontalis medius posterior und des linken inferioren Temporallappens. Bilaterale Aktivierungen wurden im inferioren Parietallappen festgestellt. Im Vergleich zum Benennen von Objekten führte das Benennen von Handlungen zu bilateralen Maxima in der posterioren temporo-okzipitalen Schnittstelle, einschließlich der Region MT (mittlerer Temporallappen). Das Benennen von Handlungen relativ zum Benennen von räumlichen Ausdrücken zeigte ebenfalls aktivierte Voxel in der Region MT, die jedoch die statistische Schwelle verfehlten. Die Autoren schlossen aus den Ergebnissen, dass das Benennen von Handlungen mit Prozessen der Bewegungsvorstellung assoziiert ist. Ferner nahmen sie an, dass die Beteiligung des linken inferioren, posterioren Temporallappens beim Bildbenennen mit dem automatischen Wortabruf von Objekten assoziiert ist, die auf den Handlungsbildern enthalten sind.

Eine PET Studie von Moore & Price (1999b) gibt Auskunft über die Verarbeitung von Objekten und Wörtern. Dabei wurde neben dem Lesen und Wahrnehmen von graphematischen Wörtern auch das Objektbenennen untersucht. Für das Benennen von Objekten relativ zum Wortlesen wurden Aktivierungen im medialen anterioren G. fusiformis beobachtet. Die Autoren assoziierten diese Aktivierung mit semantischen Verarbeitungsprozessen. Eine weitere aktivierte Region, die im Zusammenhang mit dem Wortabruf interpretiert wurde (vgl. Damasio et al. 2001), zeigte sich im G. fusiformis posterior.

Um spezifische Probleme des Objektbenennens geht es auch in den PET Studien von Murtha et al. (1999), Whatmough et al. (2001) und Etard et al. (2000). Übereinstimmend wurde hier festgestellt, dass Objektbenennen bilaterale Areale im Bereich des Okzipitallappens, der inferioren occipitotemporalen Schnittstelle und des G. fusiformis hervorruft. Inkonsistente Ergebnisse liegen zur Beteiligung des G. parahippocampalis (nur bei Murtha et al. 1999 und Etard et al. 2000) und der linken inferioren Frontalregion einschließlich des Broca Areals (nur bei Murtha et al. 1999) vor.

Zusammenfassend führten funktionell-bildgebende Studien zu widersprüchlichen Ergebnisse hinsichtlich der Nomen- und Verbverarbeitung. Das Spektrum erstreckt sich über:

1. Kein Unterschied in der Verarbeitung von Nomen und Verben (Tyler et al. 2001; Hernandez et al. 2001; Li et al. 2004)
2. Gleiches neuronales Korrelat, aber Verben aktivieren die Strukturen stärker als Nomen (Warburton et al. 1996; Tyler et al. 2003, 2004)
3. Fast gleiches neuronales Korrelat, Verben aktivieren die Strukturen stärker als Nomen, wenige spezifische Regionen für die Verbverarbeitung (Perani et al. 1999a)
4. Überwiegend distinkte neuronale Verarbeitung der Wortkategorien (Tranel et al. 2005)
5. Klassische anterior-posterior Dissoziation (Shapiro et al. 2005)

Stärkere Aktivierungen für Verben bzw. distinkte neuronale Korrelate der Wortklassen werden darüber hinaus unterschiedlich interpretiert. So nehmen einige Autoren syntaktische bzw. morphologische Ursachen für eine Aktivierungsdifferenz an (Perani et al. 1999a; Tyler et al. 2003, 2004; Shapiro et al. 2005), andere interpretieren sie als Artefakt (Tyler et al. 2001, Li et al. 2004). Als Ursache für die inkonsistenten Ergebnisse können einerseits formale Aspekte herangeführt werden. Die Studien sind oftmals methodisch schwer vergleichbar aufgrund der unterschiedlichen Untersuchungsverfahren (fMRT/PET), Paradigmen, Stimulussets, Aufgabenstellungen oder Auswertungsverfahren. In einigen Studien (Warburton et al. 1996, Li et al. 2004) werden sehr kleine Stichproben analysiert oder es werden statistische Auswertungsverfahren verwendet, die keine Rückschlüsse auf die gesamte Population erlauben und dadurch nur eingeschränkt aussagekräftig sind (Tyler et al. 2001). Hinzu kommen die Beschränkungen der funktionellen Bildgebung an sich. Zu Recht weisen Corina et al. (2005, vgl. Abschnitt 1.2.1) darauf hin, dass funktionell-bildgebende Verfahren z.B. nicht in der Lage sind, sehr nah beieinander liegende Areale mit unterschiedlicher Funktion zu erfassen. Aufgrund der großen interindividuellen Variabilität sei das vor allem dann nicht möglich, wenn die Daten über eine Probandengruppe gemittelt werden. Dies könnte aus Sicht der Autoren ein weiterer Grund für die inkonsistente Befundlage sein.

Generell kann aus den existierenden Studien jedoch abgeleitet werden, dass spezifische kortikale Strukturen in die Nomen- und Verbverarbeitung eingebunden sind. Dazu gehören der linke inferiore präfrontale Kortex, der G. cinguli, inferiore parietale Strukturen und bilaterale mesiale sowie inferiore temporale Regionen. Die Region MT an der temporo-okzipitalen Schnittstelle wird häufig mit der Verbverarbeitung assoziiert. Laterale infero-temporale Kortices, z.B. das basal temporale Sprachareal (hier BA 37), werden mit Wortabrufmechanismen, insbesondere bei Nomen, in Verbindung gebracht. Obwohl aphasische Leistungsdissoziationen als auch distinktive kortikale Areale häufig im Zusammenhang mit dem Benennen von Nomen und Verben beobachtet wurden, existiert nur eine funktionell-bildgebende Studie, in der Benennprozesse für diese Wortkategorien untersucht wurden (Tranel et al. 2005). In dieser Studie konnte zwar eine räumlich distinktive

Verarbeitung der Wortkategorien gezeigt werden, jedoch wurde keine Evidenz für eine anterior-posterior Dissoziation gefunden. Insgesamt muss die Befundlage als sehr uneinheitlich bewertet werden.

3.3.4.6 Magnetenzephalographie (MEG)

Zwei Forschungsgruppen (Fiebach et al. 2002b; Sörös et al. 2003) verwendeten MEG, um Aufschluss über die neuronalen Korrelate von Nomen und Verben zu erlangen. Sörös et al. (2003) untersuchten 10 gesunden Probanden und einen aphasischen Patienten (JP) während des Benennens von Objekt- und Handlungsbildern. JP (Schlaganfall, 2 Jahre post onset) wies linkshemisphärische Läsionen im Gebiet des posterioren Parietallappens und des superioren Temporallappens auf. Beim Benennen zeigte er bessere Leistungen für Verben im Vergleich zu Nomen. Das Stimulusmaterial bestand aus schwarz-weiß Strichzeichnungen von Handlungen und Objekten. Die Zeichnungen waren so angelegt, dass auf jedem Bild gleichzeitig die zu benennende Handlung und das zu benennende Objekt enthalten war. In der Nomenbedingung wurde das zu benennende Objekt optisch hervorgehoben, die Handlung trat dagegen durch veränderte Zeichentechnik in den Hintergrund. In der Verbbedingung wurde graphisch auf die Handlung fokussiert. Jedes Bild wurde, entsprechend verfremdet, einmal in der Nomenbedingung und einmal in der Verbbedingung dargeboten. Die Autoren wollten auf diese Weise identischen visuellen Input für beide Bedingungen schaffen, was durch die Verfremdung jedoch nicht gegeben war. Die visuelle Komplexität der Zeichnungen wurde nicht gesondert überprüft, auch wird nicht berichtet, ob sich Objekt- und Handlungsbilder in der Benennübereinstimmung unterschieden. Das Stimulusmaterial wurde auf Stammfrequenz und Wortlänge kontrolliert. Ein visuell präsentiertes Schlüsselwort (object/does) vor jedem Bild sollte sicherstellen, dass die erwartete Wortkategorie (Nomen/Verb) produziert wurde. Es wurde eine ouverte Reaktion verlangt. Obgleich die Idee der Autoren, Handlung und Objekt in einer Abbildung zu präsentieren sehr interessant ist, birgt dieses Stimulusmaterial das Risiko des gleichzeitigen automatischen Zugriffs auf das Objekt und die Handlung, wodurch Nomen- und Verbbedingung letztlich nicht mehr voneinander abzugrenzen sind.

Die Kontrollpersonen und JP reagierten unerwarteter Weise signifikant schneller in der Verbbedingung. Dieses Ergebnis ist ungewöhnlich, da in der Literatur meist ein Vorteil für Nomen gefunden wird (u.a. Bogka et al. 2003; Cuetos & Alija 2003; Szekely et al. 2005;). Möglicherweise trug die verfremdete Darstellung der Bilder zu diesem Ergebnis bei. Insgesamt wird eine Benennübereinstimmung von 92% während des MEG Experimentes berichtet, ob aber ein signifikanter Unterschied zwischen den Bedingungen auftrat, bleibt ungewiss. Die Gruppe der gesunden Versuchspersonen zeigte für beide Bedingungen eine sehr ähnliche kortikale Dynamik in der räumlichen und zeitlichen Dimension. Aktivierungen breiteten sich von okzipitalen über

temporo-parietale bis zu linkshemisphärisch frontalen Regionen aus, ohne die konsistente Beteiligung des Broca oder Wernicke Arealen. Hinweise auf eine anterior-posterior Dissoziation wurden nicht gefunden.

JP hingegen zeigte spezifische Aktivierungsmuster für Nomen, die sich von Verben und von den Ergebnissen der Kontrollgruppe unterschieden. Für die Produktion von Nomen wurden stärkere Aktivierungen des Broca Arealen und nachfolgend des linken, mittleren Temporallappens beobachtet. Die Autoren interpretierten dieses Ergebnis als zeitlich abweichende und gestörte Aktivierung des Broca Arealen bei JP und damit als Dissoziation der Aktivierungsmuster für das Nomen- und Verbbenenen. Sie schlussfolgern, dass bei gesunden Personen keine Verarbeitungsunterschiede zwischen den Wortarten bestehen, Unterschiede aber evident werden bei entsprechend gestörten aphasischen Patienten.

Fiebach et al. (2002b) hingegen finden auch bei gesunden Probanden einen Aktivierungsunterschied für Nomen und Verben, jedoch nur dann, wenn ein minimaler syntaktischer Kontext (Pronomen bei Verben, Artikel bei Nomen) angeboten wird. Bei einer Entscheidungsaufgabe über die Wortkategorie wurden Nomen und Verben mit und ohne syntaktischen Kontext auditiv präsentiert. Die Autoren verglichen deren Aktivierungen in Abhängigkeit vom syntaktischen Kontext. Während isolierte Nomen und Verben nicht zu kategoriespezifischen Aktivierungen in der linken Hemisphäre führten, zeigte sich in der Kontextbedingung Evidenz für eine anterior-posterior Dissoziation. Dabei elizitierten Nomen relativ zu Verben stärkere Felder über der linken posterioren Temporalregion, der entgegengesetzte Kontrast hingegen führte zu stärkeren Reaktionen in linken anterioren Regionen. Die Autoren schlossen aus diesen Ergebnissen, dass kategoriespezifische Aktivierungen des Kortex für Nomen und Verben nur dann detektierbar sind, wenn eine syntaktische Information für die Lösung der Aufgabe abgerufen werden muss.

3.3.5 Subkategorieeffekte bei Nomen

Wie bereits in Abschnitt 3.1 dargestellt wurde, ist die Gruppe der Nomen keineswegs homogen. So lassen sich aus theoretischer Sicht vor allem semantische Subgruppen unterscheiden (z.B. Eigennamen und Gattungsbezeichnungen; Abstrakta und Konkreta etc.), auch eine Unterscheidung hinsichtlich grammatischer Merkmale ist möglich (Nomen mit/ohne Argumentposition, vgl. Collina et al. 2001, siehe dazu Abschnitt 3.3.6).

Die am häufigsten beschriebene semantische Dissoziation im Rahmen aphasischer Störungsbilder betrifft belebte versus unbelebte Nomina. Zahlreiche Studien belegen selektive Störungen für die Kategorien Tiere und Nahrungsmittel (u.a. Nielsen 1946; Warrington & Shallice 1984; Sartori & Job 1988; Silveri & Gainotti 1988; Hillis & Caramazza 1991a, b; De Renzi & Lucchelli 1994) oder selektive Störungen von Artefakten (u.a. Warrington & McCarthy 1983, 1987; Hillis & Caramazza

1991a, b; Sacchett & Humphreys 1992). In einzelnen Fällen konnten doppelte Dissoziationen nachgewiesen werden (Hillis & Caramazza 1991a, b). Kategoriespezifische Dissoziationen finden sich zuweilen auch für die Kategorien Tiere und Nahrungsmittel (u.a. Sheridan & Humphreys 1993; De Renzi & Lucchelli 1994), für abstrakte und konkrete Wörter (u.a. Warrington 1975, 1981; Shallice 1988a) sowie für Eigennamen von Personen (u.a. McKenna & Warrington 1978; Semenza & Zettin 1988, 1989; Shallice & Kartzounis 1993). Die Entdeckung kategoriespezifischer Störungen führte einige Forscher zu der Annahme, dass semantisches Wissen in Kategorien organisiert sei, die in spezifischen kortikalen Arealen verankert sind (für einen Überblick: Gainotti 2000; Forde & Humphreys 1999; Capitani et al. 2003).

Kategoriespezifische semantische Störungen, die belebte oder unbelebte Objekte selektiv betreffen, wurden von Warrington & Shallice (1984) und McCarthy & Warrington (1988) u.a. als Evidenz für eine modalitätsspezifische Organisation des semantischen Systems betrachtet. Danach werden Kategorien mit dem Merkmal [+belebt] (Tiere, Pflanzen, Nahrungsmittel) eher im visuell-semantischen System verarbeitet, da sie vorwiegend sensorisch-semantisches Wissen aktivieren, während Kategorien mit dem Merkmal [-belebt] (z.B. Werkzeuge, Möbel) aufgrund ihrer eher funktionell-assoziativen Merkmale im verbal-semantischen System verarbeitet werden. Diese Annahme wurde von Caramazza & Shelton (1998) kritisiert. Die Autoren führten erstens an, dass viele Studien, die kategoriespezifische Effekte nachweisen, nicht genau auf Parameter, wie Frequenz, Familiarität und visuelle Komplexität, kontrolliert sind. Weiterhin stellten sie fest, dass besonders der Parameter Familiarität einen starken Einfluss vor allem auf das Benennen belebter Objekte hat. Sartori et al. (1993) relativierten diesen Einwand, da in mehreren gut kontrollierten Studien kein Einfluss der Familiarität auf die asymmetrische Benennleistung gefunden werden konnte (vgl. Farah et al. 1991). Eine weitere Schwäche an der visuell/verbal bzw. belebt/unbelebt Dichotomie sahen Caramazza & Shelton (1998) in der verwaschenen Trennung zwischen den Kategorien:

„For example, the early paradigm cases J.B.R. and S.B.Y. [beides Patienten von Warrington & Shallice, 1984] were both impaired not only in processing the animal and plant categories but also foods. Clearly, there is no obvious way in which the food category could be easily subsumed within the living thing category (think of spaghetti, rice pudding, etc.).“ (Caramazza & Shelton 1998: 2).

Caramazza & Shelton (1998) stellten die Hypothese auf, dass evolutionärer Druck zur Entwicklung spezialisierter neuronaler Mechanismen geführt hat, die domänenspezifisches Wissen für die Kategorien Tiere, Pflanzen und unbelebte Objekte erfordern. Konzeptuelle und perzeptive Merkmale sind in diesem Wissen enthalten. Die einzigen „wahren“ kategoriespezifischen Defizite seien demnach die, die jene drei Kategorien betreffen. Forde & Humphreys (1999) kritisierten diese Hypothese, da erstens keine eindeutige Befundlage für eine dreigeteilte Organisation des

semantischen Wissens vorliegt und zweitens durch Caramazza & Shelton (1998) eine gleich häufige Störung der drei Kategorien vorausgesagt wird. Letzteres sei jedoch nicht der Fall (Forde & Humphreys 1999). Forde und Humphreys (1999) stellten fest, dass nach Hirnläsionen die Leistungen für belebte Objekte wesentlich öfter gestört sind, als die für nicht-belebte Objekte. Sie argumentierten, dass belebte Objekte einander strukturell ähnlicher sind als Artefakte und daher detaillierte Prozesse beim Erkennen und beim Abruf notwendig sind. Unbelebte Objekte seien eher in sensorischen und motorischen Modalitäten abgespeichert, so dass sie weniger anfällig sind bei einer Störung visueller Attribute.

Läsionsstudien zu kategoriespezifischen semantischen Störungen wurden u.a. von Silveri et al. (1991), Warrington & McCarthy (1983), Warrington & Shallice (1984), Damasio et al. (1996), Hodges et al. (1992) und Warrington (1981; für einen Überblick: Gainotti 2000) vorgelegt. So konnte gezeigt werden, dass bei Patienten mit Herpes Simplex Enzephalitis, einer viralen Erkrankung, die häufig bilaterale Läsionen in anterior gelegenen Regionen des mittleren und unteren Temporallappens hervorruft, kategoriespezifische Benennstörungen für belebte Objekte auftreten können (u.a. Silveri et al. 1991; Warrington & Shallice 1984). Ähnliche Beeinträchtigungen sind bei Semantischer Demenz festzustellen (Hodges et al. 1992). Diese degenerative Erkrankung ist auf lexikosemantische Verarbeitungsdefizite beschränkt und beruht auf einer umschriebenen Temporallappenatrophie. Häufig wird eine bilaterale Schädigung des anteriolateralen Temporallappens, besonders des temporalen Pols und des G. temporalis medius und inferior beschrieben (Hodges & Patterson 1996). Typischerweise tritt ein voranschreitender Verlust des expressiven und rezeptiven Vokabulars ein, der sich vor allem durch Benennstörungen für Namen von Personen, Orten und Objekten äußert (Mummery et al. 1999).

Gainotti stellte im Jahr 2000 eine Metaanalyse über 57 Personen mit kategoriespezifischen Störungen und deren zugrundeliegende Läsionsmuster vor. 47 Patienten davon zeigten Beeinträchtigungen für lebendige Objekte, während 10 Patienten Defizite bei unbelebten Objekten hatten. Er fasst die Ergebnisse der Analyse folgendermaßen zusammen:

„Our findings showed that there is a correlation between the locus of lesion and the patterns of categorical impairment: (a) a bilateral injury to the antero-mesial and inferior parts of the temporal lobes was found in patients with a category-specific semantic impairment for living things; (b) a lesion of the infero-mesial parts of the temporo-occipital areas of the left hemisphere was found in a group of patients showing a specific lexical impairment for members of the „plants“ category; (c) an extensive lesion of the areas lying on the dorso-lateral convexity of the left hemisphere was found in patients with a category-specific semantic impairment for man-made artefacts. Taken together, these results seem to show that the category-specific disorder is crucially related to the kind of semantic information processed by the damaged areas.“ (Gainotti 2000: 539)

Da es sich bei der Mehrheit der untersuchten Läsionsmuster im Fall von selektiven Störungen für

Nomen um posteriore Lokalisationen handelt, unterstützen diese Daten implizit die Hypothese der anterior-posterior Dissoziation für die Nomen- und Verbverarbeitung.

Läsions-Defizit-Studien für selektive Nomenstörungen korrespondieren teilweise mit bildgebenden Untersuchungen. Letztere widmeten sich v.a. lexikosemantischen Aspekten von Nomen (u.a. hoch frequent/niedrig frequent: Tyler et al. 2001; Fiebach et al. 2002a; hohes/niedriges Erwerbsalter: Fiebach et al. 2003; abstrakt/konkret: D'Esposito et al. 1997; Perani et al. 1999a; Wise et al. 2000; Tyler et al. 2001; Genus: Miceli et al. 2002). Die intensivsten Forschungsbemühungen waren jedoch auf kategoriespezifische Dissoziationen zwischen belebten und unbelebten Objekten gerichtet (u.a. Perani et al. 1995; Damasio et al. 1996; Martin et al. 1996; Perani et al. 1999b; Mummery et al. 1996, 1998; Moore & Price 1999a, b; Gorno-Tempini et al. 2000; Devlin et al. 2002a, Tyler et al. 2003; für einen Überblick: Devlin et al. 2002b). Einige ERP Studien befassten sich ebenfalls mit semantischen Subgruppen von Nomen und Verben (u.a. motorisch/visuell: Pulvermüller 1999; Pulvermüller et al. 1999b; Petrek 2004; konkret/abstrakt: Martin-Loeches et al. 2001; Propria/Appellativa: Müller & Kutas 1997; Numerale/Tierbezeichnungen/Eigennamen: Dehaene 1995; Tiere versus Werkzeuge: Kiefer 2001).

Eine der ersten funktionell-bildgebenden Studie zu dieser Thematik wurde von Martin et al. (1996) mit PET durchgeführt. Es sollten Strichzeichnungen benannt werden, die entweder unbelebte Objekte (Werkzeuge) oder belebte Objekte (Tiere) darstellten. Die Kontrollbedingung beinhaltete das passive Sehen von Pseudobildern und weißem Rauschen. Die Autoren fanden für unbelebte Objekte Aktivierungen der linken prämotorischen Region und des linken posterioren Temporallappens, während belebte Objekte Aktivierungen im medialen Okzipitallappen und im medialen inferioren Frontallappen hervorriefen. Die Autoren interpretierten das beobachtete Muster als Evidenz für eine kategoriespezifische Organisation des semantischen Systems.

Perani et al. (1995) konnten ebenfalls eine Aktivierung okzipitaler Regionen für Bilder von Tieren relativ zu Bildern von Gegenständen nachweisen. Für unbelebte Objekte wurden Aktivierungen im linken inferioren Frontallappen und im linken posterioren Temporallappen registriert. In einer Folgestudie (Perani et al. 1999b) stellten die Autoren fest, dass unabhängig von der Modalität der Stimulusdarbietung (Wörter bzw. Bilder) der linke G. fusiformis maßgeblich für die Verarbeitung belebter und der G. temporalis medius kritisch für die Verarbeitung unbelebter Items ist (vgl. Thompson-Schill et al. 1999).

Auch Damasio et al. (1996) fanden in ihrer PET Studie einen kategoriespezifischen Effekt für das Benennen von Fotos bekannter Personen, Tiere und Gegenstände. Das Benennen bekannter Personen aktivierte den ventrolateralen temporalen Pol beidseits sowie den G. temporalis medius.

Tiere und Gegenstände hingegen aktivierten hauptsächlich distinkte Regionen im Temporallappen, wobei Tiere eher eine anterior und lateral gelegene Region und Gegenstände eher posteriore Anteile des Temporallappens aktivierten. Diese Resultate korrespondieren mit Läsionsstudien der Autoren über 29 Patienten (Damasio et al. 1996).

Die Ergebnisse der bisherigen Untersuchungen im Bereich der funktionellen Bildgebung zeigen beinahe durchgängig categoriespezifische semantische Effekte für belebte und unbelebte Stimuli, die Lokalisation der Aktivierungen ist jedoch oft widersprüchlich. Devlin et al. (2002b) fassten verschiedene PET Studien (Mummery et al. 1996, 1998; Moore & Price 1999a, b; Gorno-Tempini et al. 2000; Phillips et al. 2002) in einem einfachen multifaktoriellen Design zusammen, wobei die semantischen Kategorien belebt und unbelebt über verschiedene Aufgabenstellungen untersucht wurden. Die Autoren stellten fest, dass reliable categoriespezifische Effekte nur über Wortabruf- und semantische Entscheidungsaufgaben beobachtet werden konnten. Belebte Objekte, v.a. Tiere, aktivierten dabei mediale Aspekte der anterioren temporalen Pole beider Hemisphären, während unbelebte Objekte, v.a. Werkzeuge, Aktivierungen im linken mittleren posterioren Temporallappen hervorriefen. Damit gelangten Devlin et al. (2002b) zu einem ähnlichen Ergebnis wie Gainotti (2000). Interessanterweise finden Devlin et al. (2002a) über zwei weitere PET und eine fMRT Studie keinerlei konsistente Ergebnisse, selbst wenn semantische Kategorisierungsaufgaben verwendet wurden.

Evidenz für categoriespezifische semantische Effekte geht auch aus einer ERP Studie zur semantischen Kategorisierung von Bildern und Wörtern hervor, die auf biologische (Tiere) und künstliche Objekte (Werkzeuge) referieren (Kiefer 2001). Frühe ERP Differenzen (160-200 ms) traten nur bei Bildern auf, was auf den Unterschied zwischen categoriespezifischen perzeptiven Prozessen hinweist. Spätere categoriespezifische Differenzen (300-500 ms) wurden für beide Inputmodalitäten beobachtet, was eher für semantische Verarbeitungsunterschiede spricht. Der Autor sieht in den Daten Hinweise darauf, dass semantisches Wissen in multiplen semantischen Subsystemen gespeichert ist.

Zusammengenommen liegt eine Vielzahl von Befunden zur Verarbeitung von semantischen Subkategorien der Nomen vor. Besonders die Verarbeitung belebter und unbelebter Nomen wurde mit verschiedensten Methoden untersucht, stets konnten categoriespezifische Effekte gefunden werden. Die mangelnde Konsistenz der Ergebnisse lässt jedoch nur vage Schlüsse hinsichtlich der neurofunktionellen Verarbeitung der Subkategorien zu. So zeigen sich Hinweise darauf, dass belebte Objekte, v.a. Tiere, eher bilateral im inferioren Teil des Temporallappens repräsentiert sind, während unbelebte Objekte eher linkshemisphärisch im posterioren temporalen Kortex verarbeitet werden.

3.3.6 Subkategorieeffekte bei Verben

Analog zur Kategorie der Nomen spaltet sich auch die Kategorie der Verben in Subgruppen auf, die sich einerseits aus theoretischen Erwägungen ergeben und andererseits in Verhaltensstudien empirisch verifiziert werden konnten. Obgleich einige Untersuchungen zu semantischen Subgruppen von Verben (u.a. Breedin & Martin 1996; Breedin et al. 1998; Kemmerer & Tranel 2000) durchgeführt wurden, galt das Interesse der Forschung in Verhaltensstudien zumeist grammatischen Aspekten, z.B. dem Einfluss der Argumentstruktur (u.a. Shapiro & Levin 1990, Thompson et al. 1997; Jonkers & Bastiaanse 1996, 1998; Gottfried et al. 1997; Jonkers 1999; Kim & Thompson 2000; Collina et al. 2001; De Bleser & Kauschke 2003; Luzzatti et al. 2002). Nur verhältnismäßig wenige Befunde zu Subkategorien von Verben liegen aus der Forschung mit ERP (Pulvermüller et al. 1999b, 2000, 2001; Petrek 2004; Hauk & Pulvermüller 2004) oder bildgebenden Verfahren (u.a. abstrakt/konkret: Perani et al. 1999a; Tyler et al. 2001; motorisch/kognitiv: Grossman et al. 2002) vor, dabei lag der Fokus ausschließlich auf den semantischen Subgruppen des Verbs.

Thompson et al. (1997) untersuchten 10 Agrammatiker mit Aufgaben zum Bildbenennen, zur Satzproduktion und zur Vervollständigung von Geschichten. Die Autoren stellten fest, dass die Patienten größere Schwierigkeiten bei transitiven im Vergleich zu intransitiven Verben hatten. Während die Leistungen bei ditransitiven und transitiven Verben konsistent am schlechtesten waren, schien die Zuweisung syntaktischer Funktionen bei weniger Argumenten oder invariabler Argumentstruktur leichter zu sein. Thompson et al. nahmen an, dass obligatorische Argumente beim Abruf des Verbs automatisch mitaktiviert werden. Mit anderen Worten: der Abruf eines Verbs bedeutet automatisch die Generierung eines ganzen Satzes. Dies verlangsamt das System und führe zu einem erschwerten Abruf. Der Schwierigkeitsgrad der Aufgabe nehme proportional zur grammatischen Komplexität des Verbs zu. In einer weiteren Studie mit sieben agrammatischen Patienten untersuchten Kim & Thompson (2000) den Einfluss der Argumentstruktur bei obligatorischen und optionalen intransitiven, transitiven und ditransitiven Verben auf die Verbproduktion. Die Autoren berichteten die gleiche Schwierigkeitshierarchie wie in der Vorläuferstudie sowohl für optionale als auch obligatorische Argumente. Sie sprachen sich dafür aus, dass eine höhere Anzahl an Argumenten den Abruf erschwert.

Luzzatti et al. (2002) untersuchten in einer Studie zur aphasischen Produktion von Nomen und Verben beim Bildbenennen (siehe Abschnitt 3.3.1) auch Effekte der grammatischen Subkategorien des Verbs. Die Kategorie der Verben beinhaltete ergative, intransitive und transitive Items. Über alle untersuchten Patienten und gesunde Kontrollpersonen zeigte sich kein Unterschied zwischen transitiven und intransitiven Verben, während die Leistung für ergative Verben signifikant schlechter war. Eine Tiefenanalyse der Daten offenbarte jedoch unterschiedliche Leistungsprofile

für flüssige und nicht-flüssige Patienten. Bei flüssigen Patienten zeigte sich das gleiche Leistungsbild wie bei den Kontrollpersonen. Nicht-flüssige Patienten hingegen erbrachten signifikant schlechtere Leistung für transitive im Vergleich zu intransitiven Verben. Auch hier war die schlechteste Performanz für ergative Verben zu beobachten. Die Autoren erklärten den Unterschied zwischen intransitiven und transitiven Verben mit einer größeren syntaktischen Komplexität der transitiven Verben. Sie vermuten, dass die schlechtere Leistung durch die höhere Anzahl an Argumenten bei transitiven Verben verursacht wurde.

Diese Ergebnisse stimmen auch mit den Daten von De Bleser & Kauschke (2003) und Collina et al. (2001) überein. De Bleser & Kauschke (2003) stellten sowohl für den Spracherwerb als auch für die gestörte Sprache fest, dass intransitive Verben früher erworben werden und weniger störungsanfällig sind als transitive Verben. Collina et al. (2001) untersuchten die Rolle der Argumentstruktur beim Bildbenennen bei drei italienischen Personen mit einer Aphasie. Das Stimulusmaterial enthielt Nomen und Verben ohne bzw. mit einer Argumentposition und transitive sowie ditransitive Verben. Die Autoren konnten erstens nachweisen, dass alle Patienten weniger Fehler bei argumentfreien Nomen im Vergleich zu Verben machten. Zweitens wiesen sie einen konsistenten Vorteil für argumentfreie Nomen gegenüber Nomen mit Argumentposition sowie für transitive Verben gegenüber ditransitiven Verben nach. Drittens zeigte sich kein signifikanter Unterschied, wenn die Leistung für Nomen und Verben mit Argumentposition statistisch verglichen wurde. Die Ergebnisse dieser Studie weisen darauf hin, dass die Komplexität der Argumentstruktur mit der grammatischen Kategorie konfundiert sein kann.

Jonkers (1999) dagegen berichtet den gegenteiligen Effekt. Seine Daten zeigen, dass die von ihm untersuchten Personen mit Broca Aphasie größere Schwierigkeiten bei intransitiven Verben hatten. Ebenso zeigten Jonkers & Bastiaanse (1996; vgl. Jonkers & Bastiaanse 1998) bei einer Untersuchung zum Einfluss der Transitivität auf das Benennen von Handlungsbildern, dass Personen mit Broca-Aphasie einen Vorteil für transitive Verben aufweisen. Sie schlussfolgerten, dass die Produktion der Verben leichter gelingt, umso mehr grammatische bzw. thematische Information ein Verb trägt. Unterstützende Befunde gehen aus der Studie von Davidoff & Masterson (1996) hervor, die feststellten, dass transitive vor intransitiven Verben erworben werden sowie aus den Daten von Gottfried et al. (1997), die 12 Aphasiker mit einem Nachsprechparadigma untersuchten. Das Material bestand aus transitiven, intransitiven und ergativen Verben. Auch sie beobachteten für obligatorisch transitive Verben die beste Leistung gefolgt von intransitiven und ergativen Verben.

Insgesamt zeigen die zusammengetragenen Daten, dass die Untersuchung kategoriespezifischer Störungen innerhalb der Gruppe der Verben erst eine relativ kurze Geschichte hat. Zum Einfluss

der Argumentstruktur auf die Verbverarbeitung werden in Verhaltensstudien widersprüchliche Ergebnisse dokumentiert. Es entsteht jedoch der Eindruck, dass die Argumentstruktur eine wesentliche Rolle in der Verbverarbeitung spielt, und möglicherweise ein bedeutsamer Faktor zur Erklärung der Nomen/Verb Dissoziation ist.

3.3.7 Zusammenfassung der neurolinguistischen Befunde

Die Ergebnisse der neurolinguistischen Studien zur Verarbeitung von Nomen und Verben sind vielfältig, komplex und inkonsistent. Über alle Untersuchungsmethoden hinweg zeigen sich widersprüchliche Befunde zur neurofunktionellen Distribution von Nomen und Verben. Übereinstimmende Befunde gehen in die Richtung, dass die Verbverarbeitung eher, jedoch nicht ausschließlich, mit Läsionen bzw. Aktivierungen im linken präfrontalen Kortex (LIPC) assoziiert ist. Vor allem bildgebende Studien weisen auch auf die Beteiligung der Region MT/MST im Temporallappen hin. Entgegen früheren Annahmen ist die Verarbeitung von Nomen nicht ausschließlich mit temporalen Läsionen bzw. Aktivierungen assoziiert. Relativ konsistente Befunde zeigen sich für neuronale Korrelate des Wortabrufs (z.B. beim Bildbenennen). Hier scheint das Basal Temporale Sprachareal (BTLA) eine maßgebliche Rolle zu spielen. Hinsichtlich der Subkategorien von Nomen liegen viele Untersuchungsergebnisse zur Verarbeitung von belebten und unbelebten Items vor. Unumstritten ist, dass es neurofunktionelle Dissoziationen zwischen diesen Subkategorien gibt, widersprüchlich sind jedoch die Annahmen zur genauen kortikalen Lokalisation. Die Forschung zu Subgruppen des Verbs beruht vornehmlich auf neurolinguistischen Verhaltensdaten. Es werden gegensätzliche Befunde im Bezug auf einen Vorteil von transitiven bzw. intransitiven Verben diskutiert. Weitere Forschung ist erforderlich, um hier zu klareren Ergebnissen zu gelangen.

3.4 Zusammenfassung des dritten Kapitels

In diesem Kapitel wurden unterschiedliche Aspekte der Nomen/Verb Distinktion, Dissoziation und neurofunktioneller Distribution aufgegriffen. Eindeutige Unterschiede zwischen den grammatischen Kategorien zeigten sich dabei hinsichtlich der linguistischen Merkmale. Spracherwerbsdaten und Studien zum Bildbenennen weisen auf unterschiedliche Erwerbsmuster bezüglich Nomen und Verben hin. Ob ein Nomen- oder Verbvorteil auftritt, hängt neben den Eigenschaften der Wortkategorien an sich auch von der linguistischen Struktur der Muttersprache sowie von kulturellen und pragmatischen Aspekten ab.

Neurolinguistische Forschungsergebnisse haben ergeben, dass es kategoriespezifische Störungen von Nomen und Verben gibt und, dass selektive Störungen für Verben überwiegen. Metaanalysen im Bereich der Läsionsstudien ergaben ferner, dass auch neurofunktionelle Dissoziationen für die Wortkategorien auftreten können. Die Ergebnisse aus Hirnforschungsstudien sind jedoch sehr

widersprüchlich. Sie reichen von der Identifikation separater neurofunktioneller Systeme für Nomen und Verben bis zum Nachweis eines gemeinsamen neurofunktionellen Systems.

Kategoriespezifische Effekte innerhalb einer Wortklasse scheinen Einfluss auf die Nomen/Verb Dissoziation zu haben (vgl. Davidoff & Masterson 1996) und müssen daher in die Diskussion um Verarbeitungsunterschiede mit einbezogen werden. Einzelne Studien haben gezeigt, dass neben Effekten der Subkategorie auch lexikalische Faktoren, wie z.B. Erwerbsalter, Frequenz, Vorstellbarkeit etc. eine Rolle spielen können.

Insgesamt wird deutlich, dass die Befunde von verschiedensten Komponenten abhängig sind. So spielt z.B. die Auswahl (abstrakte oder konkrete Stimuli) und Zusammenstellung des Stimulusmaterials (Matching-Faktoren) sowie die Art der Aufgabe (Bildbenennen, lexikalisches Entscheiden etc.) und die Präsentation der Stimuli (isolierter Stimulus, syntaktischer Kontext etc.) eine Rolle. Die Befunde scheinen ferner davon abhängig zu sein, ob gesunde oder sprachgestörte Personen untersucht werden und welche Untersuchungsmethode (CT, MRT, fMRT, rTMS, MEG, elektrokortikale Stimulation) zum Einsatz kommt.

4 Der Einfluss des Erwerbsalters auf das Benennen von Objekt- und Handlungsbildern

Das Benennen von Bildern, insbesondere von Objektbildern, ist ein viel untersuchtes Paradigma in der Psycho- und Neurolinguistik. Zwei Parameter sind dabei in der Forschung von besonderer Bedeutung: die Benennlatenz und die Benenngenauigkeit. Seit mehreren Dekaden wurde systematisch untersucht, welche linguistischen Faktoren einen Einfluss auf diese Parameter haben. Die zentrale Frage war und ist: warum werden einige Items schneller, leichter und fehlerfreier benannt als andere? In früheren Studien wurde angenommen, dass die Frequenz eines Wortes ein wichtiger Faktor beim Objektbenennen ist (Oldfield & Wingfield 1965). Neuere Studien zeigen ein wesentlich komplexeres Bild. Zunehmend wird dem Erwerbsalter eine bedeutsame Rolle zugeschrieben. Im folgenden Kapitel soll zunächst ein Überblick über wichtige Einflussfaktoren auf das Objekt- und Handlungsbenennen gegeben werden. Der zweite Teil des Kapitels konzentriert sich auf die Fragen: Was ist das Erwerbsalter? Wie wird es erhoben? Wie wirkt es sich in Abhängigkeit von unterschiedlichen sprachlichen Aufgaben, menschlichen Populationen, Untersuchungsmethoden und der grammatischen Kategorie eines Wortes aus? Abschließend werden Erklärungsansätze für die funktionelle Lokalisation des Erwerbsalters vorgestellt (für einen Überblick: Lyer et al. 2001; Colombo & Burani 2002; Barry & Gerhand 2003; Schröder et al. 2003; Ghyselinck et al. 2004a).

4.1 Einflussfaktoren auf das Bildbenennen

Sprachliche Leistungen können von unterschiedlichen Variablen beeinflusst werden. In der aktuellen Literatur werden verschiedene Einflussfaktoren diskutiert: u.a. die lexikalische Frequenz, das Erwerbsalter („age-of-acquisition“/AoA), die Vertrautheit („familiarity“), die Vorstellbarkeit („imageability“), die Konkretheit, die Benennübereinstimmung („name agreement“), die visuelle Komplexität oder die Wortlänge. Diese Einflussfaktoren sprechen für kognitive Mechanismen auf unterschiedlichen sprachlichen Ebenen. Zum Beispiel wird die Frequenz mit lexikalischen Verarbeitungsprozessen assoziiert, während Vertrautheit, Vorstellbarkeit und Konkretheit zu semantischen Einflussfaktoren gehören. Visuelle Komplexität oder Benennübereinstimmung dagegen werden mit kognitiven Prozessen bei der Verarbeitung von Bildmaterial in Verbindung gebracht (vgl. Barry et al. 1997; Ellis & Morrison 1998; Bates et al. 2001; Bonin et al. 2002). Eine große Anzahl an Veröffentlichungen beschäftigte sich in den letzten drei Jahrzehnten mit der Frage, welche Faktoren den bedeutsamsten Einfluss auf spezifische linguistische Leistungen haben. Zur Erforschung dieser Fragestellung stehen vor allem zwei statistische Methoden zur Verfügung (vgl. Schröder et al. 2003), das faktorielle Design und die Regressionsanalyse. Bei einem

faktoriellen Design handelt es sich um ein experimentelles Paradigma, bei dem spezifische Faktoren von vorn herein systematisch über das Stimulusset variiert werden (z.B. frühes/spätes Erwerbsalter und Wortklasse Nomen/Verb; für ein Beispiel: Bogka et al. 2003). Bei der Datenanalyse können Haupteffekte und Interaktionen berechnet werden (z.B. Haupteffekt der Wortklasse/Haupteffekt des Erwerbsalters; Interaktion zwischen Wortklasse und Erwerbsalter). Die Regression hingegen erlaubt eine post-hoc Analyse der Daten. Es wird geprüft, inwiefern eine oder mehrere unabhängige Variablen (Prädiktor: z.B. Erwerbsalter und Frequenz) die Varianz in der abhängigen Variable (Kriterium: z.B. Benennlatenz) erklären (für ein Beispiel: Szekely et al. 2005). Mit Hilfe dieser Methoden wurde die lexikalische Frequenz als bedeutsamer Faktor vor allem für die visuelle Wortverarbeitung, aber auch für andere linguistische Anforderungen identifiziert (vgl. Ghyselinck et al. 2004a). Untersuchungen mit gesunden Personen (Oldfield & Wingfield 1965) und Aphasikern (u.a. Butterworth et al. 1984; Howard et al. 1984; Miceli et al. 1991) konnten die Frequenzeffekte bestätigen.

Auch für das Bildbenennen wurde zunächst angenommen, dass die Reaktionszeiten maßgeblich von der lexikalischen Frequenz beeinflusst sind (Oldfield & Wingfield 1965). Durch die Reanalyse der Daten von Oldfield & Wingfield, die nicht auf das Erwerbsalter kontrolliert waren (Carroll & White 1973b; Morrison et al. 1992), entstand eine kontroverse Debatte darum, welche Variable, Frequenz oder Erwerbsalter, den größeren Einfluss auf das Bildbenennen hat. Carroll & White (1973b) zeigten dabei erstmals, dass das Erwerbsalter der beste Prädiktor für die Reaktionszeit ist, wenn Frequenz und Wortlänge kontrolliert sind:

„The finding that age-of-acquisition is more important than word frequency in a picture naming task raises serious questions concerning the interpretation of large numbers of verbal-learning, psycholinguistic, and reading studies in which frequency has been used as a critical variable. It is possible that age of acquisition is more relevant in such studies.” (Carroll & White 1973b: 94)

Dieser Position schlossen sich u.a. auch Morrison & Ellis (1995) an, die ebenfalls feststellten, dass ein Frequenzeffekt verschwindet, wenn die Items nach Erwerbsalter kontrolliert sind. Mit der gezielten Untersuchung von Einflussfaktoren auf das Bildbenennen wurden zwei wichtige Punkte deutlich. Erstens sind Stimulusparameter über ein Itemset häufig stark interkorreliert und zweitens, zeigen sich bei Reaktionszeitstudien oftmals kombinierte oder auch unabhängige Effekte, die die Varianz in den Benennlatenzen erklären können. Kombinierte Effekte von Erwerbsalter und Frequenz ergaben sich u.a. in den Studien von Gerhand & Barry (1998, 1999a) sowie Morrison & Ellis (2000, vgl. Lewis 1999; Lewis et al. 2001). Interaktionen zwischen den Variablen wurden u.a. von Barry et al. (1997) beobachtet. Neben diesen Zusammenhängen berichteten einige Autoren auch unabhängige Effekte von Erwerbsalter und Familiarität (Pind & Tryggvadottir 2002) oder Erwerbsalter, Frequenz und Familiarität (Nickols & Howard 1995; Snodgrass & Yuditsky 1996).

Auf hohe Korrelationen der Stimulusparameter Erwerbsalter und Konkretheit wiesen Barry und Gerhand (2003) hin.

Zusammenfassend wurden als wichtige Einflussfaktoren auf das Bildbenennen (vgl. Hirsh & Ellis 1994; Hirsh & Funnell 1995; Howard 1995), neben Erwerbsalter und Frequenz, auch semantische Faktoren wie Vorstellbarkeit, Konkretheit oder Familiarität (Bates et al. 2001; Barry & Gerhand 2003) sowie die Benennübereinstimmung identifiziert (u.a. Barry et al. 1997; Ellis & Morrison 1998; Hodgson & Ellis 1998; Kremin et al. 1999, 2001; Laiacona et al. 2001; Bonin et al. 2002; Cuetos & Alija 2003).

4.1.1 Differentieller Einfluss von Stimulusparametern auf die Nomen/Verb Verarbeitung

Während Einflussfaktoren auf das Objektbenennen in der Vergangenheit intensiv studiert wurden, widmeten sich nur wenige Studien der Untersuchung von Einflussfaktoren in Abhängigkeit von der grammatischen Kategorie Nomen/Verb beim Bildbenennen (Cuetos et al. 1999; Bogka et al. 2003; Cuetos & Alija 2003; Szekely et al. 2005). Indirekte Evidenz für den Einfluss des Erwerbsalters auf die grammatischen Kategorien finden sich in Befunden zum Wortlesen oder lexikalisches Entscheiden (Colombo & Burani 2002; Kacirik & Chiarello 2002; Cuetos & Alija 2003; Monaghan et al. 2003; für einen Überblick: Szekely et al. 2005).

Cuetos et al. (1999) überprüften den Einfluss verschiedener Stimulusparameter auf die Benennlatenz bei Objektbildern im Spanischen. Als wichtigster Prädiktor für die Benennlatenz erwies sich das Erwerbsalter gefolgt von der Familiarität und der lexikalischen Frequenz. In einer Folgestudie (Cuetos & Alija 2003; vgl. Abschnitt 3.2.2) zum Benennen von Handlungsbildern im Spanischen wurde jedoch ein anderes Muster offenbar. Die Autoren verwendeten das Stimulusmaterial von Druks & Masterson (2000), das sie zuvor für die spanische Sprache normiert hatten. Als beste Prädiktoren der Reaktionszeit erwies sich erneut das Erwerbsalter jedoch gefolgt von der Benennübereinstimmung. Die Faktoren Vorstellbarkeit und Silbenzahl verfehlten knapp die definierte Signifikanzschwelle. Das Erwerbsalter scheint demnach sowohl für das Benennen von Objekten als auch von Handlungen bedeutsam zu sein, während sich die Zusammensetzung weiterer Faktoren in Abhängigkeit von der grammatischen Kategorie unterscheidet.

In einer umfangreichen Studie analysierten Szekely et al. (2005; vgl. Abschnitt 3.2.2) den Einfluss verschiedener Parameter auf die Reaktionszeit beim Benennen von Nomen und Verben im Englischen. Auch sie stellten unterschiedliche Prädiktoren für die Benennlatenz bei Objekt- und Handlungsbildern fest. Während das Objektbenennen signifikant vom Erwerbsalter, der Frequenz und der visuellen Komplexität beeinflusst wurde, zeigten sich eine Reihe bedeutsamer Faktoren für das Handlungsbenennen: Erwerbsalter, „shared words“ („...*dominant names were used for more*

than one picture.“ (Szekely et al. 2005: 13), Frequenz, Wortlänge und konzeptuelle Komplexität. Mit anderen Worten, Objektbegriffe mit hoher Frequenz und frühem Erwerbssalter, die wenig visuell komplex abgebildet waren, konnten schneller abgerufen werden. Dagegen wurden Handlungsbegriffe schneller benannt, wenn sie früh erworben, dominant, (paradoxaerweise) niedrig frequent, kürzer und weniger konzeptuell komplex waren.

Bogka et al. (2003; vgl. Abschnitt 3.2.2) gingen dem Einfluss des Erwerbssalters auf das Objekt- und Handlungsbenennen im Englischen und Griechischen nach. Die Stimulussets waren nach geschätztem Erwerbssalter gematcht und in drei Kategorien unterteilt: sehr früh, früh und spät erworbene Items. Sowohl über Nomen als auch über Verben zeigte sich in beiden Sprachen ein robuster Effekt des Erwerbssalters. Desto früher die Items erworben wurden desto schneller wurden sie benannt. Die Autoren führten den Einfluss des Erwerbssalters auf lexikalische Mechanismen zurück.

Alle eben beschriebenen Studien zum Bildbenennen zeigen, dass das Erwerbssalter sowohl bei Nomen als auch bei Verben einen bedeutsamen Einfluss auf die Reaktionszeit hat. Es wurde jedoch auch deutlich, dass andere Einflussfaktoren in Abhängigkeit von der grammatischen Kategorie variieren können. Dabei zeichnet sich die Tendenz ab, dass die Reaktionsgeschwindigkeit bei Nomen zusätzlich von der Vertrautheit, der Frequenz und der visuellen Komplexität beeinflusst wird, während beim Benennen von Verben eher die Benennübereinstimmung bzw. Benenndominanz und die Wortlänge eine Rolle spielen.

Zusätzliche Evidenz zu wortartenspezifischen Einflussfaktoren kommt aus Studien, die mit anderen experimentellen Paradigmen arbeiten. Colombo & Burani (2002) überprüften den Effekt verschiedener Stimulusparameter im Italienischen mit lexikalischem Entscheiden und Wortlesen. Insgesamt zeigten auch diese Daten, dass die ausgewählten Stimulusparameter die Latenzen für Nomen und Verben unterschiedlich beeinflussen. Die Ergebnisse für das lexikalische Entscheiden führten zu einem Effekt der Frequenz, der Stammfrequenz, des Erwerbssalters und der Kontextverfügbarkeit, wobei bei Verben stärkere Effekte bezüglich des Erwerbssalters und der Stammfrequenz beobachtet wurden. Für das Lesen von Verben wurden dieselben Einflussfaktoren identifiziert, beim Lesen von Nomen hingegen erwiesen sich nur das Erwerbssalter und die Wortlänge als signifikant. Die Autoren schlussfolgern:

„In conclusion, the present study supports the idea that has been proposed in the literature for languages like English and Italian that nouns and verbs may have different representations and may be processed in different ways because of their characteristics. The two experiments presented here suggest further that the processing of nouns and verbs may be influenced by different variables, both at the semantic and at a morphological level, and be accomplished by different processes.“ (Colombo & Burani 2002: 12)

Monaghan et al. (2003) testeten den Einfluss von verschiedenen „traditionellen“ Einflussfaktoren sowie von der phonologischen Typikalität und der „distributional typicality“ (typisches Auftreten im syntaktischen Kontext) auf Nomen und Verben beim Wortlesen, lexikalischen Entscheiden und in einer Nomen/Verb Entscheidungsaufgabe. Für das Wortlesen berichteten sie eine schnellere Produktion des Nomens, wenn ein Item eine höhere Frequenz, Nachbarschaftsgröße, Vertrautheit und Vorstellbarkeit aufwies. Verben hingegen wurden schneller produziert, wenn sie vertrauter, kürzer und phonologisch typisch waren. Das Erwerbsalter wurde in dieser Studie nicht berücksichtigt. Die Autoren berichteten ferner, dass sich die Einflussfaktoren nicht nur in Abhängigkeit von der grammatischen Kategorie unterschieden, sondern auch von der Art der sprachlichen Aufgabe.

Zu einem ähnlichen Ergebnis gelangten auch Kacirik & Chiarello (2002) bei der Untersuchung wortklassenspezifischer Einflussfaktoren im Zusammenhang mit Wortlesen, Nomen/Verb Entscheiden und Satzvervollständigen. Der Faktor Erwerbsalter wurde in der Studie ebenfalls nicht berücksichtigt. Die signifikanten Einflussfaktoren Frequenz, Vertrautheit, Vorstellbarkeit, Wortlänge und Kontexttypikalität variierten nur geringgradig zwischen den Wortkategorien. Die Autoren stellten jedoch auch eine massive Abhängigkeit der Einflussfaktoren von der Art der Aufgabe fest. Sie gelangen zu dem Fazit:

„... that the strongest predictors of RT do not depend on word class per se, but are determined primarily by the type of processing necessary for a given task“ (Kacirik & Chiarello 2002: 6)

Die in diesem Abschnitt beschriebenen Studien lassen drei Schlussfolgerungen zu. Erstens ist das Erwerbsalter ein bedeutsamer Faktor beim Benennen sowohl von Objekt- als auch von Handlungsbildern. Zweitens können weitere Stimulusparameter einen differenziellen Effekt auf die Verarbeitung von Nomen und Verben beim Bildbenennen haben. Dieser Fakt ist ein weiterer Beleg für die Nomen/Verb Distinktion. Nomen und Verben haben nicht nur unterschiedliche linguistische Merkmale, die zu typischen Nomen/Verb Dissoziationen in neuro- und psycholinguistischen Studien mit gesunden und sprachgestörten Personen führen. Sie unterscheiden sich auch darin, welche Faktoren bei der linguistischen Verarbeitung wichtig sind. Drittens schließlich ist der Einfluss der Stimulusparameter auf Reaktionszeiten in starkem Maße von der Art der Aufgabe abhängig.

4.2 Erwerbsalter: Definition und Erhebungsmethoden

Nachdem die Bedeutsamkeit des Parameters „Erwerbsalter“ für das Benennen von Nomen und Verben aufgezeigt wurde, soll nun auf dessen Eigenschaften und Erhebungsmethoden eingegangen werden. Unter dem lexikalischen Erwerbsalter wird im Allgemeinen das Alter im Leben eines Menschen verstanden, in dem ein spezifisches Wort erworben wurde. Die genaue Definition ist

jedoch von der Erhebungsmethode abhängig. Grundsätzlich werden objektive und subjektive Erhebungsmethoden voneinander unterschieden.

Ein Weg zur Erhebung objektiver Erwerbsdaten sind sogenannte „lexical diaries“. Hier notieren Eltern, welche Wörter ihr Kind in welchem Alter erstmals verwendet hat (z.B. Stern & Stern 1907). Solche Aufzeichnungen wurden jedoch nur selten konsequent angefertigt und sind daher nicht repräsentativ. Eine weitere Möglichkeit stellt die Auswertung von Spontansprachtranskripten dar (z.B. mit der Childes Datenbank, <http://childes.psy.cmu.edu/>). In definierten zeitlichen Abständen werden Spontansprachaufnahmen von Kindern angefertigt, die transkribiert und nach einem spezifischen Schema analysiert werden. Diese Transkripte erfassen jedoch nur Ausschnitte der lexikalischen Produktion des Kindes. Ein großer Teil des kindlichen Wortschatzes wird nicht erfasst, auch lässt sich der genaue Zeitpunkt des Erwerbs eines spezifischen Wortes schlecht rekonstruieren. Die Spontansprachaufnahme ist zudem meist an eine ungewohnte Situation gebunden (Kamera, Versuchsleiter etc.), so dass das Kind sich eventuell anders als gewöhnlich verhält (vgl. Kauschke 1999). Objektive Erwerbsdaten können alternativ auch über die Elizitierung der kindlichen Sprachproduktion beim Bildbenennen erhoben werden. Im Rahmen dieser Erhebungsmethode ist das Erwerbsalter als das Alter definiert, indem ein spezifisches Bild erstmalig benannt werden kann. Gewöhnlich wird das durchschnittliche Erwerbsalter über eine Gruppe von Kindern einer Altersklasse bestimmt. Morrison et al. (1997) legten umfangreiche Erwerbsdaten zum Objektbenennen im Englischen vor (n=280 Kinder, Alter 30-131 Monate, 14 Altersbereiche mit n=20 Kindern, n=297 Objektbilder). Für das Deutsche wurden Benennndaten von De Bleser & Kauschke (2003) und Schröder et al. (2003) bereitgestellt. Auch diese Methode hat einige Schwächen. So ist das Erwerbsalter, das über kindliches Benennen erhoben wird, stets mit bildbezogenen Variablen konfundiert, z.B. mit der Benennübereinstimmung oder der visuellen Komplexität. Die erhobenen Erwerbsdaten sind dadurch nur für das spezifische Bildmaterial gültig, das in der Erhebung verwendet wurde. Es ist anzunehmen, dass bei der Verwendung von anderem Bildmaterial die Erwerbswerte für ein Wort variieren würden. Ferner sind zur Erhebung von Benennndaten umfangreiche, groß angelegte Untersuchungen erforderlich. Trotz dieser Nachteile wurden Benennndaten in vielen Untersuchungen eingesetzt, die Einflussvariablen auf sprachliche Leistungen (z.B. Reaktionszeit beim Bildbenennen) untersuchten (u.a. Ellis & Morrison 1998; Morrison & Ellis 2000). Auch die Erhebung von Erwerbsdaten über Elternfragebögen (z.B. „CDI: Infants/Toddlers“, Fenson et al. 1994; „LDS“, Rescorla 1991; Elfra I und II, Grimm et al. 2000; De Bleser & Kauschke 2003) wird häufig den objektiven Methoden zugeordnet. Hier werden Eltern anhand einer Wortliste befragt, ob ihr Kind bereits ausgewählte Wörter bereits produziert. Das Erwerbsalter wird dabei in der Regel als das Alter definiert, in dem ein Wort erstmalig spontan verwendet wird. Elternfragebögen sind nachweislich valide und reliable Instrumente zur Erhebung des frühen kindlichen Wortschatzes (vgl. Kauschke 1999). Da es sich hier jedoch auch um eine

Schätzung kindlicher Sprachproduktion seitens der Bezugspersonen handelt, ist die Objektivität der Methode a priori eingeschränkt. Die Nachteile dieser Methode bestehen ferner darin, dass der Kontext der Wortproduktion nicht nachvollzogen werden kann und dass Fehleinschätzungen seitens der Eltern auftreten können.

In der aktuellen Forschung wird überwiegend auf subjektive Erwerbsdaten zurückgegriffen. Die am häufigsten eingesetzte Methode ist die Schätzung des eigenen Erwerbsalters in einem Ratingverfahren. Dabei schätzt eine in der Regel erwachsene Person das Alter, indem sie selbst ein bestimmtes Wort erlernt hat. Zur Bestimmung der Erwerbszeitpunkte werden Wortlisten mit einer Punkteskala verwendet. Jeder Punkt auf der Skala entspricht einem definierten Altersbereich, z.B. 1= 0.-2. Geburtstag (vgl. u.a. Carroll & White 1973a; Gilhooly & Hay 1977; Gilhooly & Logie 1980; Morrison et al. 1997; Druks & Masterson 2000, Schröder et al. 2003). Auch diese Ratingdaten sind mit Nachteilen behaftet. Da sich niemand daran erinnern kann, welches Wort im Leben wann erworben wurde, ist eine exakte Schätzung des Erwerbsalters prinzipiell nicht möglich. Vielmehr wird eine Erwerbsreihenfolge geschätzt, wobei unklar ist, auf welcher Basis diese Entscheidung getroffen wird. Orientiert sich der Schätzer dabei an anderen lexikalischen Parametern? Morrison et al. (1997; vgl. Carroll & White 1973a, b; Gilhooly & Hay 1977; Gilhooly & Gilhooly 1980; Schröder et al. 2003) verglichen objektive Erwerbsdaten mit geschätzten Erwerbsdaten von gesunden Erwachsenen und fanden eine höchst signifikante Korrelation. In einem weiteren Schritt analysierten sie mit Hilfe einer multiplen Regression, welche lexikalischen Faktoren sich auf das geschätzte Erwerbsalter bzw. die Benennungen ausgewirkt haben. Dabei zeigte sich, dass beide Datentypen von der Vorstellbarkeit, Familiarität, Wortlänge und Frequenz der Stimuli beeinflusst wurden. Der Frequenzeffekt war jedoch stärker in den Ratingdaten ausgeprägt. Möglicherweise orientierten sich die Schätzer also an der lexikalischen Frequenz der Items, wobei offensichtlich auch andere Parameter eine Rolle spielten. Um eine Vermischung der Erwerbsdaten mit der lexikalischen Frequenz zu vermeiden, bevorzugten Morrison et al. (1997) objektive Erwerbsdaten, sofern diese vorhanden sind. Dennoch haben Untersuchungen wiederholt gezeigt, dass geschätzte Erwerbsdaten sowohl mit anderen Schätzungen als auch mit objektiven Erwerbsdaten hoch korrelieren (Carroll & White 1997a, b; Gilhooly & Hay 1977; Gilhooly & Gilhooly 1980; Morrison et al. 1997; Schröder et al. 2003). Die Daten weisen eine hohe Intergruppenreliabilität (Gilhooly & Hay 1977; Gilhooly & Gilhooly 1980; Gilhooly & Logie 1980) und intraindividuelle Reliabilität auf. Dafür sprechen u.a. die Ergebnisse von Jorm (1991), der die Erwerbsreihenfolge von Wörtern eines Kindes aufzeichnete. Er ließ dasselbe Kind mit 9;6 und 11;6 Jahren das eigene Erwerbsalter schätzen. Dabei zeigten sich eine hohe Korrelationen mit objektiven Erwerbsdaten ab. Der Nachweis hoher Korrelationen zwischen den Datentypen ist jedoch nur abgesichert für die grammatische Kategorie der Nomen. Es existieren bisher nur wenige Untersuchungen, in denen objektive Erwerbsdaten für Verben erhoben wurden (u.a. De Bleser &

Kauschke 2003). Statistische Zusammenhänge zwischen den Erhebungsmethoden sind aus diesem Grund bei Verben noch nicht untersucht worden.

4.3 Effekte des Erwerbsalters auf die lexikalische Verarbeitung

Effekte des Erwerbsalters wurden in unterschiedlichen Populationen, mit unterschiedlichen Aufgabenstellungen und Methoden nachgewiesen. Sie zeigen sich im Hinblick auf Reaktionszeiten und Fehlerzahlen. So wurden Erwerbseffekte bei gesunden Erwachsenen (u.a. Carroll & White 1973b; Morrison et al. 1992, Barry et al. 1997; Ellis & Morrison 1998; Gerhand & Barry 1999a, b; Kremin et al. 1999; Bates et al. 2001; Bonin et al. 2002; Morrison & Ellis 1995, 2000), bei gesunden älteren Personen (u.a. Hodgson & Ellis 1998; Morrison & Ellis 1999), bei Kindern (D'Armico et al. 2001), bei erworbenen Sprachstörungen (u.a. Hirsh & Ellis 1994; Nickols & Howard 1995; Baumgärtner & Tompkins 1998; Barry & Gerhand 2003), bei temporaler Lobektomie (Bell et al. 2000) und bei neurodegenerativen Erkrankungen (u.a. Lambon Ralph et al. 1998; Ukita et al. 1999; Kremin et al. 2001;) beobachtet.

Wie bereits erwähnt, haben sich besonders für das Objektbenennen robuste Effekte bezüglich des Erwerbsalters gezeigt (u.a. Carroll & White 1973b; Lyons et al. 1978; Gilhooly & Gilhooly 1979; Brown & Watson 1987; Morrison et al. 1992; Barry et al. 1997; Ellis & Morrison 1998; Bonin et al. 2002; Bogka et al. 2003). Weitere Evidenzen wurden für beschleunigtes Wortlesen (Gerhand & Barry 1999a) und visuelles bzw. auditives lexikalisches Entscheiden (Gerhand & Barry, 1999b; Morrison & Ellis 1995; 2000; Baumgärtner & Tompkins 1998; Turner et al. 1998; Brysbaert et al. 2000) berichtet. Für semantische Verarbeitungsprozesse liegen inkonsistente Ergebnisse vor (Morrison et al. 1992; Brysbaert et al. 2000; Ghyselinck 2004b). Aufgaben zum verzögerten Benennen (Ellis & Morrison 1998) führten nicht zu Erwerbseffekten.

Neben neuropsychologischen Verhaltensstudien wurde der Effekt des Erwerbsalters auch mit elektrophysiologischen (Tainturier et al. 2003) und funktionell-bildgebenden Verfahren (Fiebach et al. 2003) untersucht. Tainturier et al. (2003) führte eine ERP Studie mit 12 englischsprachigen Personen durch, die mit Aufgaben zum semantischen Kategorisieren und lexikalischen Entscheiden über belebte und nicht-belebte Nomen untersucht wurden. Das Stimulusset war aufgesplittet in früh und spät erworbene Wörter. Für beide Aufgaben zeigte sich in den Verhaltensdaten ein signifikanter Vorteil der Reaktionszeiten für früher erworbene Wörter. Die ERP Daten zur semantischen Kategorisierung erbrachten keinen Effekt des Erwerbsalters während in der lexikalischen Entscheidungsaufgabe ein größerer P300 Effekt entdeckt wurde, der sich für früh erworbene Wörter über zentralen und parietalen Elektroden zeigte. Die P300 Komponente wird auch als „recognition“ Potential bezeichnet. Sie steht in Modellen der Sprachverarbeitung für präsemantische Verarbeitungsprozesse. Im Kontrast dazu wurde kein Effekt in der semantisch

assoziierten N400 Komponente nachgewiesen. Die Autoren nehmen daher an, dass der Effekt des Erwerbsalters einen phonologisch-lexikalischen Ursprung hat.

Fiebach et al. (2003) untersuchten mit fMRT deutsche Probanden mit visuellen und auditiven lexikalischem Entscheiden über Nomen. Das Stimulusmaterial bestand aus 136 unbelebte Nomen und Pseudowörter, die auf Wortlänge kontrolliert waren. Werte zur Frequenz und zum geschätzten Erwerbsalter wurden als parametrische Regressoren in das statistische Modell eingegeben. Die Ergebnisse der Analyse wurden auf einem Voxel Level von $p < 0,0025$ (unkorrigiert) bzw. Cluster Level von $p < 0,05$ (korrigiert) angegeben. Eine kognitive Konjunktion zwischen visuellen und auditiven Daten führte zu Aktivierungen im linken G. frontalis inferior und in der anterioren Insula für spät erlernte Wörter. Für früh erlernte Wörter wiesen Fiebach et al. Aktivierungen im Präcuneus nach, die aber unter der definierten statistischen Schwelle lagen. Die Autoren konnten darüber hinaus zeigen, dass die Effekte unabhängig von der lexikalischen Frequenz sind. Sie interpretierten die Daten als Evidenz dafür, dass das Erwerbsalter die Hirnaktivität während der gestellten Aufgaben moduliert. Dabei ordneten die Autoren der frontal inferioren Aktivierung für spät erlernte Wörter eine Rolle im Prozess der Worterkennung zu:

“Thus, we propose that whenever word identification is difficult LIPFC regions provide strategic mechanisms to support the bottom-up processes of word identification.” (Fiebach et al. 2003: 1634)

Insgesamt ergeben sich viele Hinweise darauf, dass Wörter, die früher im Leben erworben wurden, schneller und effizienter verarbeitet werden, als später erworbene Wörter. Dieser Effekt zeigt sich besonders stark beim Objektbenennen, wird aber zunehmend auch in anderen Kontexten beobachtet.

4.4 Erklärungsansätze für Effekte des Erwerbsalters

Obwohl Erwerbseffekte in konnektionistischen Modellen erfolgreich modelliert werden konnten (u.a. Ellis & Lambon Ralph 2000) ist die Frage nach dem funktionellen Lokus dieser Effekte bis zum heutigen Tage ungeklärt. Brown & Watson (1987) stellten die „phonological completeness hypothesis“ auf. Sie postulierten, dass früh erworbene phonologische Repräsentationen in einem leeren phonologischen Lexikon als Ganzes gespeichert werden, während später erworbene Wörter eher fragmentar gespeichert werden. Der Zugriff auf früh erworbene Items gelänge daher schneller und effizienter. Damit wird dem Erwerbsalter eine Rolle auf der Ebene des phonologischen Abrufs zugeordnet. Die Annahme von Brown & Watson (1987) wurde eher kritisch diskutiert, da sie einerseits nicht näher ausdifferenziert wurde und andererseits mit bestehenden Lexikonmodellen nur schwerlich übereinstimmt (Lewis 1999; vgl. Levelt et al. 1999). Ein Lokus auf der Ebene des lexikalisch-phonologischen Abrufs wird jedoch überwiegend unterstützt (vgl. Barry & Gerhand 2003; Bogka et al 2003; Tainturier et al. 2003). Dafür sprechen

auch die Befunde von Ellis & Morrison (1998), die keinen Erwerbсалtereffekt beim verzögerten im Vergleich zum unmittelbaren Benennen fanden:

„...this would be taken to indicate that the difference in naming speeds with early- and late-acquired names arises at the stage of name retrieval rather than in the process of articulation.“ (Ellis & Morrison 1998: 521)

Effekte des Erwerbсалters bei lexikalischen Entscheidungsaufgaben widersprechen zunächst dieser Annahme, doch argumentieren Gerhand & Barry (1999a), dass diese Effekte den Beitrag der Phonologie zum Lösen der Aufgabe reflektieren würden.

Gegen einen (ausschließlichen) Lokus im lexikalischen Outputsystem sprechen die Daten von Ghyselinck et al. (2004b) und Colombo & Burani (2002, vgl. Lewis 1999 für Effekte in der Kategorisierung von Gesichtern, vgl. Fiebach et al. 2003). Ghyselinck et al. beobachteten Erwerbсалtereffekte für das semantische Assoziieren und Kategorisieren über visuell präsentierte Wörter. Colombo und Burani fanden hohe Korrelationen zwischen den Faktoren Erwerbсалter, Frequenz, Konkretheit und Kontextverfügbarkeit, die gemeinsam Einfluss auf die Reaktionszeiten beim lexikalischen Entscheiden und Wortlesen zeigten. Colombo & Burani schlugen vor:

„Perhaps semantic components of the word recognition process are also sensitive to AoA.“ (Colombo & Burani 2002: 12)

Auf der Grundlage ihrer Daten nehmen sie einen lexikalisch-semantischen Lokus des Erwerbсалters an. Weitere Studien sind notwendig, um den Ursprung von Erwerbсалtereffekten zu klären.

4.5 Zusammenfassung des vierten Kapitels

In den vorangegangenen Abschnitten wurde gezeigt, dass die Definition des Erwerbсалters vor allem von der Methode seiner Erhebung abhängt. In der heutigen Forschung werden überwiegend Daten zum geschätzten Erwerbсалter verwendet, wobei sich zumindest für Nomen eine hohe Korrelation zwischen den objektiven und subjektiven Erhebungsmethoden herausgestellt hat. Es wurde ferner dargestellt, dass das Bildbenennen von unterschiedlichen Stimulusparametern beeinflusst wird, wobei möglicherweise das Erwerbсалter beim Abruf von Nomen als auch Verben der wichtigste ist. Für das Benennen von Objekt- und Handlungsbildern zeigte sich weiterhin, dass der Einfluss von Stimulusparametern auf die Reaktionszeit in Abhängigkeit von der Wortklasse variieren kann. Diese Feststellung ist ein Indiz dafür, dass sich Nomen und Verben nicht nur in ihren linguistischen Eigenschaften sondern auch in Bezug auf kognitive Verarbeitungsmechanismen beim Bildbenennen voneinander unterscheiden.

Effekte des Erwerbсалters wurden in vielen unterschiedlichen Populationen und sprachlichen Aufgaben beobachtet. Dabei scheint der Parameter Erwerbсалter sowohl für die Produktion von

Nomen als auch Verben bedeutsam zu sein. Unterschiedliche Vorschläge wurden zum funktionellen Ursprung der Erwerbalters effekte unterbreitet. Die meisten Befunde sprechen für einen Lokus auf der Ebene des phonologisch-lexikalischen Abrufs, jedoch existieren auch Hinweise darauf, dass semantische Verarbeitungskomponenten sensitiv für den Einfluss des Erwerbalters sein können.

5 Forschungsfragen

In den letzten Kapiteln ist deutlich geworden, dass die Nomen/Verb Dissoziation in der Vergangenheit bereits intensiv mit unterschiedlichen Zielen und Methoden untersucht worden ist. Zunehmendes Forschungsinteresse gilt auch den Faktoren, die die Verarbeitung der grammatischen Kategorien beeinflussen. Die Zusammenfassung der Forschungslage hat jedoch auch viele inkonsistente Ergebnisse und ungelöste theoretische Probleme aufgezeigt. Im Rahmen der vorliegenden Dissertation werden einige dieser Probleme aufgegriffen. Das Ziel des Dissertationsprojekts besteht in der Beantwortung der nachfolgenden Forschungsfragen.

5.1 Werden Objektbilder konsistent schneller benannt als Handlungsbilder?

Studien zum lauten, mündlichen Benennen von Nomen und Verben zeigen überwiegend einen Reaktionszeitvorteil für Nomen (Cuetos et al. 1999; D'Amico et al. 2002; Vigliocco et al. 2002; Bogka et al. 2003; Cuetos & Alija 2003; Szekely et al. 2005). Gegensätzliche Ergebnisse sind zwar in der Minderheit, aber vorhanden (für einen Verbvorteil: Sörös et al. 2003; für vergleichbare Reaktionszeiten: Tranel et al. 2005). Der Nomenvorteil ist demnach als relativ stabiler Effekt einzuschätzen, zumindest, solange der Faktor Vorstellbarkeit nicht in die statistische Analyse miteinbezogen wird. Die Forderung nach einem Matching der Vorstellbarkeit (Bird et al. 2000a, b) wurde von den meisten Autoren nicht berücksichtigt. Die Daten von Bogka et al. (2003) zeigten jedoch, dass ein stabiler Nomenvorteil verschwindet, wenn die Vorstellbarkeit als Kovariable statistisch einbezogen wird (Bogka et al. 2003). Dieser Befund legt eine semantische Erklärung für die Nomen/Verb Dissoziation nahe. Da jedoch Nomen und Verben hinsichtlich ihrer linguistischen Eigenschaften so unterschiedlich sind, ist die Reduzierung der Nomen/Verb Dissoziation allein auf den semantischen Parameter Vorstellbarkeit äußerst kritisch zu betrachten. Empirische Gegenevidenz zu dieser Annahme wurde u.a. von Berndt et al. (2002; vgl. Abschnitt 3.3.3) vorgebracht. Wird dem Parameter Vorstellbarkeit Rechnung getragen erscheinen die Ergebnisse der experimentellen Studien zur Latenz beim Nomen/Verb Benennen weniger eindeutig und der „robuste“ Nomenvorteil muss infrage gestellt werden. Bislang liegen zu dieser Fragestellung keine deutschsprachigen Befunde vor.

In der vorliegenden Arbeit werden zwei Befunde zur Benennlatenz von Nomen und Verben vorgelegt, erstens ein Reaktionszeitexperiment zum lauten, mündlichen Benennen (siehe Kapitel 7) und zweitens Verhaltensdaten zum stillen, internen Benennen (siehe Kapitel 8). Dabei wird der Frage nachgegangen, ob ein Nomenvorteil sowohl beim lauten als auch beim stillen Benennen

konsistent zu beobachten ist und ob der Parameter Vorstellbarkeit die Reaktionszeitdifferenz beeinflusst.

5.2 Welche Faktoren beeinflussen die Benennlatenz für die grammatischen Kategorien Nomen/Verb und welche Rolle spielt dabei das Erwerbsalter?

Aus der Forschungsliteratur kann geschlossen werden, dass zumindest zwei Faktoren einen Einfluss auf das Nomen/Verb Benennen haben können. Das sind zum einen semantische oder grammatische Subkategorien der jeweiligen Wortklasse (u.a. ergative/transitive/intransitive Verben bzw. belebte/unbelebte/biologische/künstliche Nomen) und andererseits psycholinguistische Stimulusparameter (u.a. Erwerbsalter, Vorstellbarkeit, Frequenz, Benennübereinstimmung). Zum Einfluss des Faktors Ergativität bzw. Transitivität bei Verben liegen inkonsistente Ergebnisse über verschiedene Populationen vor (u.a. Davidoff & Masterson 1996; Jonkers & Bastiaanse 1996, 1998; Thompson et al. 1997; Jonkers 1999; De Bleser & Kauschke 2003; Kim & Thompson 2000; Collina et al. 2001; Luzzatti et al. 2002). Für die semantischen Subkategorien der Nomen (biologisch/künstlich) zeigen Studien mit erwachsenen Personen häufig ein Vorteil für künstliche Items im Vergleich mit biologischen Items hinsichtlich der Reaktionszeiten und Benenngenauigkeit (vgl. Humphreys et al. 1999). Studien zur aphasischen Sprachverarbeitung demonstrierten Störungsprofile sowohl mit einem Vorteil für künstliche als auch für biologische Items (u.a. Warrington & Shallice 1984; Warrington & McCarthy 1983, 1987; Sartori & Job 1988; Silveri & Gainotti 1988; Hillis & Caramazza 1991a, b; Sacchett & Humphreys 1992; De Renzi & Lucchelli 1994).

Im Bereich der psycholinguistischen Einflussfaktoren erwies sich sowohl für Nomen (Carroll & White 1973b; Lyons et al. 1978; Gilhooly & Gilhooly 1979; Brown & Watson 1987; Morrison et al. 1992; Barry et al. 1997; Ellis & Morrison 1998; Cuetos et al. 1999; D'Amico et al. 2001; Bonin et al. 2002) als auch für Verben das Erwerbsalter als bedeutsamer Parameter beim Bildbenennen (Bogka et al. 2003; Cuetos & Alija 2003; Szekely et al. 2005). Der Effekt des Erwerbsalters auf das Benennen von Verben ist jedoch noch wenig untersucht. Bei der überwiegenden Zahl der Studien wurde dabei auf Daten zum geschätzten Erwerbsalter zurückgegriffen, die hoch mit anderen lexikalischen Parametern (z.B. Frequenz, Vorstellbarkeit) konfundiert sein können. Hinsichtlich weiterer Einflussfaktoren liegt empirische Evidenz dazu vor, dass Nomen und Verben von unterschiedlichen Parametern beeinflusst werden. Für das Bildbenennen bei Nomen kommen in erster Linie die Parameter Vertrautheit, Frequenz und visuelle Komplexität in betracht, für Verben dagegen die Benennübereinstimmung bzw. BenennDominanz und die Wortlänge (Cuetos & Alija 2003; Szekely et al. 2005). Differentielle Effekte auf das Nomen/Verb Benennen sind jedoch insgesamt noch wenig untersucht. Für keine der beiden Wortkategorien liegen hierzu

deutschsprachigen Daten vor. Stilles Benennen wurde im Hinblick auf die Rolle der Einflussfaktoren auch international noch nicht überprüft.

Die Untersuchung von Einflussfaktoren auf das Benennen kann Hinweise auf die Verarbeitung von Nomen und Verben geben. In Kapitel 7 und 8 der vorliegenden Arbeit wird der Frage nachgegangen, welche Faktoren (Subkategorien, psycholinguistische Einflussfaktoren) einen Einfluss auf die Reaktionszeit beim lauten und stillen Nomen/Verb Benennen haben.

5.3 Wie verhalten sich die unterschiedlichen Datenerhebungen zum Erwerbssalter bei Verben zueinander?

Seit etwa 30 Jahren werden Daten zum Erwerbssalter von Wörtern systematisch erhoben. Dabei wurden beinahe ausschließlich Nomen berücksichtigt. Es existieren nur wenige Itemkorpora mit Daten zum Erwerbssalter von Verben (u.a. Druks & Masterson 2000 für das Englische; De Bleser & Kauschke 2003 für das Deutsche). Für Nomen wurde die Reliabilität und Validität der Daten wiederholt überprüft. Dabei zeigte sich stets eine hohe Korrelation zwischen geschätzten Erwerbsdaten, Elternfragebögen und Benennenden sowie zwischen den Ratings der männlichen und weiblichen Versuchsteilnehmer (u.a. Carroll & White 1973a, b; Gilhooly & Hay 1977; Gilhooly & Logie 1980; Morrison et al. 1997; Schröder et al. 2003). Für Nomen ist erwiesen, dass Aufgrund der hohen Korrelation zwischen den Erhebungsmethoden geschätzte, subjektive Erwerbsdaten an Stelle von objektiven Erwerbsdaten bzw. Daten aus Elternfragebögen verwendet werden können.

Wie sich unterschiedliche Erhebungen des Erwerbssalters für Verben zueinander verhalten und, ob objektive Erwerbsdaten hier durch geschätzte Erwerbsdaten ersetzt werden können, ist bislang noch nicht überprüft worden. Im Rahmen der Vorstudien zur Erstellung eines geeigneten Stimulussets soll diese Fragestellung aufgegriffen werden (siehe Kapitel 6).

5.4 Welche neuroanatomische Korrelate zeigen sich für das Nomen/Verb Benennen?

Bis zum heutigen Tage ist nicht eindeutig geklärt, welche neuronalen Korrelate für die Nomen- bzw. Verbverarbeitung relevant sind. Trotz intensiver Forschungsbemühungen und dem Einsatz verschiedenster Methoden der Hirnforschung ist die Befundlage äußerst inkonsistent. Das Spektrum der Forschungsergebnisse erstreckt sich über verschiedene Positionen. Deren extremste Standpunkte sind: (1) die anterior-posterior Dissoziation der Nomen/Verb Verarbeitung (Damasio & Tranel 1993; Daniele et al. 1994; Shapiro et al. 2005; mit Einschränkung auf einen untersuchten Patienten: Sörös et al. 2003; mit Einschränkung auf einen minimalen syntaktischen Kontext: Fiebach et al. 2002b) und (2) keine neurofunktionelle Differenz (Sörös et al. 2003 für gesunde Kontrollpersonen; Tyler et al. 2001, Li et al. 2004, Hernandez et al. 2001). Verschiedene andere Befunde sprechen für eine neurofunktionelle Distribution zwischen diesen Polen (Warburton et al.

1996; Tyler et al. 2003, 2004; Perani et al. 1999a; Tranel et al. 2005).

Zum Bildbenennen existieren in der funktionell-bildgebenden Literatur nur die Daten von Tranel et al. 2005 und für MEG von Sörös et al. (2003). Während Sörös et al. (2003) bei der gesunden Kontrollgruppe keine neuroanatomische Differenz für Nomen und Verben findet (wohl aber beim untersuchten Patienten), berichten Tranel et al. (2005) über Aktivierungen des linken posterior-ventralen inferioren Temporallappen für Nomen und Aktivierungen des linken frontalen Operculum, der linken mesialen Temporalregion (MT) sowie des linken inferioren Temporallappens für Verben. Deutschsprachige Daten im Bezug auf das Bildbenennen wurden bisher noch nicht berichtet.

Im Zusammenhang mit den Ergebnissen anderer Studien kann aus den vorliegenden Befunden geschlossen werden, dass Verbbenennen stärker an Strukturen im linken inferioren Frontallappen gebunden ist als das Benennen von Nomen (u.a. Damasio & Tranel 1993; Daniele et al. 1994; Gainotti et al. 1995; Dehaene et al. 1995; Preissl et al. 1995; Federmeier et al. 2000; Tranel et al. 2001; Cappa et al. 2002; Shapiro et al. 2001, 2005; mit Einschränkung auf einen untersuchten Patienten: Sörös et al. 2003; mit Einschränkung auf einen minimalen syntaktischen Kontext: Fiebach et al. 2002b). Es verdichten sich ferner Hinweise darauf, dass Verbbenennen mit Aktivierungen in der Region MT/MST assoziiert ist (u.a. Damasio et al. 2001; Kable et al. 2002; Tranel et al. 2005;). Das Benennen von Nomen dagegen ist eher mit Aktivierungen im linken Temporallappen assoziiert (u.a. Damasio & Tranel 1993; Daniele et al. 1994; Gainotti et al. 1995; Shapiro et al. 2005; mit Einschränkung auf einen untersuchten Patienten: Sörös et al. 2003; mit Einschränkung auf einen minimalen syntaktischen Kontext: Fiebach et al. 2002b). Insgesamt sprechen die funktionell-bildgebenden Studien zum Benennen (fMRT, MEG) eher gegen eine neurofunktionelle Dissoziation für die Nomen/Verb Verarbeitung.

Im achten Kapitel der vorliegenden Dissertation wird dieser Frage mit einer ereigniskorrelierten fMRT Studie zum Benennen von deutschen Nomen und Verben nachgegangen. Es soll geklärt werden, welche Aktivierungsmuster sich für das Benennen der beiden Wortkategorien zeigen und welche Positionen aus der Forschungsliteratur bestätigt werden können.

5.5 Moduliert Erwerbsalter die neuronale Aktivierung für das Bildbenennen?

Während Reaktionszeitstudien Evidenz zum Einfluss des Erwerbsalters auf das Benennen, insbesondere bei Nomen erbracht haben, existiert bislang nur eine funktionell-bildgebende Untersuchung zu dieser Problematik. Dabei handelt es sich um die Studie von Fiebach et al. (2003, fMRT). Die Autoren untersuchten für das Deutsche den Einfluss des Erwerbsalters auf das visuelle und auditive lexikalische Entscheiden über Nomen. Sie fanden dabei Aktivierungen im linken G.

frontalis inferior und in der anterioren Insula für spät erlernte Wörter und wiesen für früh erlernte Wörter Aktivierungen im Präcuneus nach. Fiebach et al. interpretierten die Daten als Evidenz dafür, dass das Erwerbsalter die Hirnaktivität beim lexikalischen Entscheiden moduliert und ordnen den Aktivierungen im linken inferior-frontalen Bereich Aktivierung eine eher unspezifische linguistische Funktion bei der Worterkennung zu. Die zweite Fragestellung in Bezug auf die fMRT Studie dieser Dissertation zielt auf die Frage ab, ob das Erwerbsalter die Hirnaktivität auch beim Benennen moduliert. Dabei werden neben Nomen auch Verben in die Untersuchung einbezogen.

In den nächsten Kapiteln wird das methodische Vorgehen zur Beantwortung der Forschungsfragen ausführlich beschrieben. Der empirische Teil dieser Arbeit gliedert sich in drei Untersuchungsabschnitte: (1) in Vorstudien zur Zusammenstellung eines geeigneten Stimulussets, (2) in ein Reaktionszeitexperiment zur Erhebung von Benennlatenzen und (3) in eine Untersuchung zum stillen Benennen von Nomen und Verben mit funktioneller Magnetresonanztomographie.

6 Vorstudien zur Stimulusselektion

6.1 Einleitung

Zur Beantwortung der Forschungsfragen im Rahmen der vorliegenden Dissertation wurde ein Stimulusset entwickelt, das hinsichtlich verschiedener linguistischer und psycholinguistischer Parameter zwischen Nomen und Verben und deren Subkategorien (belebt/unbelebt, transitiv/intransitiv) ausgeglichen ist. Zu diesem Zweck wurden verschiedene Erhebungen und Vorstudien durchgeführt, die in diesem Kapitel näher beschrieben werden sollen.

Die Selektion des Stimulusmaterials erfolgte schrittweise. Als Basis diente der Nomen/Verb Benenntest von De Bleser & Kauschke (2003) sowie das initiale Stimulusset, das dem Test zugrunde lag. Aus diesem Pool wurden 61 Nomen und 38 Verben ausgewählt, die potentiell als experimentelle Stimuli infrage kamen. Zu einem Großteil der lexikalischen Items existierten schwarz-weiß Strichzeichnungen (Graphik Matthias Deschner), 11 Zeichnungen wurden für dieses Dissertationsprojekt zusätzlich angefertigt. Jeweils zu einem Objektbild ("Zaun") und einem Handlungsbild ("tanzen") existierten zwei verschiedene Zeichnungen, so dass insgesamt 62 Objektbilder und 39 Handlungsbilder das potentielle Stimulusset der vorliegenden Dissertation bildeten.

Die Stimuli des potentiellen Stimulussets erfüllten strenge Selektionskriterien, die von De Bleser & Kauschke (2003) übernommen wurden. Alle Stimuli waren ein- bis zweisilbig und monomorphematisch (bis auf den Infinitivmarker –en bei Verben). Derivata, Komposita, Pluralformen, Präfix- und Partikelverben wurden ausgeschlossen. Nomen bezogen sich ausschließlich auf konkrete, ganze Objekte, Verben dagegen auf konkrete Handlungen oder Zustände. Alle Verben waren nicht-reflexiv und verlangten ein Agens-Subjekt. Die eindeutige Zugehörigkeit zu einer Subkategorie (belebt/unbelebt, transitiv/intransitiv) wurde durch Ratings (Hiller 1998; Neumann 1998) überprüft. Alle lexikalischen Items wurden ferner auf den Parameter Abbildbarkeit untersucht (Hiller 1998; Neumann 1998). Schwarz-weiß Strichzeichnungen wurden nur zu den lexikalischen Items entwickelt, die hohe Werte in der Abbildbarkeit erzielten. Bei der Erstellung der Zeichnungen wurde grundsätzlich auf Pfeile oder andere hinweisende Elemente verzichtet.

Zu allen potentiellen Stimuli existierten bereits Daten zum Erwerbsalter (Alter der spontanen lexikalischen Produktion sowie Benennalter), die in umfangreichen Studien von De Bleser & Kauschke (2003; vgl. auch Schröder et al. 2003) erhoben wurden.

Alter der spontanen lexikalischen Produktion. Diese Erwerbsdaten wurden über Elternfragebögen erhoben. Dabei wurde das Erwerbsalter definiert, als das Alter, in dem ein Kind ein spezifisches Wort erstmals spontan produktiv verwendet hat. Hierzu wurden Eltern befragt, deren Kinder (n=80) einer spezifischen Altersgruppe angehörten (2;06 – 2;11, 3;0 – 3;5, 3;6 – 3;11, 4;0 – 4;5 Jahre, je Gruppe n=20 Kinder). Die Eltern sollten einschätzen, ob die in einem Fragebogen gelisteten Nomen und Verben bereits im spontanen Sprachgebrauch ihrer Kinder auftreten. Wenn 70% der Kinder einer Altersgruppe ein Wort erstmalig spontan verwendeten, wurde dieser Altersbereich als durchschnittliches produktives Erwerbsalter gewertet. Um eine Vergleichbarkeit mit anderen Studien zu gewährleisten wurden die Altersbereiche in Monatsangaben überführt. Für den Zweck der vorliegenden Untersuchung wurde das rechnerische Mittel in Monaten ausgewählt (32,5; 38,5; 44,5; 50,5 Monate; siehe dazu Schröder et al. 2003).

Benennalter. Für 16 Nomen und 24 Verben des potentiellen Stimulussets bestanden außerdem Daten zum Benennalter. Das Benennalter bezeichnet das Lebensalter in dem Kinder spezifische Abbildungen tatsächlich benennen können (vgl. De Bleser & Kauschke 2003; Schröder et al. 2003). De Bleser & Kauschke (2003) untersuchten dafür 240 Kinder, die 8 definierten Altersgruppen angehörten, mit der Methode des Bildbenennens. Die ersten fünf Altersgruppen waren in Halbjahresabständen eingeteilt, die letzten drei Altersgruppen umfassten jeweils ein Lebensjahr (2;06 – 2;11, 3;0 – 3;5, 3;6 – 3;11, 4;0 – 4;5, 4;6 – 5;0, 5;0 – 5;11, 6;0 – 6;11, 7;0 – 7;11 Jahre, je Gruppe n=30 Kinder). Das Benennalter wurde aufgrund eines 73% Kriteriums ermittelt, d.h. wenn 73% der Kinder einer Altersgruppe das jeweilige Bild benennen konnten, galt dies als Beleg für das Benennalter. Auch hier wurden die Altersbereiche in Lebensmonate überführt. Für die vorliegenden Studien wurde das rechnerische Mittel der Altersbereiche verwendet (32,5; 38,5; 44,5; 50,5; 56,5; 65,6; 77,5; 89,5 Monate; siehe dazu Schröder et al. 2003).

Im Rahmen dieser Dissertation wurden darüber hinaus für das gesamte potentielle Stimulusset zusätzliche Parameter erhoben, die aus der Literatur für ihren Einfluss auf das Bildbenennen bekannt sind (vgl. u.a. Hirsh & Ellis 1994; Hirsh & Funnell 1995; Howard 1995; Barry et al. 1997; Ellis & Morrison 1998; Hodgson & Ellis 1998; Kremin et al. 1999; 2001; Druks & Masterson 2000; Bates et al. 2001; Laiacona et al. 2001; Bonin et al. 2002; Barry & Gerhand 2003; Cuetos & Alija 2003; Szekely et al. 2005; Bogka et al. 2003). Dazu zählten das geschätzte Erwerbsalter, die lexikalische Frequenz, die Vorstellbarkeit, die visuelle Komplexität, die Benennübereinstimmung und die Wortlänge (siehe Tabelle 2). In den folgenden Abschnitten soll das Vorgehen bei der Erhebung dieser Stimulusparameter näher erläutert werden. Im Anhang werden neben den ausführlichen Instruktionen die Ergebnisse der Erhebungen für das gesamte potentielle Stimulusset angegeben.

Tabelle 2: Überblick über die Erhebungen zur Stimuluscharakterisierung

Daten	Wert	Art der Erhebung/Referenz	Abschnitt
Alter der spontanen lexikalischen Produktion	Mittelwert in Monaten	Elternfragebogen (De Bleser & Kauschke 2003)	6.1
Benennalter	Mittelwert in Monaten	Mündliches Benennen (De Bleser & Kauschke 2003, Schröder et al. 2003)	6.1
Geschätztes Erwerbsalter	Mittelwert in Monaten	Rating – Wortliste, Skala 1-7 (Postler in Zusammenarbeit mit Kauschke)	6.4.2
Wortfrequenz, gesprochen und gemischt	logarithmisch	Celex lexical database (Postler nach Baayen et al. 1995)	6.2
Vorstellbarkeit	Mittelwert	Rating – Wortliste, Skala 1-7 (Postler in Zusammenarbeit mit Kauschke)	6.4.3
Wortlänge	kategoriell	Anzahl der Silben und Phoneme (Postler nach Duden, Aussprachewörterbuch, 1990)	6.3
Visuelle Komplexität	Mittelwert	Rating – Wortliste, Skala 1-7 (Postler in Zusammenarbeit mit Kauschke)	6.4.4
Benennübereinstimmung	Prozent	Schriftliches Benennen (Postler in Zusammenarbeit mit Kauschke)	6.4.5

6.2 Lexikalische Frequenz

Die lexikalische Frequenz der potentiellen Items wurde mit der CELEX Datenbank erhoben (Baayen et al. 1995). Dieser Korpus besteht aus 5,4 Millionen Token aus geschriebenen Texten und 600000 Token aus transkribierter, gesprochener Sprache. Der Korpus für die geschriebene Sprache beinhaltet Zeitungsartikel, Romane, Memoiren, wissenschaftliche, populärwissenschaftliche und Trivalliteratur sowie Gebrauchstexte (Lehrbücher, Satzungen, Erlasse usw.) aus der Zeit von 1949-1974. Die Transkripte der gesprochenen Sprache beruhen auf Diskussionen, Interviews, Vorträgen, Berichten, Erzählungen und Reportagen aus der Zeit von 1966-1972. Die CELEX Datenbank ermöglicht die getrennte Bestimmung der schriftlichen, mündlichen oder gemischten Frequenz für Lemmata und Wortformen. Die Ausgabe der Frequenz erfolgt in absoluten Zahlen (absolute Frequenz), in Relation bezogen auf eine Million Lemmata oder Wortformen (relative Frequenz) oder als logarithmische Frequenz. Da Bildbenennen den Abruf eines lexikalischen Items aus dem phonologischen Ausgangslexikon erfordert, sollte bei der Bestimmung der Frequenz der Items auf Daten zur mündlichen Frequenz zurückgegriffen werden. Aufgrund der geringen Größe des Korpus zur mündlichen Sprache wurde für das Stimulusmatching jedoch die gemischte logarithmische Frequenz (Lemmata) herangezogen. Die Werte der mündlichen logarithmischen Frequenz werden jedoch ergänzend berichtet.

6.3 Wortlänge

Die Länge der potentiellen Stimuli wurde anhand der Phonemanzahl eines Items bzw. seines Wortstammes und der Silbenzahl bestimmt (Duden, Aussprachewörterbuch 1990). Bei der Ermittlung der Phonemanzahl wurden Affrikaten ([ts], [pf], [tsch]) und Diphthonge ([au], [ai], [oi]) jeweils als ein Phonem gezählt. Führte die Verbindung des Schwa Lautes mit einem Konsonanten zur silbischen Realisierung des Konsonanten in der normalen Aussprache (wie z.B. in [kaufn]), wurde nur der silbische Konsonant gezählt, nicht aber der Schwa Laut.

6.4 Vorstudien

Nachfolgend werden vier Vorstudien zur Erhebung der Stimuluscharakteristika geschätztes Erwerbsalter, Vorstellbarkeit, visuelle Komplexität und Benennübereinstimmung beschrieben (entwickelt und durchgeführt in Zusammenarbeit mit Dr. Christina Kauschke). Dabei stellt die Vorstudie zum geschätzten Erwerbsalter (siehe Abschnitt 6.4.2) im Gegensatz zu den anderen Vorstudien eine in sich geschlossene Untersuchung dar, die zur Beantwortung der dritten Forschungsfrage dieser Dissertation durchgeführt wurde. Nur bei dieser Vorstudie werden daher nähere Analysen der Ergebnisse präsentiert und diskutiert. Die Abschnitte zur Erhebung der anderen Stimulusparameter beschränken sich hingegen auf eine genaue Beschreibung des methodischen Vorgehens.

6.4.1 Methodische Vorüberlegungen

Umgang mit Ratings. Bei einem Rating beurteilt die befragte Person spezifische Merkmalsausprägungen eines Items nach dem subjektiven Empfinden. Die Merkmalsausprägungen werden in Form einer Antwortskala vorgegeben. In den nachfolgend beschriebenen Ratings (vgl. Abschnitt 6.4.2, 6.4.3 und 6.4.4) wurden sowohl bipolare als auch unipolare Skalentypen verwendet. Bei bipolaren Skalen (vgl. Abschnitt 4.4.3 und 4.4.4) werden die extremen Merkmalsausprägungen durch Gegensatzpaare definiert. Es wurden jeweils sieben Merkmalsausprägungen angeboten (vgl. Druks & Masterson 2000). Dies ermöglicht eine gute Differenzierung zwischen den Ausprägungen, ohne die Differenzierungsfähigkeit des Probanden zu überfordern. Die ungerade Anzahl der Skalenpunkte ermöglicht eine neutrale Mitte bei Punkt vier, die unsicheren Urteilern ein Ausweichen auf diese Kategorie ermöglicht. Bei der unipolaren Skala hingegen steigt die Merkmalsausprägung ausgehend von einem Nullpunkt stetig an (vgl. Abschnitt 6.4.2).

Für die statistische Analyse ergibt sich die Frage, ob Ratingdaten intervall- oder ordinalskaliert sind. Nach Bortz & Döring (1995: 168) ist dies ein lange diskutiertes Thema. Die Annahme über die Skalierung der Daten hat gravierende Konsequenzen für die statistische Auswertung, denn ordinalskalierte Daten dürfen im Gegensatz zu intervallskalierten Daten nicht mit parametrischen Verfahren inferenzstatistisch überprüft werden. Auf der Grundlage der Interpretation von Bortz und

Döring (1995: 168f) und der Konvention in der neurolinguistischen Forschung wurden alle Daten, die über Ratings gewonnen wurden, in der vorliegenden Arbeit als intervallskalierte Daten interpretiert. Demzufolge kamen parametrische Verfahren der Inferenzstatistik zur Anwendung, wenn alle weiteren Voraussetzungen (Normalverteilung, Homogenität der Varianzen, ggf. Sphärizität) für die Anwendung dieser Verfahren erfüllt wurden.

Stets sind mit Rating Daten einige methodische Probleme verbunden (Bortz & Döring 1995: 170ff). Eines davon ist zum Beispiel, dass ein Urteiler im Laufe der ersten Beurteilungen einen falschen Eindruck vom Variationsbereich der Merkmalsausprägungen erhalten kann (Bortz und Döring, 1995). Eventuell bewertet er das erste Item mit einem Extremwert und hat anschließend keinen weiteren Spielraum für die Bewertung weiterer Items mit extremer Merkmalsausprägung. Möglicherweise hält er sich aber genau wegen dieser Überlegung anfänglich in seinem Urteil zurück und bewertet eher im neutralen Bereich, um später noch Spielraum für extreme Merkmalsausprägungen zu haben. Beide Beurteilungsarten führen zu einer Verzerrung des Ergebnisses. Um diesem Problem zu begegnen, wurden zu Beginn eines jeden Ratings mehrere Beispiele für extreme Merkmalsausprägungen gegeben.

Potentielle Ergebnisverzerrungen können auch durch einen primacy bzw. recency Effekt entstehen. Der Effekt hängt mit der sequentiellen Position der zu beurteilenden Objekte zusammen. Auch wenn im Vorfeld Beispiele für extreme Merkmalsausprägungen gegeben werden, besteht die Möglichkeit, dass die Bewertung von Items durch vorangegangene Urteile beeinflusst wird. Aus diesem Grund wurden die Items stets randomisiert präsentiert. Für das Rating zum geschätzten Erwerbsalter, zur Vorstellbarkeit und visuellen Komplexität wurden daher jeweils zwei unterschiedlich randomisierte Varianten des Fragebogens erstellt.

Die Tendenz des Beurteilers, mehrere Merkmale eines Objekts zu einem Pauschalurteil zusammenzufassen („Halo-Effekt“, Thorndike 1920) ist eine weitere Artefaktmöglichkeit. Um diesem Effekt entgegenzuwirken wurde eine möglichst genaue Definition des einzuschätzenden Merkmals erarbeitet. Die Fähigkeit zur Differenzierung potentiell unterschiedlicher Merkmale ist jedoch bei den einzelnen Probanden unterschiedlich ausgeprägt. Daher ist die Gefahr einer Urteilsverzerrung durch Pauschalurteile bei jedem Rating gegeben.

Datenbereinigung. Generell wurden Ratingdaten vor der statistischen Analyse auf fehlende/nicht eindeutige Reaktionen und Ausreißerwerte überprüft und bereinigt. Personen, die mehr als 10% fehlende, uneindeutige oder inadäquate Reaktionen zeigten, wurden grundsätzlich von der Analyse ausgeschlossen. Ausreißer sind 'auffällige' Beobachtungswerte eines Datensatzes, die außerhalb des zentralen Bereichs einer Verteilung liegen und daher mit dem Rest der Daten schwer vereinbar sind. Das Vorkommen von Ausreißerwerten kann unterschiedliche Ursachen haben, z.B. Sonderfälle in der natürlichen Variabilität von Merkmalen, gelegentliche Unaufmerksamkeit der Probanden oder Messfehler. Statistische Kennwerte können durch Ausreißerwerte überproportional

beeinflusst und somit verzerrt werden, was zu Fehlinterpretationen der Daten führen kann (Ratcliff 1993). Die Identifikation der Ausreißer erfolgte in den vorliegenden Ratings nach einem Verfahren von Baumgärtner & Tompkins (1998). Die Autoren definierten einen Ausreißerwert als einzelne Reaktion, die mindestens 2 Punkte von jeder anderen individuellen Reaktion über ein Item abweicht. Zum Beispiel würde bei einem Item, das in der Regel mit Skalenwerten von 3-5 bewertet wurde, eine individuelle Reaktion von 1 oder 7 als Ausreißer klassifiziert und vom Datensatz entfernt werden.

Datenanalyse. Die statistische Analyse sämtlicher Verhaltensdaten, die in dieser Dissertation berichtet werden (Ratings, Reaktionszeiten, Korrektheit), erfolgte mit der Software Statistica (<http://www.statsoft.de/>). Die methodische Vorgehensweise bei der Planung und Auswertung der Experimente orientierte sich an Bortz (1993) und Bortz & Döring (1995).

6.4.2 Vorstudie 1: Geschätztes Erwerbalters

Einleitung. Die Frage nach dem Einfluss des Erwerbalters auf die Reaktionszeiten und die Hirnaktivität beim Benennen von Nomen- und Verbabbildungen ist ein zentrales Problem dieses Dissertationsprojektes. Wie in Kapitel 4 bereits angesprochen wurde, bestehen verschiedene Möglichkeiten, das Erwerbalters von Wörtern zu erheben. Bezogen auf die grammatische Kategorie der Nomen entstanden in der Vergangenheit umfangreiche Datenkorpora zum Erwerbalters aus subjektiven und objektiven Erhebungen in verschiedenen Sprachen. Ein Zusammenhang zwischen den Erhebungen wurde für Nomen wiederholt nachgewiesen (vgl. Kapitel 4). Im Hinblick auf das Erwerbalters von Verben finden sich insgesamt nur wenige Daten (u.a. Druks & Masterson 2000 für das Englische, De Bleser & Kauschke 2003 für das Deutsche). Untersuchungen zum Zusammenhang zwischen subjektiven und objektiven Erhebungsmethoden liegen für Verben bislang noch nicht vor.

Für die Items des potentiellen Stimulussets standen, wie bereits erwähnt, Daten zum Alter der spontanen lexikalischen Produktion und für einige Items auch Daten zum Benennalter (De Bleser & Kauschke 2003) zur Verfügung. Im Rahmen dieser Vorstudie sollten zusätzlich subjektive Daten zum Erwerbalters erhoben werden. Die Vorstudie verfolgte zwei Ziele. Erstens sollte geprüft werden, welche Erwerbsdaten (Alter der spontanen lexikalischen Produktion, Benennalter oder subjektives Erwerbalters) sich zur Beantwortung der Forschungsfragen 5.2 und 5.5 eignen. Zweitens sollten mögliche Zusammenhänge zwischen verschiedenen Methoden der Erhebungen des Erwerbalters bei Verben untersucht werden (vgl. Forschungsfrage 5.3). Die Analyse der aktuellen Forschungslage führte zu folgenden Hypothesen:

Hypothese I:

Es zeigen sich signifikante Korrelationen zwischen den Erhebungen zum geschätzten Erwerbsalter, Benennalter und dem Alter der spontanen lexikalischen Produktion bei Nomen.

Hypothese II:

Es zeigen sich signifikante Korrelationen zwischen den Erhebungen zum geschätzten Erwerbsalter, Benennalter und dem Alter der spontanen lexikalischen Produktion bei Verben.

Begründung:

Subjektive und objektive Datenerhebungen zum Erwerbsalter von Nomen korrelieren nachweislich hoch miteinander (Morrison et al. 1997; Carroll & White 1997a, b; Gilhooly & Gilhooly 1980; Gilhooly & Hay 1977; Schröder et al. 2003). Da Vergleichsdaten für die Kategorie der Verben bisher nicht zur Verfügung stehen, wird ein ähnliches Muster wie bei Nomen erwartet.

Teilnehmer. 85 Personen (n = 48 weiblich, n = 37 männlich) im Alter zwischen 19 und 45 Jahren (MW 31,01 Jahre; Stdabw. 7,63) nahmen an der Erhebung des geschätzten Erwerbsalters teil.

Material und Durchführung. Die Teilnehmer erhielten Listen mit graphematischen Nomen bzw. Verben. Es wurden jeweils zwei unterschiedliche randomisierte Listen erarbeitet (Liste A: n=43 [n = 24 weiblich], Liste B: n = 42 [n = 23 weiblich]). Ambige Items wurden durch kurze Kommentare (z.B. Hahn [Tier]) desambiguiert. Die Einschätzung des Erwerbsalters erfolgte anhand einer unipolaren 7-Punkte Skala (1 = Lebensjahr 1 und 2, 2 = Lebensjahr 3, 3 = Lebensjahr 4 usw. bis Punktwert 7+ = Lebensjahr 8 und älter). Es wurden drei Übungitems präsentiert. Die Instruktion lautete (siehe Anlage 1):

„Bitte schätzen Sie so genau wie möglich ein, in welchem Lebensjahr Sie die unten aufgeführten Wörter zusammen mit ihrer Bedeutung erstmalig selbst in der gesprochenen Form verwendet haben. Es ist dabei nicht von Bedeutung, ob die Aussprache des Wortes vollkommen fehlerfrei war oder das Wort grammatikalisch korrekt verwendet wurde. Kreuzen Sie das Kästchen an, daß ihrer Meinung nach dem eigenen produktiven Erwerbsalter am besten entspricht.“

Ergebnisse. Zwei Personen wurden von der Analyse ausgeschlossen, da sie mehr als 10% fehlende Reaktionen zeigten. Einzelne nicht eindeutig markierte oder fehlende Reaktionen wurden ebenfalls nicht gewertet (Nomen: n = 12 entspricht 0,2%; Verben n = 1 entspricht 0,03%). Im Rahmen der Datenbereinigung wurden insgesamt 13 (Nomen n = 10 entspricht 0,2%; Verben: n = 3 entspricht 0,1%) der individuellen Reaktionen als Ausreißerwerte klassifiziert und ausgeschlossen. Um das geschätzte Erwerbsalter mit anderen Studien vergleichen zu können, wurden die durchschnittlichen Skalenwerte für jedes Item durch Multiplikation mit dem Faktor zwölf in Monatswerte

umgerechnet (vgl. Schröder et al. 2003). In Tabelle 3 sind die durchschnittlichen Ergebnisse für das gesamte potentielle Stimulusset angegeben (für itemspezifische Ergebnisse siehe Anlage 4 - 5).

Tabelle 3: Geschätztes Erwerbsalter für potentielle Stimuli, deskriptive Statistik

Wortkategorie	N	MW in Monaten	Stdabw.	Min.	Max.
Nomen	61	42,68	7,51	27,90	57,11
Verben	38	46,89	8,45	30,36	63,90

Legende: N = Anzahl der Stimuli; MW = Mittelwert; Stabw. = Standardabweichung; Min. = Minimum; Max. = Maximum

Für eine Subgruppe der Items, das finale Stimulusset, (vgl. Abschnitt 6.5) wurde Korrelationsanalysen sowie Mittelwertvergleiche hinsichtlich der verschiedenen Datensätze zum Erwerbsalter (geschätztes Erwerbsalter, Alter der spontanen lexikalischen Produktion, Benennalter) durchgeführt. Dabei zeigten sich für Nomen hohe Korrelationen zwischen allen Erhebungen. Die Mittelwerte der Erhebungen wiesen beim Alter der spontanen lexikalischen Produktion den geringsten Wert auf, gefolgt vom geschätzten Erwerbsalter und dem Benennalter mit dem höchsten Wert (siehe Tabelle 4). Der statistische Vergleich der Mittelwerte ergab jedoch keinen signifikanten Unterschied zwischen dem geschätzten Erwerbsalter und dem Benennalter. Das Alter der spontanen lexikalischen Produktion unterschied sich jedoch signifikant sowohl vom geschätzten Erwerbsalter als auch vom Benennalter (siehe Tabelle 5).

Tabelle 4: Erhebungen zum Erwerbsalter bei Nomen, deskriptive Statistik

	N	MW in Monate	Stdabw.	Min.	Max.
Geschätztes Erwerbsalter	32	42,67	7,34	27,90	57,11
Spontane Produktion	32	37,75	6,42	32,50	50,50
Benennalter	15	45,90	14,82	32,50	89,50

Legende: N = Anzahl der Stimuli; MW = Mittelwert; Stabw. = Standardabweichung; Min. = Minimum; Max. = Maximum

Tabelle 5: Erwerbsaltererhebungen bei Nomen, Mittelwertvergleich und Korrelationen

Nomen	N	Wilcoxon-Test	Spearman	
		p	R	p
Geschätztes EA – Spontane Produktion	32	0,001	0,83	0,001
Geschätztes EA – Benennalter	15	n.s.	0,58	0,05
Spontane Produktion – Benennalter	15	0,005	0,52	0,05

Legende: N = Anzahl der Stimuli; p = Alpha Niveau; R = Spearmans R; n.s. = nicht signifikant

Auch bei Verben konnte eine Zunahme des mittleren Erwerbsalters vom Alter der spontanen lexikalischen Produktion über das geschätzte Erwerbsalter zum Benennalter beobachtet werden (siehe Tabelle 6). Bezüglich des statistischen Zusammenhanges zwischen den Erhebungen zeigte sich eine hohe Korrelation zwischen dem Alter der spontanen lexikalischen Produktion auf der

einen Seite und dem geschätzten Erwerbsalter sowie dem Benennalter auf der anderen Seite. Die Korrelation zwischen Benennalter und geschätztem Erwerbsalter verfehlte jedoch ein signifikantes Niveau. Alle Mittelwerte unterschieden sich signifikant voneinander (siehe Tabelle 7).

Tabelle 6: Erhebungen zum Erwerbsalter bei Verben, deskriptive Statistik

Verben	N	MW in Monate	Stdabw.	Min.	Max.
Geschätztes Erwerbsalter	32	46,39	7,27	30,36	63,90
Spontane Produktion	32	37,00	6,10	32,50	50,50
Benennalter	25	60,10	16,36	32,50	89,50

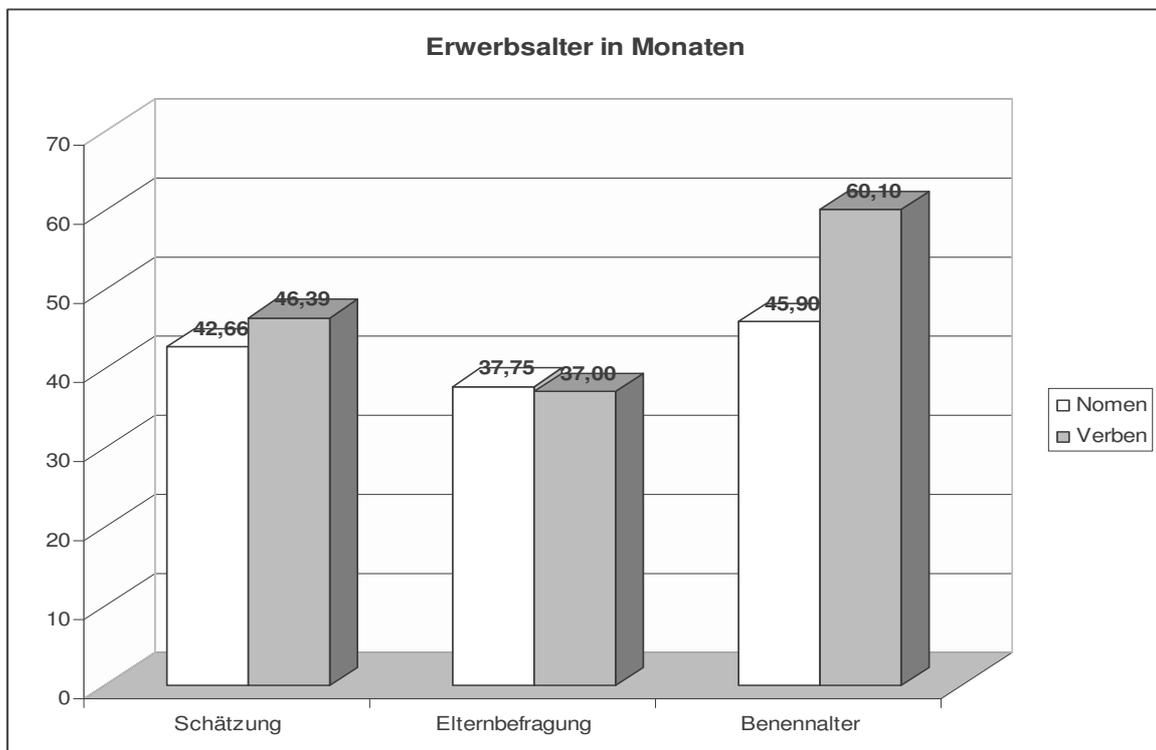
Legende: N = Anzahl der Stimuli; MW = Mittelwert; Stabw. = Standardabweichung; Min. = Minimum; Max. = Maximum

Tabelle 7: Erwerbsaltererhebungen bei Verben, Mittelwertvergleich und Korrelationen

Verben	N	Wilcoxon-Test	Spearman	
		p	R	p
Geschätztes EA – Spontane Produktion	32	0,001	0,72	0,001
Geschätztes EA – Benennalter	25	0,001	0,38	n.s.
Spontane Produktion- Benennalter	25	0,001	0,45	0,05

Legende: N = Anzahl der Stimuli; p = Alpha Niveau; R = Spearmans R; n.s. = nicht signifikant

Abbildung 1: Erwerbsalter für Nomen und Verben über drei verschiedene Datenerhebungen



Die mittleren Alterswerte für Nomen und Verben unterschieden sich signifikant in den Erhebungen zum geschätzten Erwerbsalter und zum Benennalter. Keine Unterschiede zeigten sich in der Erhebung zum Alter der spontanen lexikalischen Produktion. Dabei lagen die Mittelwerte für

Verben stets höher als für Nomen (siehe Abbildung 1 und Tabelle 8; siehe Abschnitt 6.5 für Mittelwerte des Erwerbalters in Subkategorien).

Tabelle 8: Erhebungen zum Erwerbalters bei Nomen und Verben, Mittelwertvergleiche

Erhebungsmethode	Mittelwert		Standardabw.		T-Test (unabh.)		Mann-Whitney-U
	Nomen	Verben	Nomen	Verben	t	p	p
Geschätztes Erwerbalters	42,67	46,39	7,35	7,27	2,04	0,05	n.s.
Spontane Produktion	37,75	37,00	6,24	6,10	0,48	n.s.	n.s.
Benennalters ^A	45,90	60,10	14,82	16,36	2,75	0,01	0,01

Legende: ^A Nomen n=15, Verben n=25; t = T-Wert; p = Alpha Niveau

Diskussion. Die Ergebnisse dieser Vorstudie haben gezeigt, dass alle Datenerhebungen zum Erwerbalters von Nomen signifikant miteinander korrelieren. Dieses Ergebnis bestätigt die Befunde vorangegangener Studien (u.a. Morrison et al. 1997; Carroll & White 1997a, b; Gilhooly & Gilhooly 1980; Gilhooly & Hay 1977; Schröder et al. 2003). Die erste Hypothese kann daher angenommen werden. Ein anderes Muster zeigt sich jedoch für Verben, da das geschätzte Erwerbalters eine signifikante Korrelation mit dem Benennalters verfehlt. Die Hypothese II muss aus diesem Grund zurückgewiesen werden.

Die erste Frage, die im Rahmen dieser Diskussion zu klären ist, lautet: warum korreliert das geschätzte Erwerbalters bei Nomen mit dem Benennalters, bei Verben jedoch nicht? Zur Beantwortung dieser Frage ist es hilfreich, sich die Erhebungsmethode zur Ermittlung des Benennalters noch einmal zu vergegenwärtigen. Das Benennalters wird über die Methode des mündlichen Bildbenennens bei Kindern erhoben. Zwei Faktoren müssen hierbei besonders berücksichtigt werden, erstens die Qualität der Abbildung eines lexikalischen Items und zweitens, die Fähigkeit des Kindes diese Abbildung zu benennen. Die Qualität der Abbildung und die Art der Darstellung sind von entscheidender Bedeutung für die Benennleistung des Kindes. Bei komplexer Darstellung ist es durchaus möglich, dass das intendierte Wort nicht produziert wird, obwohl es lexikalisch bereits erworben ist. Dies hat zur Folge, dass die durchschnittlichen Altersangaben zum Benennalters höher liegen, als das tatsächliche Erwerbalters. Das Benennalters wird zwar häufig als ein objektives Maß des Erwerbalters betrachtet, reflektiert aber eigentlich den Parameter Benennübereinstimmung bei Kindern in der Sprachentwicklung. Aufgrund dessen ist das Benennalters nicht mit dem Erwerbalters eines lexikalischen Items gleichzusetzen. Das Benennalters ist stets an ein spezifisches Bild gebunden und daher kein allgemeingültiger, repräsentativer Wert für das Alter indem ein lexikalisches Item erworben wurde.

Warum ist der Zusammenhang zwischen den Erhebungen nun aber bei Verben nicht vorhanden, während er bei Nomen erkennbar ist? In Untersuchungen zum Benennen von Nomen und Verben wurde häufig ein Vorteil für Nomen hinsichtlich der Benennlatenz und -genauigkeit festgestellt. Dieser Vorteil wurde damit begründet, dass das Verbbenennen aus den unterschiedlichsten

Gründen höhere Anforderungen an einen Versuchsteilnehmer stellt. Die Studien von Cuetos & Alija (2003; Cuetos et al. 1999; vgl. Abschnitt 4.3.1) haben ferner gezeigt, dass die Benennübereinstimmung das Verbbenennen stärker beeinflusst als das Benennen von Nomen. Die unterschiedlichen Ergebnisse der Zusammenhangsanalysen für Nomen und Verben sind daher möglicherweise auf differierende Prozesse bei der Verarbeitung der grammatischen Kategorien beim Benennen zurückzuführen. Von wesentlicher Bedeutung ist dabei wahrscheinlich, dass erstens die Aufnahme von visuellen Informationen zur Produktion eines Verbs komplexer ist und noch stärker von der Qualität und Eindeutigkeit der Abbildung abhängt als bei Nomen. Zweitens ist die kognitive Anforderung beim Benennen von Handlungsbildern höher, denn die Bezeichnung einer Handlung erschließt sich aus der Relation zwischen den abgebildeten Aktanten, Objekten und Instrumenten, wohingegen beim Objektbenennen eine 1:1 Beziehung zwischen dem abgebildeten Objekt und dem jeweiligen Wort vorliegt. In Abhängigkeit von der Qualität der Abbildung und der Komplexität des Verbkonzeptes gelingt der Benennprozess offensichtlich von Fall zu Fall besser oder schlechter. Im Gegensatz dazu basiert das geschätzte Erwerbssalter auf einer Beurteilung von Items, die als graphematische Wörter dargeboten wurden. Bildbezogene Einflussfaktoren können hier ausgeschlossen werden. Die unterschiedlichen Anforderungen an das Objekt- und Handlungsbenennen führen möglicherweise dazu, dass in den vorliegenden Daten für Verben kein systematischer Zusammenhang zwischen geschätzten Erwerbsdaten und Benennenden beobachtet werden konnte.

Das zweite Ziel dieser Vorstudie bestand darin, geeignete Erwerbsdaten zu identifizieren, die zur Beantwortung der Forschungsfragen 5.2 und 5.5 eingesetzt werden können. Aus theoretischer Sicht eignen sich hierfür Daten, die möglichst nah am tatsächlichen Erwerbssalter liegen und möglichst wenig mit anderen Stimulusparametern konfundiert sind. Morrison et al. (1997) empfehlen, zumindest für die Kategorie der Nomen, den Einsatz von objektiven Erwerbsdaten, sofern diese vorhanden sind. Jedoch gelten auch subjektive Schätzungen (Morrison et al. 1997) des Erwerbssalters oder Elternbefragungen zum lexikalischen Erwerb als valide und reliabel (Kauschke 1999). Diese Vorstudie hat gezeigt, dass die Mittelwerte für das Alter der spontanen Produktion in beiden grammatischen Kategorien am niedrigsten lagen (etwa um das 3. Lebensjahr). Sie sind gut mit dem vermuteten tatsächlichen Erwerbszeitpunkt der spezifischen lexikalischen Items vereinbar, da sie erstens mit Theorien zum Wortschatzerwerb eines gesunden Kindes übereinstimmen und zweitens aus den direkten Beobachtungen der Eltern entstanden sind. Das mittlere Benennalter dagegen liegt wesentlich höher (etwa um 4 bis 6 Jahre) und reflektiert somit eher schlecht den tatsächlichen Erwerbszeitpunkt der Wörter. Zudem unterscheiden sich die durchschnittlichen Alterswerte signifikant zwischen den grammatischen Kategorien, was bei der Elternbefragung nicht festgestellt wurde. Wie bereits erwähnt wurde in jüngeren Studien häufig ein Effekt der Benennübereinstimmung auf das Benennen von Verben berichtet (u.a. Cuetos & Alija (2003),

einhergehend mit höheren Benennlatenzen und einer schlechteren Benennungsgenauigkeit. Insgesamt kann festgestellt werden, dass Daten zum Benennalter stark von der Abbildungsqualität (besonders bei Verben) und von differierenden kognitiven Anforderungen beim Objekt- und Handlungsbenennen beeinflusst sind. Diese Eigenschaften sind eher ungünstig für eine weitere Verwendung der Daten in den empirischen Studien dieses Dissertationsprojektes. Das geschätzte Erwerbssalter korrelierte für Nomen und Verben hoch mit den Daten zur spontanen lexikalischen Produktion, obwohl es sich im Mittelwertvergleich signifikant davon unterscheidet. Damit liegen die subjektiven Schätzdaten (etwa um 3;6 - 4 Jahre) zwar näher am vermuteten tatsächlichen Erwerbszeitpunkt, reflektieren aber eher eine Erwerbsreihenfolge. Die Daten stimmen nicht mit Annahmen zum Wortschatzerwerb überein, weil der Erwerbszeitpunkt in der Regel zu spät eingeschätzt wird. Darüber hinaus zeigte sich auch hier ein signifikanter Unterschied zwischen den mittleren Alterswerten für Nomen und Verben. Das Erwerbssalter für Verben wurde signifikant höher geschätzt als das für Nomen. Diese Differenz weist daraufhin, dass verschiedene Stimulusparameter zu Hilfe genommen wurden, um das Erwerbssalter eines Items zu schätzen. Nomen und Verben unterscheiden sich hinsichtlich vieler Parameter (z.B. Vorstellbarkeit, konzeptuelle und grammatische Komplexität etc.). Das Schätzen des Erwerbssalters bei Verben ist anscheinend von Verarbeitungsmechanismen beeinflusst, die sich weniger stark bei Nomen auswirken.

Insgesamt eignen sich die Daten zur spontanen lexikalischen Produktion am besten für eine Verwendung in Studien zur Benennlatenz oder Hirnaktivierung. Sie liegen dem tatsächlichen Erwerbszeitpunkt eines Wortes am nächsten und sind relativ wenig von anderen Stimuluscharakteristika oder grammatischen Kategorieeffekten beeinflusst.

6.4.3 Vorstudie 2: Vorstellbarkeit

Teilnehmer. An der Erhebung der Vorstellbarkeit nahmen 60 Versuchspersonen (n = 37 weiblich, n = 23 männlich) im Alter von 19 bis 55 Jahre (MW 30,75 Jahre, Stdabw. 8,44) teil.

Material und Durchführung. Die Teilnehmer (Liste A: n = 30 [n = 18 weiblich], Liste B: n = 30 [n = 19 weiblich]) erhielten nach Wortarten getrennte Listen. Zwei unterschiedlich randomisierte Listen wurden für jede Wortart konstruiert. Es wurde eine bipolare 7-Punkte Skala verwendet, wobei Punkt 1 eine schwere Vorstellbarkeit und Punkt 7 eine leichte Vorstellbarkeit repräsentierte. Items mit doppelter Bedeutung wurden durch Zusatzinformationen desambiguiert (z.B. Hahn [Tier]). Das Rating begann mit der Präsentation von drei Übungsitems. Die Instruktion (siehe Anlage 2) lautete:

"Wörter unterscheiden sich in ihrer Eigenschaft, eine innere Vorstellung von Objekten oder Ereignissen erzeugen zu können. Einige Wörter erwecken innere Vorstellungen, wie z.B. eine bildliche Vorstellung der Wortbedeutung, schneller und leichter als andere Wörter. Auf den folgenden zwei Seiten finden Sie

verschiedene Wörter. Neben jedem Wort befindet sich eine Skala von 1-7. Ihre Aufgabe besteht darin, den Grad der Vorstellbarkeit mit Hilfe der Skala einzuschätzen. Wörter, die leicht und schnell eine innere Vorstellung hervorrufen, werden mit einer hohen Ziffer bewertet. Schlecht vorstellbare Wörter hingegen erhalten eine niedrige Ziffer. Wählen Sie die Ziffer, die ihr Urteil am besten widerspiegelt."

Ergebnisse. Die Daten aller Teilnehmer gingen in die Analyse ein, nur eine individuelle Beurteilung fehlte in der Verbbedingung (0,04%). Im Zuge der Datenbereinigung wurden insgesamt 10 individuelle Reaktionen als Ausreißer klassifiziert (Nomen: n = 9 entspricht 0,25%; Verben n = 1 entspricht 0,04%) und von der weiteren Analyse ausgeschlossen. In Tabelle 9 sind die durchschnittlichen Ergebnisse für das gesamte potentielle Stimulusset angegeben (für itemspezifische Ergebnisse siehe Anlage 6 - 7). Die Ergebnisse zeigen mit durchschnittlichen Werten zwischen 5 und 6 einen deutlichen Deckeneffekt. Dieser Effekt kann dadurch erklärt werden, dass nur konkrete und gut abbildbare Nomen und Verben in das potentielle Stimulusset eingeschlossen wurden.

Tabelle 9: Erhebung der Vorstellbarkeit für potentielle Stimuli, deskriptive Statistik

Wortkategorie	N	MW	Stdabw.	Min.	Max.
Nomen	61	5,97	0,46	5,00	6,83
Verben	38	5,32	0,68	3,53	6,47

Legende: N = Anzahl der Stimuli; MW = Mittelwert; Stdabw. = Standardabweichung; Min. = Minimum; Max. = Maximum

6.4.4 Vorstudie 3: Visuelle Komplexität

Teilnehmer. An der Erhebung der visuellen Komplexität nahmen 40 Studenten im Grundstudium der Patholinguistik (n = 38 weiblich, n = 2 männlich) im Alter von 19 – 44 Jahren (MW 25,98; Stdabw. 7,00) teil.

Material und Durchführung. Die Datenerhebung wurde an zwei Terminen (Liste A n = 20 [alle weiblich], Liste B n = 20 [18 weiblich]) mit unterschiedlich randomisierter Stimulusabfolge durchgeführt. Alle Abbildungen wurden mit einem Overheadprojektor präsentiert. Die Bewertung erfolgte anhand einer bipolaren 7-Punkte Skala. Punkt 1 repräsentierte sehr einfach strukturierte Abbildungen, Punkt 7 sehr komplexe Zeichnungen. Die Probanden erhielten jeweils zwei Beispiele für extreme Merkmalsausprägungen aus dem Korpus von Druks und Masterson (1999). Die Instruktion lautete (vgl. Snodgrass & Vanderwart 1980; siehe Anlage 3):

„Strichzeichnungen können sich in ihrer graphischen Struktur stark voneinander unterscheiden. Einige Zeichnungen bestehen aus vielen und kompliziert verlaufenden Linien und einer großen Anzahl an Details. Diese Zeichnungen nennen wir visuell komplex. Andere Bilder zeichnen sich durch eine einfache Linienführung aus, die Anzahl der Linien ist gering und es werden nur wenige Details dargestellt. Diese Zeichnungen nennen wir visuell einfach. Sie werden nun verschiedene Strichzeichnungen sehen. Ihre Aufgabe ist es, die visuelle Komplexität dieser Abbildungen einzuschätzen. Beurteilen Sie bitte die Anzahl und Kompliziertheit der Linien sowie die Menge der Details auf einer Skala von 1-7. Bewerten Sie bitte nur

die visuelle Komplexität der Zeichnung selbst, nicht die Komplexität der realen Objekte oder Szenen, die dargestellt werden. Markieren Sie ihre Bewertung durch einen Kreis um die entsprechende Zahl. Bitte entscheiden Sie sich jeweils für genau eine Zahl.“

Tabelle 10: Erhebung der visuellen Komplexität für potentielle Stimuli, deskriptive Statistik

Wortkategorie	N	MW	Stdabw.	Min.	Max.
Nomen	62	3,45	0,97	1,20	6,49
Verben	39	4,09	0,57	2,82	5,25

Legende: N = Anzahl der Stimuli; MW = Mittelwert; Stdabw. = Standardabweichung; Min. = Minimum; Max. = Maximum

Ergebnisse. Alle 40 Datensätze waren vollständig und gingen in die Analyse ein. Insgesamt wurden vier individuelle Reaktionen als Ausreißer klassifiziert (Nomen: n=3 entspricht 0,12%; Verben n = 1 entspricht 0,06%) und vom Datensatz entfernt. In Tabelle 10 sind die durchschnittlichen Ergebnisse für das gesamte potentielle Stimulusset angegeben (für itemspezifische Ergebnisse siehe Anlage 8-9).

6.4.5 Vorstudie 4: Benennübereinstimmung

Teilnehmer. 60 Personen (n = 49 weiblich, n = 11 männlich) nahmen an der Erhebung der Benennübereinstimmung teil. Das mittlere Alter der Teilnehmer lag bei 22,30 Jahren (Stdabw. 2,89; Spannweite 18–33 Jahre). Die Probanden waren Studenten verschiedener geisteswissenschaftlicher und Lehramtsstudiengänge an der Freien Universität Berlin im Grund- oder Hauptstudium. Es wurden nur Teilnehmer eingeschlossen, deren Muttersprache deutsch war.

Durchführung. Die Stimuli wurden während einer Lehrveranstaltung auf eindeutige Benennbarkeit der Abbildungen mit der Methode des schriftlichen Benennens geprüft. Die Abbildungen wurden nach grammatischen Kategorien getrennt mit Hilfe eines Overheadprojektors präsentiert. In der Objektbedingung wurden die Probanden instruiert aufzuschreiben, welches Objekt sie auf dem jeweiligen Bild sehen. Beim Benennen von Handlungen sollten sie notieren, was die Person auf dem Bild macht, bzw. welche Handlung auf dem Bild geschieht. Es wurde darauf hingewiesen, daß stets nur ein Wort notiert werden soll.

Datenanalyse. Die Reaktionen der Versuchspersonen wurden klassifiziert in richtige (1) und falsche (0) Antworten. Als richtige Benennung wurde bis auf wenige Ausnahmen ausschließlich das intendierte Zielwort gewertet. Bei fünf Items wurde jedoch auch eine alternative Benennung akzeptiert, die für das jeweilige Objekt bzw. die Handlungen gleichermaßen zutreffend ist (kneifen/zwicken, kaufen/einkaufen, grüßen/begrüßen, Krebs/Krabbe wiegen/abwiegen). Die Anzahl der richtigen Benennungen wurde für jedes Bild aufsummiert und in Prozent der korrekten Benennungen umgerechnet.

Ergebnisse. In Tabelle 11 sind die durchschnittlichen Ergebnisse als Summenwert bzw. in Prozent korrekt für das gesamte potentielle Stimulusset angegeben (für itemspezifische Ergebnisse siehe Anlage 10-11).

Tabelle 11: Erhebung der Benennübereinstimmung für potentielle Stimuli, deskriptive Statistik

Wortkategorie	N	MW Summe	Stdabw. Summe	MW in % korrekt	Min. Summe	Max. Summe
Nomen	62	58,39	2,27	97	49	60
Verben	39	57,71	3,49	96	45	60

Legende: N = Anzahl der Stimuli; MW = Mittelwert; Stdabw. = Standardabweichung; Min. = Minimum; Max. = Maximum; % = Prozent

6.5 Das finale Stimulusset

Aus dem Set der potentiellen Stimuli wurden 32 Nomen und 32 Verben ausgewählt, die hinsichtlich des Merkmals Belebtheit bei Nomen (n = 16 belebte, n = 16 unbelebte Nomen) und der Valenz bei Verben (n = 16 transitive, n = 16 intransitive Verben) ausbalanciert waren. Alle Items lagen als schwarz-weiß Strichzeichnungen vor (Graphik Matthias Deschner). Es wurden nur Abbildungen eingeschlossen, die eine Benennübereinstimmung von mindestens 80% erreichten. Grammatische Kategorien und Subkategorien waren gematcht nach dem Alter der spontanen lexikalischen Produktion (Produktives Erwerbsalter), der gemischten logarithmischen Frequenz, der Benennübereinstimmung und visueller Komplexität (siehe Tabelle 12-14). Zur weiteren Beschreibung der Stimuli sind in Tabelle 15-17 Mittelwerte für alle weiteren vorhandenen Stimulusparameter angegeben. Nomen und Verben unterschieden sich erstens im geschätzten Erwerbsalter und im Benennalter, wobei Nomen ein signifikant früheres Erwerbsalter aufwiesen.

Tabelle 12: Stimulusmatching für grammatische Kategorien, Mittelwertvergleich

Stimulusparameter jeweils n= 32	Mittelwert		Stdabw.		T-Test (unabh.)		Mann-Whitney-U
	Nomen	Verben	Nomen	Verben	t	p	p
Produktives Erwerbsalter	37,75	37,00	6,42	6,10	0,48	n.s.	n.s.
Log. Frequenz gemischt	1,12	1,23	0,59	0,71	0,66	n.s.	n.s.
Benennübereinstimmung	96,98	96,88	4,59	4,23	0,09	n.s.	n.s.
Visuelle Komplexität	3,86	4,01	0,64	0,55	1,01	n.s.	n.s.

Legende: Stdabw. = Standardabweichung; t = T-Wert; p = Alphas Niveau; n.s. = nicht signifikant

Tabelle 13: Stimulusmatching für Subkategorien, Mittelwerte

Stimulusparameter jeweils n=16	Mittelwerte				Standardabweichung			
	belebt	unbelebt	transitiv	intransitiv	belebt	unbelebt	transitiv	intransitiv
Produktives Erwerbsalter	37,00	38,50	36,63	37,38	6,00	6,93	6,09	6,28
Log. Frequenz gemischt	1,00	1,25	1,31	1,15	0,47	0,68	0,80	0,63
Benennübereinstimmung	97,50	96,46	96,04	97,71	4,94	4,30	5,23	2,85
Visuelle Komplexität	3,94	3,77	3,91	4,11	0,63	0,67	0,49	0,60

Tabelle 14: Mittelwertvergleich der gematchten Parameter in Subkategorien

Stimulusparameter	Subkategorien	1	2	3	4
Produktives Erwerbsalter	1. Nomen belebt	1	n.s.	n.s	n.s
	2. Nomen unbelebt		1	n.s	n.s
	3. Verben transitiv			1	n.s
	4. Verben intransitiv				1
Log. Frequenz gemischt	1. Nomen belebt	1	n.s.	n.s	n.s
	2. Nomen unbelebt		1	n.s	n.s
	3. Verben transitiv			1	n.s
	4. Verben intransitiv				1
Benennübereinstimmung	1. Nomen belebt	1	n.s.	n.s	n.s
	2. Nomen unbelebt		1	n.s	n.s
	3. Verben transitiv			1	n.s
	4. Verben intransitiv				1
Visuelle Komplexität	1. Nomen belebt	1	n.s.	n.s	n.s
	2. Nomen unbelebt		1	n.s	n.s
	3. Verben transitiv			1	n.s
	4. Verben intransitiv				1

Legende: p-Werte für den Mittelwertvergleich der Stimulusparameter in den Subkategorien (je n=16); unabhängiger T-Test und dem Mann-Whitney-U-Test ; n.s. = nicht signifikant

Tabelle 15: Ungematchte Parameter für grammatische Kategorien, Mittelwertvergleich

Stimulusparameter jeweils n = 32	Mittelwert		Stdabw.		T-Test (unabh.)		Mann-Whitney-U
	Nomen	Verben	Nomen	Verben	t	p	p
Geschätztes Erwerbsalter	42,67	46,39	7,35	7,27	-2,04	0,05	n.s.
Benennalter ^A	45,90	60,10	14,82	16,36	-2,75	0,01	0,01
Log. Frequenz mündlich	0,79	0,98	0,63	0,74	-1,08	n.s.	n.s.
Vorstellbarkeit	5,86	5,36	0,43	0,55	4,03	0,001	0,001
Silbenzahl	1,50	2,00	0,51	0,00	-5,57	0,001	0,001
Phonemanzahl	4,03	4,88	1,00	0,75	-3,82	0,001	0,001
Phonemanzahl (Stamm)	4,03	3,59	1,00	0,71	2,02	0,05	n.s.

Legende: ^A Nomen n=15, Verben n=25; Stdabw. = Standardabweichung; t = T-Wert; p = Alpha Niveau

Tabelle 16: Ungematchten Parameter für Subkategorien, Mittelwerte

Stimulusparameter	Mittelwert				Standardabweichung			
	belebt	unbelebt	transitiv	intransitiv	belebt	unbelebt	transitiv	intransitiv
Geschätztes Erwerbsalter	41,14	44,20	47,58	45,21	8,01	6,51	6,87	7,69
Benennalter ^{B, C}	46,50	45,50	59,96	60,25	9,80	18,00	15,91	17,55
Log. Frequenz mündlich	0,67	0,91	1,10	0,85	0,57	0,69	0,81	0,67
Vorstellbarkeit	5,98	5,75	5,16	5,57	0,39	0,44	0,49	0,55
Silbenzahl	1,50	1,50	2,00	2,00	0,52	0,52	0,00	0,00
Phonemanzahl	3,88	4,19	4,56	5,19	0,81	1,17	0,51	0,83
Phonemanzahl (Stamm)	3,88	4,19	3,37	3,81	0,81	1,17	0,62	0,75

Legende: ^B Nomen: unbelebte n = 9, belebte n = 6; ^C Verben: intransitive n = 12, transitive n = 13

Unterschiede traten zweitens bezüglich der Wortlänge auf. Verben waren aufgrund der Infinitivmarkierung -en im Deutschen mindestens zweisilbig und wiesen eine höhere Phonemanzahl auf. Die Sets konnten ferner nicht nach Vorstellbarkeit gematcht werden. Obwohl nur konkrete und gut abbildbare Items in die Untersuchung eingeschlossen wurden, war die

Vorstellbarkeit der Verben stets geringer ausgeprägt als die der Nomen. Kein signifikanter Unterschied zeigte sich hinsichtlich der mündlichen logarithmischen Frequenz. Belebte und nicht-belebte Items unterschieden sich in keinem Parameter voneinander. Transitiv Verben waren verglichen mit intransitiven Verben kürzer und schwerer vorstellbar.

Tabelle 17: Ungematchten Parameter bei Subkategorien, Mittelwertvergleich

Stimulusparameter	Subkategorien	1	2	3	4
Geschätztes Erwerbsalter	1. Nomen belebt	1	n.s.	0,05 (0,05)	n.s.
	2. Nomen unbelebt		1	n.s.	n.s.
	3. Verben transitiv			1	n.s.
	4. Verben intransitiv				1
Benennalter	1. Nomen belebt	1	n.s.	n.s.	n.s.
	2. Nomen unbelebt		1	n.s. (0,05)	n.s.
	3. Verben transitiv			1	n.s.
	4. Verben intransitiv				1
Log. Frequenz mündlich	1. Nomen belebt	1	n.s.	n.s.	n.s.
	2. Nomen unbelebt		1	n.s.	n.s.
	3. Verben transitiv			1	n.s.
	4. Verben intransitiv				1
Vorstellbarkeit	1. Nomen belebt	1	n.s.	0,001 (0,001)	0,05 (0,05)
	2. Nomen unbelebt		1	0,001 (0,01)	n.s.
	3. Verben transitiv			1	0,05 (0,05)
	4. Verben intransitiv				1
Silbenzahl	1. Nomen belebt	1	n.s.	0,001 (0,05)	0,001 (0,05)
	2. Nomen unbelebt		1	0,001 (0,05)	0,001 (0,05)
	3. Verben transitiv			1	n.s.
	4. Verben intransitiv				1
Phonemanzahl	1. Nomen belebt	1	n.s.	0,01 (0,05)	0,001 (0,001)
	2. Nomen unbelebt		1	n.s.	0,01 (0,05)
	3. Verben transitiv			1	0,05 (0,05)
	4. Verben intransitiv				1
Phonemanzahl (Stamm)	1. Nomen belebt	1	n.s.	n.s.	n.s.
	2. Nomen unbelebt		1	0,05 (0,05)	n.s.
	3. Verben transitiv			1	n.s.
	4. Verben intransitiv				1

Legende: p-Werte für den Mittelwertvergleich der Subkategorien (je n = 16 außer bei Benennalter, vgl. Tabelle 16) mit dem unabhängigen T-Test und dem Mann-Whitney-U-Test (eingeklammert); fett gedruckt = signifikante Ergebnisse; n.s. = nicht signifikant

6.5.1 Zusammenhänge zwischen Stimulusparametern

Der Zusammenhang zwischen den einzelnen Stimulusparametern im experimentellen Set wurden mit einer Korrelationsanalyse geprüft (Spearman). Zum Vergleich mit anderen Studien wurden neben den gematchten Parametern auch die Wortlänge und die Vorstellbarkeit der Items in die Analyse einbezogen. Innerhalb der Gruppe der Nomen (siehe Tabelle 18), zeigte sich eine höchst signifikante negative Korrelation zwischen dem Alter der spontanen lexikalischen Produktion und der Vorstellbarkeit. Eine weitere signifikante Korrelation wurde für Vorstellbarkeit und gemischte

logarithmische Frequenz beobachtet. Innerhalb Nomensets sind gut vorstellbare Items früh erworben und gleichzeitig höher frequent.

Tabelle 18: Korrelation der Stimuluscharakteristika bei Nomen (Spearman R)

Parameter	1	2	3	4	5	6
1. Produktives Erwerbsalter	1,00					
2. Gemischte Frequenz	-0,33	1,00				
3. Benennübereinstimmung	-0,30	0,28	1,00			
4. Visuelle Komplexität	0,25	-0,23	0,02	1,00		
5. Vorstellbarkeit	***-0,81	***0,54	0,32	-0,30	1,00	
6. Wortlänge in Phonemen	0,14	-0,32	0,06	-0,02	-0,29	1,00

Legende: *** p < 0,001; ** p < 0,01; * p < 0,05

Spezifisch für Verben (siehe Tabelle 19) zeigte sich ebenfalls ein signifikanter, wenn auch schwächer ausgeprägter, negativer Zusammenhang zwischen Erwerbsalter und Vorstellbarkeit. Daneben stellte sich eine schwach signifikante negative Korrelation zwischen der Benennübereinstimmung und der visuellen Komplexität heraus. Früh erworbene Wörter sind demnach auch im Verbset besser vorstellbar als spät erworbene. Ferner erreichen Verbabbildungen mit geringer visueller Komplexität höhere Werte in der Benennübereinstimmung.

Tabelle 19: Korrelation der Stimuluscharakteristika bei Verben (Spearman R)

Parameter	1	2	3	4	5	6
1. Produktives Erwerbsalter	1,00					
2. Gemischte Frequenz	-0,19	1,00				
3. Benennübereinstimmung	-0,04	-0,16	1,00			
4. Visuelle Komplexität	0,15	-0,14	*-0,38	1,00		
5. Vorstellbarkeit	*-0,37	0,02	0,29	-0,26	1,00	
6. Wortlänge in Phonemen	0,09	-0,14	0,13	0,17	0,24	1,00

Legende: *** p < 0,001; ** p < 0,01; * p < 0,05

Insgesamt scheinen für Nomen engere Zusammenhänge zwischen lexikalisch-semantischen Parametern zu bestehen. Bei Verben zeigen sich darüber hinaus auch Zusammenhänge bezüglich der Qualität der Abbildung. Über alle Items konnte ein bedeutender Zusammenhang zwischen dem Erwerbsalter und der Vorstellbarkeit festgestellt werden. Früh erworbene Wörter, sind insbesondere bei Nomen besser vorstellbar als spät erworbene Wörter (für einen Überblick über die Mittelwerte aller Stimulusparameter im potentiellen und finalen Stimulusset siehe Anlage 12 - 15; für alle Abbildungen siehe Anlage 16 - 17) .

6.6 Zusammenfassung des sechsten Kapitels

In diesem Kapitel wurde die Konstruktion eines Stimulussets beschrieben, dass hinsichtlich der grammatischen Kategorien Nomen/Verb sowie der Subkategorien belebt/unbelebt und

transitiv/intransitiv ausbalanciert ist. Die Itemssets für Kategorien und Subkategorien sind dabei kontrolliert auf lexikalische (produktives Erwerbsalter, lexikalische Frequenz) und bildbezogene Parameter (visuelle Komplexität, Benennübereinstimmung).

Innerhalb der Vorstudie zum Erwerbsalter (6.4.2) wurde ferner die Forschungsfrage unter 5.3 beantwortet. Es wurde festgestellt, dass verschiedene Erhebungsmethoden zum Erwerbsalter bei Verben im Gegensatz zu Nomen nicht immer korrelieren. Das geschätzte Erwerbsalter wies bei Verben keinen signifikanten Zusammenhang mit dem Benennalter auf. Die Analyse der bestehenden Daten zum Erwerbsalter ergab weiterhin, dass das Alter der spontanen lexikalischen Produktion die geeignete Prädiktorvariable für die nachfolgend beschriebenen Experimente im Rahmen dieser Dissertation ist.

7 Studie 1: Benennlatenz

7.1 Ziel der Studie

Dieses Experiment ist eine Kontrollstudie zu der in Kapitel 8 beschriebenen fMRT Untersuchung zum stillen Benennen von Nomen und Verben. Mit einer Messung von Benennlatenzen beim mündlichen Bildbenennen soll der Frage nachgegangen werden, ob Objektbilder konsistent schneller benannt werden als Handlungsbilder. Ferner soll überprüft werden, von welchen Stimuluscharakteristika die wortklassenspezifische Benennlatenz beeinflusst wird.

7.2 Hypothesen

Vom aktuellen Forschungsstand zum lauten, mündlichen Benennen von Objekt- und Handlungsbildern können folgende Hypothesen abgeleitet werden:

Hypothese I:

Für das Benennen von Objektbildern zeigen sich kürzere Benennlatenzen als für das Benennen von Handlungsbildern.

Begründung:

Die überwiegende Zahl der aktuellen Verhaltensstudien ergab einen signifikanten Nomenvorteil beim Bildbenennen (D'Amico et al. 2002; Vigliocco et al. 2002; Bogka et al. 2003; Cuetos & Alija 2003; Szekely et al. 2005).

Hypothese Ia:

Abbildungen von intransitiven Verben werden schneller benannt als Abbildungen von transitiven Verben.

Begründung:

Reaktionszeitdaten zum Benennen von transitiven und intransitiven Verben sind derzeit nicht verfügbar. Subkategorieeffekte wurden jedoch mehrfach hinsichtlich der Benennungsgenauigkeit untersucht. Die vorhandenen psycho- und neurolinguistischen Studien führten dabei zu unterschiedlichen Ergebnissen (vgl. Abschnitt 3.2.1 und 3.3.6). Für das Deutsche wurden Daten präsentiert, die sowohl für das Bildbenennen bei Kindern als auch bei Aphasikern (De Bleser & Kauschke 2003) einen stabilen Vorteil für intransitive Verben aufzeigten. Für die vorliegende

Untersuchung wurde hieraus abgeleitet, dass eine höhere Benennungsgenauigkeit zu kürzeren Benennlatenzen führt. Es wurden folgende Hypothesen aufgestellt:

Hypothese Ib:

Abbildungen von unbelebten Nomen werden schneller benannt als Abbildungen von belebten Nomen.

Begründung:

Eine bessere und schnellere Performanz für künstliche gegenüber natürlichen Objekten wurde in der Literatur oft beschrieben (u.a. Humphreys et al. 1999, vgl. Lloyd-Jones & Humphreys 1997). Dieses Phänomen ist darauf zurückzuführen, dass strukturell ähnliche Objekte einer Kategorie (z.B. Tiere) viele gemeinsame visuelle Merkmale tragen. Die visuelle Diskriminierung dieser ähnlichen Merkmale kann den Benennprozess verlangsamen bzw. fehleranfälliger machen. Im Gegensatz dazu werden Vertreter einer Kategorie mit wenigen strukturellen Ähnlichkeiten (z.B. Artefakte) schneller und korrekter benannt (vgl. Snodgrass & McCullough 1986).

Hypothese IIa:

Das Erwerbsalter beeinflusst die Benennlatenzen für beide Wortkategorien signifikant dahingehend, dass früh erworbene Items schneller benannt werden als spät erworbene.

Begründung:

Nur wenige Studien haben Einflussfaktoren auf das Objekt- *und* Handlungsbenennen untersucht (Cuetos et al. 1999; Cuetos & Alija 2003; Szekely et al. 2005; Bogka et al. 2003; zum Wortlesen/lexikalischen Entscheiden: Colombo & Burani 2002; Kacirik & Chiarello 2002; Cuetos & Alija 2003; Monaghan et al. 2003). Autoren, die den Faktor Erwerbsalter in die Datenanalyse einbezogen hatten, stellten einen Effekt dieses Faktors für beide Wortkategorien fest (Cuetos et al. 1999; Bogka et al. 2003; Cuetos & Alija 2003; Szekely et al. 2005).

Hypothese IIb:

Der Einfluss weiterer Stimuluscharakteristika wirkt sich in differierender Weise auf die Benennlatenzen in den Wortkategorien aus.

Begründung:

Für das Bildbenennen als auch für andere sprachliche Anforderungen wurde wiederholt dokumentiert, dass sich weitere Stimuluscharakteristika unterschiedlich auf die Benennlatenz der Wortklassen auswirken. Dies zeigte sich nicht nur in der Effektgröße, sondern auch darin, dass unterschiedliche Faktorencluster die Varianz in den Benennlatenzen der Wortkategorien erklärten

(Cuetos et al. 1999; Cuetos & Alija 2003; Szekely et al. 2005, vgl. Colombo & Burani 2002; Kacinik & Chiarello 2002; Cuetos & Alija 2003; Monaghan et al. 2003).

7.3 Probanden

31 Personen (16 Frauen, 15 Männer) nahmen an der Reaktionszeitstudie teil. Das durchschnittliche Alter betrug 24,77 Jahre (20-31 Jahre, Stdabw. 2,67). Die Stichprobe bestand aus Studenten und Absolventen verschiedener Studiengänge der Universität Potsdam (siehe Tabelle 20). Für die Teilnahme erhielten die Probanden wahlweise 5 Euro oder einen Versuchspersonenschein. Es wurden nur Personen eingeschlossen, die keinerlei neurologische oder sprachliche Auffälligkeiten zeigten und deren Muttersprache Deutsch war.

7.4 Material

Benennlatenzen wurden für alle Items des potentiellen Itemsets erhoben. Die Datenanalyse wird jedoch nur für das finale Stimulusset beschrieben (siehe Abschnitt 6.5).

7.5 Versuchsaufbau und Durchführung

Das Experiment wurde an einem Windows PC mit der Software NESU (Version 3.1, Smalltalk Version 286 R 1.1, <http://www.mpi.nl/world/tg/experiments/nesu.html>) und der NESU-Box (Mini Server Serie 1, Copyright MPI Kun Nijmegen, Serie Nr.10) durchgeführt. Die Teilnehmer saßen 60 cm vom Bildschirm entfernt. Direkt vor ihnen war ein Mikrophon montiert, das mit einem Voice Key verbunden war, der das verbale Signal detektierte und die Reaktionszeiten zum Computer leitete. Jeder Trial begann mit der Präsentation eines Fixationsrechtecks, das für 500 ms gezeigt wurde. Nach einer 400 ms langen Pause (schwarzer Bildschirm), wurde ein Stimulusbild präsentiert. Der Stimulus verblieb auf dem Bildschirm bis eine verbale Reaktion erfolgte bzw. für die maximale Dauer von 3000 ms. Nach einem Intertrialintervall von 1500 ms erschien der nächste Stimulus.

Die Benennlatenz für Nomen und Verben wurden in zwei getrennten Blöcken erhoben, die direkt nacheinander durchgeführt wurden. Die Abfolge der Blöcke war über die Versuchspersonen randomisiert. Der Nomenblock begann mit zwei Übungsitens, anschließend wurden 39 Objektabbildungen präsentiert. Nach einer Pause von 30 Sekunden und zwei weiteren Übungsitens wurden die restlichen 23 Zeichnungen dargeboten. Der Verbblock begann ebenfalls mit zwei Übungsitens gefolgt von 39 Verbstimuli. In beiden Blöcken wurden jeweils zu Beginn die 32 Items des finalen Stimulussets präsentiert (Testitem 1-32), während die verbleibenden Items des potentiellen Stimulussets danach dargeboten wurden (Testitem 33-62 bzw 33-39). Das gesamte Experiment dauerte ca. 30 Minuten. Die Teilnehmer wurden instruiert, die Stimulusbilder laut zu benennen, sobald sie auf dem Bildschirm erschienen (siehe Anlage 18):

Objektbenennen: *"Im folgenden Experiment geht es um Objektwörter (Nomen). Sie werden auf dem Monitor nacheinander verschiedene Zeichnungen von Objekten und Tieren sehen. Ihre Aufgabe besteht darin, zu sagen, welches Objekt oder Tier abgebildet ist. Wir werden die Zeit messen, die Sie zum Benennen der einzelnen Bilder benötigen. Bitte entscheiden Sie sich für das Wort, das Ihnen sofort in den Sinn kommt und am besten zu dem dargestellten Objekt passt. Bitte benutzen Sie jeweils nur ein Wort."*

Handlungsbenennen: *"Im folgenden Experiment geht es um Handlungswörter (Verben). Wir werden Ihnen Bilder von Handlungen zeigen und Sie sollen sagen, was die Personen machen bzw. welche Handlung dargestellt wird. Wir werden die Zeit messen, die Sie zum Benennen der Handlungen benötigen. Bitte entscheiden Sie sich für das Wort, das Ihnen sofort in den Sinn kommt und am besten zu der dargestellten Handlung passt. Bitte benutzen Sie jeweils nur ein Wort."*

Mit einem Trainingsexperiment bestehend aus jeweils 10 Objekt- und Handlungsbildern (Korpus Druks & Masterson 2000) wurden die Probanden mit der Aufgabe vertraut gemacht.

Tabelle 20: Teilnehmer an der Studie zur Benennlatenz

Nummer	Proband	Alter	Geschlecht	Tätigkeit
1	IBEW	25	weiblich	Studentin Psychologie
2	BEEW	22	weiblich	Studentin Lehramt Latein/Deutsch
3	OAHW	24	weiblich	Studentin Patholinguistik
4	PREW	24	weiblich	Studentin Patholinguistik
5	DNAW	24	weiblich	Studentin Patholinguistik
6	WLEW	25	weiblich	Studentin Lehramt Grundschule
7	NEFW	28	weiblich	Studentin Deutsch/Geschichte
8	FRNW	23	weiblich	Studentin Lehramt Französisch/Englisch
9	CHSW	21	weiblich	Studentin Lehramt Französisch/Englisch
10	NAEW	20	weiblich	Studentin Anglistik/Romanistik*
11	DAHW	21	weiblich	Studentin Psychologie
12	BENW	24	weiblich	Physiotherapeutin mit Fachabitur
13	SOBW	29	weiblich	Studentin Lehramt Germanistik/Anglistik
14	RUNW	26	weiblich	Juristin
15	CANW	20	weiblich	Studentin Psychologie
16	LGAW	25	weiblich	Studentin Lehramt Deutsch
17	BEEM	23	männlich	Student Computerlinguistik
18	LELM	31	männlich	Wiss. Mitarbeiter Anglistik
19	FRNM	24	männlich	Student Physik
20	EENM	25	männlich	Student Jura
21	PACM	23	männlich	Student Psychologie
22	KUNM	27	männlich	Student Physik
23	HSEM	24	männlich	Student Computerlinguistik
24	ZOCM	30	männlich	Wiss. Mitarbeiter Geoökologie
25	MEAM	25	männlich	Student Psychologie
26	RIEM	24	männlich	Student Psychologie
27	WAEM	25	männlich	Lehramt Geschichte/Geographie
28	NONM	27	männlich	Diplom Ingenieur
29	GHNM	25	männlich	Student Computerlinguistik
30	BNEM	26	männlich	Student Patholinguistik
31	KAUM	28	männlich	Wiss. Mitarbeiter Geoökologie
Mittelwert		24,77		
Standardabweichung		2,67		
Minimum		20,00		
Maximum		31,00		

Legende: * im Rahmen der Ausreißerklassifikation von der Analyse ausgeschlossen (vgl. Abschnitt 7.6)

7.6 Ausreißerklassifikation und Datenbereinigung

Die Klassifikation der Ausreißer und Bereinigung der Daten erfolgte über alle Items des finalen und potentiellen Stimulussets. Zu Beginn wurden valide und invalide Reaktionen ermittelt. Invalide Reaktionen wurden definiert, als Reaktionen, die nicht dem Zielwort entsprachen (Maus statt Ratte, stoßen statt schubsen), die aufgrund von inadäquaten Geräuschen („äh“, „em“, Lachen vor der Produktion des Zielitems) oder durch eine technische Fehlfunktion (keine oder verspätete Reaktion des Mikrofons) entstanden waren. Von insgesamt 1922 Reaktionen in der Nomenbedingung wurden $n = 65$ (3,38%) wegen Fehlbenennung, $n = 37$ (1,93%) wegen Geräuschen und $n = 56$ (2,91%) wegen technischen Fehlfunktion entfernt. Von 1209 Reaktionen bei Verben wurden $n = 74$ (6,12%) wegen Fehlbenennung, $n = 11$ (0,91%) wegen Geräuschen und $n = 34$ (2,81%) wegen Fehlfunktion des Mikrofons als invalide Reaktionen klassifiziert und entfernt. Anschließend wurden die Mittelwerte pro Versuchsperson über alle Nomen und Verben getrennt errechnet.

In nächsten Schritt wurden Ausreißer klassifiziert und vom Datensatz entfernt. Personen, deren durchschnittliche Reaktionszeit in beiden Bedingungen mehr als zwei Standardabweichungen vom Mittelwert der Gruppe abwichen, wurden als Ausreißer klassifiziert und ausgeschlossen. Dies traf auf eine der 31 Versuchspersonen zu (NAEW). Darüber hinaus wurden alle individuellen Reaktionen als Ausreißer klassifiziert, die sowohl zwei Standardabweichungen vom Mittelwert aller Versuchspersonen für ein spezifisches Item als auch vom Mittelwert einer Versuchsperson über alle Items abwichen. Somit konnte verhindert werden, dass weder Reaktionen von langsamen oder schnellen Personen ausgeschlossen wurden noch Reaktionszeiten von Items entfernt wurden, die generell eine besonders schnelle oder langsame Reaktionszeit hervorriefen. In der Nomenbedingung wurden 34 (1,99% von $n = 1706$ validen Reaktionen) und in der Verbbedingung 20 (1,90% von $n = 1054$ validen Reaktionen) einzelne Reaktionen als Outlier identifiziert und ausgeschlossen. Die deskriptive Analyse der Daten basierte somit auf 1672 Reaktionen bei Nomen und 1034 Reaktionen bei Verben.

7.7 Ergebnisse

Im Folgenden werden die Benennlatenzen und inferenzstatistische Analysen für das finale Itemset berichtet. Ergebnisse auf einem statistischen Niveau von $p \leq 0,05$ wurden als signifikant erachtet (für die individuellen Reaktionszeiten im potentiellen Stimulusset siehe Anlage 19-20).

7.7.1 Benennlatenzen

Analyse über Probanden. Tabelle 21 zeigt die deskriptive Statistik der Benennlatenzen für Wortklassen und Subkategorien über die Versuchspersonen. Die Werte der abhängigen Variable wurden getrennt nach Kategorie und Subkategorie hinsichtlich der Voraussetzungen für die Durchführung von parametrischen Verfahren geprüft. Es wurde eine einfaktorielle Anova mit Messwiederholung durchgeführt, wobei die Reaktionszeit der Probanden als abhängige Variable

und die Wortklasse (Nomen, Verb) als Faktor erachtet wurde. Dabei zeigte sich ein signifikanter Effekt für die Wortklasse ($F(1,29) = 50,05$; $p < 0,001$). Objektbilder wurden wesentlich schneller benannt als Handlungsbilder.

Für die Subkategorien (abhängige Variable: Reaktionszeit, Faktor: Subkategorie) ergab sich ebenfalls ein signifikanter Effekt (einfaktorielle Anova mit Messwiederholung, $F(3,87) = 36,50$; $p < 0,001$). Diese Varianzanalyse enthielt mehr als zwei Faktorstufen, daher wurde die Voraussetzung der Sphärizität und der verbundenen Symmetrie mit dem Mauchlys Sphärizitätstest überprüft. Da dieser Test signifikant war ($p < 0,01$), musste die Voraussetzung der verbundenen Symmetrie und der Sphärizität als verletzt betrachtet werden. Daher wurde der Effekt der Subkategorie zusätzlich mit einem multivariaten Verfahren (MANOVA) überprüft, da hier Sphärizität und verbundene Symmetrie keine notwendigen Voraussetzungen sind. Der Effekt der Subkategorie erwies sich auch in dieser Analyse als stabil (Rao R ($3,27$) = $20,41$; $p < 0,001$).

Innerhalb der Gruppe der Verben (siehe Tabelle 22) trat ein Vorteil für intransitive gegenüber transitiven Verben (post-hoc Scheffé $p < 0,001$ basierend auf der ANOVA mit Messwiederholung) auf. Innerhalb der Gruppe der Nomen (belebt versus unbelebt) wurde kein statistischer Unterschied für die Benennlatenzen gefunden. Sowohl transitive als auch intransitive Verben unterschieden sich signifikant von belebten und unbelebten Nomen (jeweils $p < 0,001$).

Insgesamt ergab diese Analyse, dass Nomen signifikant schneller als Verben und intransitive Verben schneller als transitive Verben benannt wurden. Somit konnte ein deutlicher Subkategorieeffekt festgestellt werden: Nomen > intransitive Verben > transitive Verben.

Tabelle 21: Mittlere Benennlatenzen über Probanden

Kategorie/ Subkategorie	N	MW in ms	Stdabw.	Min.	Max.
Nomen	32	864,88	96,51	670,38	1067,93
Nomen belebt	16	865,21	92,53	642,60	1029,46
Nomen unbelebt	16	864,86	114,52	688,61	1107,12
Verben	32	988,27	109,74	781,48	1197,59
Verben transitiv	16	1026,41	124,54	802,61	1227,60
Verben intransitiv	16	950,36	105,63	754,33	1172,85

Legende: N = Anzahl der Items; MW = Mitterwert; Stdabw. = Standardabweichung; Min. = Minimum; Max. = Maximum

Tabelle 22: Scheffé Test über Subkategorien

	1	2	3	4
1. Nomen belebt	*	n.s	0,001	0,001
2. Nomen unbelebt		*	0,001	0,001
3. Verben transitiv			*	0,001
4. Verben intransitiv				*

Legende: Ergebnisse des Scheffé-Tests angegeben in $p <$ Werten; n.s. = nicht signifikant

Analyse über Items. Zur Absicherung der Ergebnisse wurden weitere Analysen über Items durchgeführt (siehe Tabelle 23, Abbildung 2, für itemspezifische Ergebnisse siehe Anlage 19 - 20). Die Voraussetzungen für die Durchführung von Varianzanalysen wurden geprüft. In den Bedingungen Nomen ($p < 0,001$), unbelebte Nomen ($p < 0,05$) und Verben ($p < 0,05$) erwies sich die Normalverteilungsannahme als verletzt (Shapiro-Wilks W-Test). Im Kolmogorov-Smirnov-Test wurden jedoch keine Abweichungen von der Normalverteilung gefunden. Bortz (1993: 263) weist darauf hin, dass die Varianzanalyse robust auf Verletzungen der Normalverteilung reagiert, sofern die anderen Voraussetzungen erfüllt sind. Letzteres war hier der Fall, der Levene-Test auf Varianzhomogenität zwischen den Kategorien bzw. Subkategorien ergab kein signifikantes Ergebnis. Es wurde eine einfaktorielle ANOVA (Zwischengruppen-Design) durchgeführt, wobei die Reaktionszeit für Items als abhängige Variable und die Wortklasse als Faktor (Nomen, Verb) definiert wurde. Es stellte sich erneut ein signifikanter Effekt ($F(1,62) = 8,29$; $p < 0,01$) der Wortklasse heraus.

Tabelle 23: Mittlere Benennlatenzen über Items

Kategorie/ Subkategorie	N	MW in ms	Stdabw.	Min.	Beispiel	Max.	Beispiel
Nomen	32	873,92	165,19	651,67	"Hut"	1398,79	"Pfau"
Nomen belebt	16	877,14	137,10	710,76		1097,95	
Nomen unbelebt	16	870,71	193,84	651,67		1398,79	
Verben	32	999,53	183,37	712,28	"schwimmen"	1454,00	"kaufen"
Verben transitiv	16	1042,79	194,14	787,59		1454,00	
Verben intransitiv	16	956,27	166,76	712,28		1374,33	

Legende: N = Anzahl der Items; MW = Mitterwert; Stdabw. = Standardabweichung; Min. = Minimum; Max. = Maximum

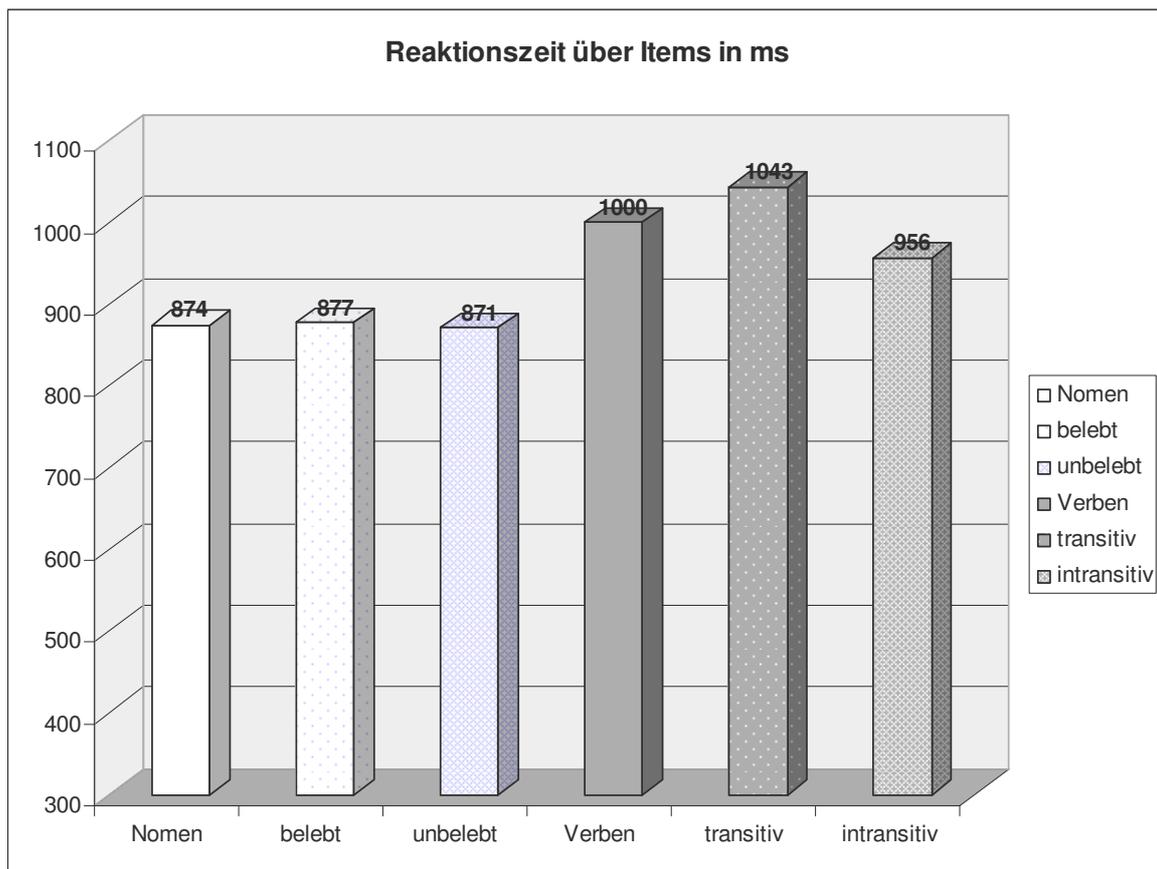
Die einfaktorielle Anova (Zwischengruppen-Design) über Subkategorien ergab ebenfalls ein signifikantes Ergebnis $F(3,60) = 3,42$; $p < 0,05$). Signifikante Unterschiede zwischen den Subkategorien belebt/unbelebt bzw. transitiv/intransitiv waren jedoch mit dem post-hoc Scheffé Test nicht nachzuweisen, ebenso wenig zeigten sich signifikante kross-kategorielle Unterschiede.

Die Analyse über Items unterstützt die Ergebnisse der Analyse über Probanden insofern, als dass Nomen schneller benannt wurden als Verben. Während aber in der Analyse über Probanden ein signifikanter Unterschied zugunsten von intransitiven Verben gegenüber transitiven sowie kross-kategorielle Effekte zu verzeichnen waren, erreichten die Vergleiche zwischen Subkategorien in der Analyse über Items keine Signifikanz. Es zeichnete sich jedoch die Tendenz ab, dass intransitive Verben schneller benannt werden als transitive Verben. Für die Interpretation der Ergebnisse ist die Analyse über die Probanden als bedeutsamer anzusehen, da hier von einer sichereren Datenbasis ausgegangen wurde ($n = 31$ in allen Bedingungen).

7.7.2 Kovarianzanalysen über Items

Um auszuschließen, dass der robuste Nomen/Verb Effekt auf die nicht gematchten Stimuluscharakteristika Vorstellbarkeit und Wortlänge zurückzuführen ist, wurden zusätzliche Kovarianzanalysen über Items durchgeführt. Hierbei zeigte sich, dass der Reaktionszeitunterschied zwischen Nomen und Verben verschwindet, wenn Vorstellbarkeit ($F(1,61) = 1,20$; $p = 0,277$) und Wortlänge ($F(1,61) = 3,91$; $p = 0,052$) separat oder gemeinsam ($F(1,60) = 0,17$; $p = 0,677$) als Kovariablen in das statistische Modell eingebaut werden. Der Effekt der Vorstellbarkeit war dabei wesentlich stärker ausgeprägt, als der Effekt der Wortlänge. Bei der Kovarianzanalyse über die Subkategorien verursachte die Vorstellbarkeit das Verschwinden des Effekts ($F(3,59) = 0,63$; $p = 0,599$) ebenso wie die Phonemanzahl ($F(3,59) = 2,55$; $p = 0,064$), wenn beide separat in das statistische Modell integriert wurden. Wiederholt verursachte die Vorstellbarkeit stärkere Effekte als die Phonemanzahl. Wurden beide Faktoren gemeinsam berücksichtigt, führte dies konsequenterweise gleichfalls zu einem Verlust des Effekts ($F(3,58) = 0,62$; $p = 0,605$).

Abbildung 2: Benennlatenz über Items



7.7.3 Zusammenhangsanalysen

Die statistischen Zusammenhänge zwischen den einzelnen Stimulusparametern und der Benennlatenz sind in Tabelle 24 dargestellt. Für Nomen konnten jeweils Zusammenhänge

zwischen der Benennlatenz und dem Erwerbssalter, der gemischten logarithmischen Frequenz und der Vorstellbarkeit beobachtet werden. Früh erworbene, hochfrequente oder gut vorstellbare Nomen wurden demnach schneller benannt als spät erworbene, niedrig frequente und schlecht vorstellbare Nomen. In der Verbbedingung standen die Benennübereinstimmung, die visuelle Komplexität und die Vorstellbarkeit in Zusammenhang mit der Benennlatenz. Schnellere Benennlatenzen traten demnach bei Verben auf, die wenig visuell komplex, eindeutig benennbar und gut vorstellbar waren. Der Effekt der Vorstellbarkeit, der bei beiden Kategorien mit der Benennlatenz korrelierte, ist bei Nomen stärker ausgeprägt als bei Verben.

Tabelle 24: Korrelation zwischen Stimuluscharakteristika und Benennlatenz (Spearman R)

Parameter	Benennlatenz Nomen	Benennlatenz Verben
Produktives AoA	0,63***	0,28
Gemischte Frequenz	-0,48**	-0,07
Benennübereinstimmung	-0,22	-0,62***
Visuelle Komplexität	0,16	0,39*
Vorstellbarkeit ¹	-0,70***	-0,42*
Phonemanzahl ¹	0,35	-0,05

Legende: ¹ nicht gematchte Parameter; *** p < 0,001; ** p < 0,01; * p < 0,05

Zur Klärung der Frage, welcher Parameter die Benennlatenz am stärksten beeinflusst, wurde eine multiple lineare Regression separat für Nomen und Verben durchgeführt. Das statistische Modell enthielt die kritischen Parameter Erwerbssalter, gemischte logarithmische Frequenz, Benennübereinstimmung und visuelle Komplexität als Regressoren. Variablen, die über die grammatischen Kategorien und Subkategorien nicht gematcht waren, wurden von der Analyse ausgeschlossen. Ein Effekt der Subkategorien in der Regressionsanalyse sollte dadurch verhindert werden. Ein weiterer Grund für den Ausschluss der Vorstellbarkeit war die hohe Korrelation mit dem Erwerbssalter sowohl bei Nomen als auch bei Verben (vgl. Abschnitt 6.5.1).

Tabelle 25: Regressionsanalyse über Nomen

Parameter	Beta	Standardfehler von Beta	t	p
Produktives AoA	0,69	0,14	4,98	0,001
Benennübereinstimmung	0,10	0,14	0,77	n.s.
Visuelle Komplexität	-0,09	0,13	-0,69	n.s.
Gemischte Frequenz	-0,27	0,13	-2,05	0,05

Legende: t = T-Wert; p = Alpha Niveau

Beide Regressionsanalysen (siehe Tabelle 25 und 26) erreichten eine hoch signifikante Varianzaufklärung (Nomen: $R^2 = 0,587$, $F(4,27) = 9,56$, $p < 0,001$; Verben: $R^2 = 0,554$, $F(4,27) =$

8,39, $p < 0,001$). In der Analyse über Nomen erwiesen sich das Erwerbsalter und die Frequenz als signifikanter Prädiktor der Benennlatenz. Bei Verben zeigte ausschließlich die Benennübereinstimmung einen signifikanten Einfluss auf die Benennlatenz. Da die Vorstellbarkeit mit der Benennlatenz und dem Erwerbsalter sowohl von Nomen als auch von Verben signifikant korrelierte, muss bei beiden Wortarten zusätzlich von einem implizierten Einfluss dieses Parameters ausgegangen werden.

Regressionsanalysen wurden aus methodischen Gründen nicht für die Subkategorien durchgeführt, da die geringe Itemmenge ($n = 16$ Items pro Subkategorie) bei vier Variablen (Erwerbsalter, Benennübereinstimmung, visuelle Komplexität, gemischte Frequenz) keine statistisch zuverlässigen Ergebnisse erbringen würde.

Tabelle 26: Regressionsanalyse über Verben

Parameter	Beta	Standardfehler von Beta	t	p
Produktives AoA	0,12	0,13	0,89	n.s.
Benennübereinstimmung	-0,68	0,14	-4,96	0,001
Visuelle Komplexität	0,12	0,14	0,88	n.s.
Gemischte Frequenz	-0,14	0,13	-1,03	n.s.

Legende: t = T-Wert; p = Alpha Niveau

7.8 Diskussion

In der vorliegenden Studie wurde die Latenz für die Produktion von Nomen und Verben sowie deren Subkategorien beim Benennen von Objekt- und Handlungsbildern untersucht. Das Experiment basierte auf einem Itemset, das sowohl für die Kategorien Nomen und Verb als auch für die Subkategorien nach den Parametern produktives Erwerbsalter, gemischte lexikalische Frequenz, Benennübereinstimmung und visuelle Komplexität kontrolliert war. Die Studie führte zu zwei wesentlichen Ergebnissen. Erstens konnte ein Wort- und Subkategorieeffekt in den Reaktionszeiten nachgewiesen werden. Zweitens zeigte sich Evidenz dafür, dass die Benennlatenzen für die Nomen- und Verbproduktion in unterschiedlicher Weise von psycholinguistischen Parametern beeinflusst werden. Diese voneinander unabhängigen Beobachtungen sollen im Folgenden diskutiert werden. Einschränkend muss bemerkt werden, dass die Daten aufgrund der relativ geringen Stimulusanzahl eher einen explorativen Charakter haben. Umfangreichere Studien mit einer höherem Stimulusanzahl sind notwendig, um die hier gefundenen Effekte zu verifizieren.

7.8.1 Effekte der Wortklasse und Subkategorie

Die statistische Analyse der Daten ergab sowohl über die Teilnehmer als auch über die Items einen Reaktionszeitvorteil für Nomen gegenüber Verben. Dieser Befund bestätigt die erste Hypothese dieser Untersuchung. Weiterhin wurde ein signifikanter Effekt der Subkategorien beobachtet, der

jedoch nur in der Analyse über die Teilnehmer ein signifikantes Niveau erreichte. Da die statistische Aussagekraft der Analyse über die Teilnehmer größer ist (bessere statistische Power, abhängige Daten), wird die Hypothese Ia dieser Untersuchung angenommen, transitive Verben werden langsamer benannt als intransitive Verben. Die Hypothese Ib, die besagte, dass belebte Nomen langsamer benannt werden als unbelebte Nomen, muss hingegen abgelehnt werden. In keiner Analyse war diesbezüglich ein signifikanter Reaktionszeitunterschied zu verzeichnen. Obwohl die Forschungsliteratur einen Reaktionszeit- und Performanzvorteil für unbelebte Items vorhersagt, lagen die mittleren Reaktionszeiten der semantischen Subkategorien von Nomen sehr nah aneinander. Dieses Ergebnis kann durch spezifische Charakteristika des verwendeten Itemsets erklärt werden. Reaktionszeitvorteile für die Kategorie „unbelebt“ konnten in der Vergangenheit stets beobachtet werden, wenn belebte Items starke strukturelle Ähnlichkeiten aufwiesen. Die Abbildungen belebter Items in der vorliegenden Studie waren strukturell anscheinend zu unterschiedlich (Fisch, Ente, Igel etc.), um einen Reaktionszeitnachteil auszulösen.

Ein Reaktionszeitvorteil für Nomen wurde in vorangegangenen Studien zum Bildbenennen häufig gefunden (Szekely et al. 2005; Bogka et al. 2003; Cuetos & Alija 2003; Vigliocco et al. 2002; D'Amico et al. 2002). Die meisten Studien, die Reaktionszeiteffekte von Nomen und Verben untersuchten, bezogen den Faktor Vorstellbarkeit jedoch nicht in die Datenanalyse ein. Folgt man den Autoren (u.a. Bird et al. 2000a, b, 2000; Vinson & Vigliocco 2002; Vigliocco et al. 2002), die den Ursprung der Nomen/Verb Differenz auf der semantischen Ebene vermuten, muss der Faktor Vorstellbarkeit jedoch unbedingt berücksichtigt werden. Die vorliegenden Daten zeigen, dass der Wort- und Subkategorieeffekt verschwindet, wenn für die ungematchten Stimuluscharakteristika Vorstellbarkeit und Phonemanzahl kontrolliert wird (vgl. Bogka et al. 2003). Dabei ist der Beitrag der Vorstellbarkeit wesentlich höher einzuschätzen, als der der Wortlänge. Der Einfluss der Wortlänge auf die Latenz beim mündlichen Benennen kann gut durch einen größeren zeitlichen Aufwand bei der artikulatorischen Planung längerer Wörter, hier Verben, erklärt werden. Die Bedeutung der Vorstellbarkeit als Ursprung der Nomen/Verb Differenz erfordert hingegen eine weitaus komplexere Erklärung.

Für einen Beitrag der Vorstellbarkeit zum Nomen/Verb Effekt spricht, dass sich der Parameter Vorstellbarkeit in den hier präsentierten Daten meist proportional zur Reaktionszeit verhält, d.h. Nomen werden in der Regel schneller benannt als intransitive Verben gefolgt von transitiven Verben. Gleichsam ist die Vorstellbarkeit von Nomen höher als die von intransitiven Verben, welche wiederum höher ist, als die von transitiven Verben.

Die Annahme, dass die Vorstellbarkeit ursächlich für die Differenz zwischen Nomen und Verben ist, wurde v.a. von Bird et al. (2000a, b, 2001) vertreten. Bird et al. (2000a) erklärten selektive Verbdefizite bei aphasischen Patienten als Ergebnis der geringeren Vorstellbarkeit von Verben

gegenüber konkreten Nomen. Selektive Defizite bei Nomen resultierten hingegen aus Differenzen in der Verteilung semantischer Merkmalstypen. Die Zerstörung sensorischer Merkmale führe demnach zu einer Störung von Nomen, insbesondere von belebten Nomen. Eine Zerstörung funktionaler Merkmale würde hingegen zu selektiven Störungen von unbelebten Nomen sowie Verben führen, da diese reichere funktionale Merkmale trügen (vgl. Bird et al. 2000b; Shapiro & Caramazza 2001a, b). Die Ergebnisse der vorliegenden Studie sprechen zumindest was Reaktionszeiten anbelangt gegen die Annahme, dass unbelebte Nomen und Verben aufgrund ihrer eher funktionellen Merkmale gleiche Muster beim Benennen zeigen.

Gegenevidenz zu Bird et al.'s Annahme erbrachten u.a. auch Berndt et al. (2002) und Druks & Froud (2000), die Dissoziationen zwischen der Vorstellbarkeit und der grammatischen Kategorie nachgewiesen konnten. Weitere Studien zeigten zwar, dass es Patienten mit kategoriespezifischen grammatischen Störungen gibt, deren Störungsmuster auf einen konzeptuell-semantischen Lokus schließen lässt (u.a. Breedin et al. 1994; Marshall et al. 1996a, b), jedoch ist längst nicht jedes selektive Nomen/Verb Defizit allein darauf zurückzuführen (vgl. Shapiro et al. 2000).

Bogka et al. (2003) wiesen darauf hin, dass die Vorstellbarkeit ein noch wenig verstandener Parameter ist und sprachen sich gegen die Reduzierbarkeit des Wortkategorieeffektes auf die Vorstellbarkeit aus. Für diese Auffassung sprechen auch die Daten von Crepaldi et al. (2006). Crepaldi et al. untersuchten 16 aphasische Personen mit einem Experiment zum Nomen- und Verbabruf im Satzkontext. Die Stimuli waren nach Vorstellbarkeit und Wortlänge gematcht. Die Autoren berichteten, dass zumindest einige Patienten (n = 2) lexikalische Defizite für Verben zeigten, die nicht von der Vorstellbarkeit beeinflusst waren. Die restlichen 14 Patienten zeigten jedoch von der Vorstellbarkeit abhängige Effekte. Insgesamt scheint die Vorstellbarkeit beim Abruf von Nomen und Verben eine bedeutsame Rolle zu spielen. Die Ergebnisse einiger experimenteller Studien und die Erkenntnisse der allgemeinen Linguistik erlauben jedoch auch alternative Erklärungsansätze.

Ein Hinweis auf eine alternative Interpretation ergibt sich direkt aus den vorliegenden Daten. Die Analyse der Subkategorien über Probanden zeigte, dass sich die Benennlatenz und die Vorstellbarkeit nicht immer systematisch proportional zueinander verhalten. Während sich unbelebte Nomen und intransitive Verben in der durchschnittlichen Vorstellbarkeit nicht unterscheiden, zeigte sich dennoch ein höchstsignifikanter Reaktionszeitunterschied zugunsten der unbelebten Nomen. In diesem Fall kann die Vorstellbarkeit nicht zur Erklärung der Reaktionszeitdifferenz herangezogen werden. Die Ergebnisse dieses Paarvergleiches einerseits und die bereits berichteten Wort- und Subkategorieeffekte andererseits können jedoch im Rahmen eines grammatischen Erklärungsansatzes interpretiert werden, denn die grammatische Komplexität der Untersuchungsbedingungen (Argumentstruktur, Subkategorisierungsrahmen) verhält sich ebenfalls proportional zum Reaktionszeitmuster Nomen < intransitive Verben < transitive Verben.

Während die Nomen im vorliegenden Stimulusset weder externe noch interne Argumente erforderten, zeichneten sich die intransitiven Verben durch ein externes Argument und die transitiven Verben durch jeweils ein externes und ein internes Argument aus. Unbelebte Nomen und intransitive Verben, die sich hinsichtlich der Vorstellbarkeit nicht unterschieden, wiesen neben dem Reaktionszeitunterschied auch einen Unterschied in der Anzahl ihrer Argumente auf (unbelebte Nomen: kein Argument; intransitive Verben: ein externes Argument).

Aus der allgemeinen Linguistik ist bekannt, dass der lexikalische Eintrag für ein Verb u.a. Informationen zur Argumentstruktur enthält. Mit diesen Informationen spezifiziert das Verb die syntaktische Struktur des Satzes. Es verfügt damit über weitaus komplexere Merkmale als ein Nomen, das zwar vereinzelt auch Argumente haben kann, jedoch überwiegend als Objekt oder Subjekt des Verbs fungiert. Beim Benennen von Handlungsbildern könnten die abgebildeten Argumente des Verbs automatisch mitaktiviert werden, so dass das Benennen von Handlungen nicht allein auf dem Abruf eines einzelnen Verbs beruht, sondern möglicherweise die Konstruktion einer ganzen Verbphrase oder sogar eines ganzen Satzes auslöst. Dies würde längere Latenzen für grammatisch komplexere Items erklären, wie sie in dieser Studie gefunden wurden.

Insgesamt wird deutlich, dass obgleich der Parameter Vorstellbarkeit offensichtlich massiv zu den Reaktionszeitunterschieden zwischen Nomen und Verben beiträgt, er höchstwahrscheinlich nicht der einzige Faktor ist, der die Reaktionszeitdifferenz erklärt. Neben einer Interpretation im Rahmen der grammatischen Komplexität könnten auch weitere Faktoren zu den beobachteten Effekten beigetragen haben. Hierbei müssen vor allem konzeptuelle oder morphologische Eigenschaften der Wortkategorien sowie spezifische Anforderungen beim Bildbenennen von Objekten und Handlungen in Erwägung gezogen werden (vgl. Kauschke & Postler, eingereicht).

Eine Erklärung im Bezug auf die kognitive Komplexität der Wortkategorien vertritt Gentner (1981, 1982, vgl. Gentner & Boroditsky 2000). Sie ist der Ansicht, dass Nomen weniger konzeptuell komplex sind als Verben, denn Nomen repräsentierten stabile und kohäsive Einheiten und seien enger mit sensorischen Eigenschaften verknüpft. Die Verbindung zwischen kognitiven Konzepten und Wörtern bei Verben sei dagegen eher variabel (unterschiedliches „packaging“ von Nomen und Verben; vgl. Gentner 1982). Während diese Ansicht aus theoretischen Gründen relativiert werden muss (für eine Kritik siehe Abschnitt 3.2.1), gilt das Argument der kognitiven Komplexität jedoch für das Bildbenennen. Der Nomenvorteil sowie der Transitivitätseffekt in den Daten kann auch vor diesem Hintergrund erklärt werden. Beim Bildbenennen erfolgt stets ein automatischer Zugriff auf alle semantisch-konzeptuellen und lexikalischen Informationen, die mit einer Abbildung verbunden sind. Während beim Benennen von Objekten ein klar definierter Begriff abgerufen werden muss, der ohne kontextuelle Information erkennbar ist, erschließt sich eine Handlung nur über die

Abbildung von Aktanten, Objekten oder Instrumenten. Die automatische semantisch-lexikalische Verarbeitung dieser Bildelemente erfordert mehr Verarbeitungskapazität im Kontrast zu Nomen. Die Menge der zu verarbeitenden Informationen steigt dabei mit der syntaktischen bzw. grammatischen Komplexität der Items (z.B. bei intransitiven versus transitiven Verben).

Eine weitere mögliche Ursache für die Reaktionszeitunterschiede beim Nomen/Verb Benennen ist in der morphologischen Struktur der Wortklassen zu sehen. Während der Infinitiv bei deutschen Verben stets mit dem Affix (-en) markiert ist, tragen Nomen keinen sichtbaren Marker für den Nominativ Singular. Diese Annahme wird unterstützt durch aktuelle funktionell-bildgebende Studien, die unterschiedliche neuronale Korrelate für die Verarbeitung von flektierten Nomen und Verben demonstrierten (Tyler et al. 2004; Shapiro et al. 2005).

Zusammengenommen ist der Vorteil für das Objektbenennen in den Reaktionszeiten neben konzeptuell-semantischen (höhere Vorstellbarkeit, geringere konzeptuelle Komplexität) und grammatischen Aspekten (geringere Komplexität der Argumentstruktur) der Wortkategorien potentiell durch weitere Merkmale (z.B. morphologische) und wortartenspezifische Verarbeitungsmechanismen beim Bildbenennen (kognitive Anforderungen) erklärbar. Zusätzliche Evidenz für die unterschiedliche Verarbeitung der Wortarten kommt aus der Analyse der Einflussfaktoren auf die Benennlatenz.

7.8.2 Effekte der Einflussfaktoren

In den vorliegenden Daten korrelierten die Faktoren Erwerbsalter und Frequenz mit der Benennlatenz bei Nomen, wohingegen die Benennübereinstimmung und visuelle Komplexität mit der Benennlatenz bei Verben in Zusammenhang stand. Regressionsanalysen zeigten, dass die Benennlatenzen für Nomen am stärksten durch das Erwerbsalter gefolgt von der Frequenz vorhergesagt wurden, während sich in der Verbbedingung die Benennübereinstimmung als einzig signifikanter Prädiktor der Reaktionszeit erwies. Dieses Ergebnis entspricht nur partiell den Befunden von Cuetos et al. (1999), Cuetos & Alija (2003) und Bogka et al. (2003), da das Verbbenennen in den vorliegenden Daten nicht signifikant vom Erwerbsalter beeinflusst wurde. Die Hypothese IIa muss daher für das Handlungsbenennen abgelehnt werden. Für das Benennen von Objekten kann die Hypothese jedoch angenommen werden.

Die Benennlatenzen in den grammatischen Kategorien wurden offensichtlich von unterschiedlichen Stimuluscharakteristika beeinflusst. Während sich bei Nomen eher semantisch-lexikalische Parameter als bedeutsame Einflussfaktoren auf die Benennungsgeschwindigkeit herausstellten (Erwerbsalter, Frequenz), spielten beim Benennen von Verben eher bildbezogene Faktoren eine Rolle (Benennübereinstimmung). Dieser Befund bestätigt die Hypothese IIb.

Bezüglich des Objektbenennens steht der hier präsentierte Befund in Übereinstimmung mit einer Reihe von Studien, in denen ein robuster Erwerbсалtereffekt demonstriert wurde (vgl. Morrison & Ellis 2000; Cuetos et al. 1999; Cuetos & Alija 2003; Bogka et al. 2003; für einen Überblick: Ghyselinck et al. 2004a). Für das Objektbenennen kann daher angenommen werden, dass Items, die frühzeitig erworben wurden im Erwachsenenalter leichter abgerufen werden können. Bei der Bewertung dieses Befundes muss jedoch bedacht werden, dass insbesondere bei Nomen das Erwerbсалter und die Vorstellbarkeit einen großen Teil an gemeinsamer Varianz haben (siehe 6.5.1 Korrelation zwischen Erwerbсалter und Vorstellbarkeit). Somit wird die Benennlatenz bei Nomen implizit auch von der Vorstellbarkeit beeinflusst, die aus methodischen Gründen nicht in der Regressionsanalyse berücksichtigt wurde. Ein weiterer signifikanter Prädiktor der Reaktionszeit beim Objektbenennen war die lexikalische Frequenz. Auch dieser Parameter wurde in der Forschungsliteratur häufig als bedeutsamer Faktor identifiziert (u.a. Gerhand & Barry 1998, 1999a; Morrison & Ellis 2000). Nomen, die eine höhere lexikalische Frequenz aufweisen, können generell besser abgerufen werden, als Nomen mit niedriger Frequenz.

Der einzig signifikante Prädiktor der Reaktionszeit beim Benennen von Handlungen war die Benennübereinstimmung. Dieser Befund kann mit den höheren kognitiven Anforderungen beim „scene parsing“ erklärt werden (vgl. Szekely et al. 2005; vgl. Kauschke & Postler, eingereicht). Handlungen repräsentieren, wie bereits erwähnt, komplexe Ereignisrepräsentationen, die wenn abgebildet, Aktanten, Objekte oder Instrumente beinhalten. Die Zusammensetzung dieser Informationen führt insgesamt zu variableren Benennungsmöglichkeiten. Als alternative Benennungen kommen zum Beispiel allgemeine an Stelle spezifischer Verben („hochgehen“ statt „klettern“), spezifische Aspekte einer Handlung (Rettungsring „werfen“ statt „retten“) oder die Benennung aus entgegengesetzter Perspektive („verkaufen“ statt „kaufen“) in Frage. Die potentiellen Benennungsmöglichkeiten sind von Verb zu Verb unterschiedlich und hängen darüber hinaus von der Qualität der Abbildung ab. Die Items der Verbbedingung setzten sich ferner sowohl aus intransitiven als auch transitiven Items zusammen. Die Menge kontextueller Informationen auf der Abbildung ist dadurch sehr variabel (weinen = weinendes Gesicht; füttern = Mutter, Baby, Löffel). Obwohl die Benennübereinstimmung für alle Kategorien und Subkategorien (off-line) kontrolliert war, wirkte sich dieser Faktor offensichtlich in Form von Reaktionszeitdifferenzen aus. Der starke Einfluss der Benennübereinstimmung hat möglicherweise den Parameter Erwerbсалter derart überlagert, dass dieser nicht mehr signifikant werden konnte. Dafür sprechen auch die Ergebnisse von Kauschke & Postler (eingereicht), die das Benennalter als Prädiktorvariable in einem Nomen- und Verbbenennexperiment verwendet hatten. Wie bereits in Abschnitt (4.2) erörtert, entspricht das Benennalter der Benennübereinstimmung bei Kindern. Die Daten von Kauschke und Postler zeigten, dass das Benennalter auch bei Verben der wichtigste Einflussfaktor auf die Benennlatenzen ist. Bei Nomen entfällt die Variation im „scene parsing“, da alle Objekte ohne

Kontextinformation abbildbar sind. Lexikalisch-semantiche Einflussfaktoren könnten dadurch stärker zum Tragen kommen. Insgesamt kann festgehalten werden, dass auch die wortkategorie-spezifische Distribution der Einflussfaktoren für einen Verarbeitungsunterschied beim Benennen von Nomen und Verben spricht.

7.8.3 Schlussfolgerungen

Aus den vorliegenden Daten kann geschlossen werden, dass der Reaktionszeitunterschied für das Benennen von Objekten und Handlungen auf unterschiedlichen Eigenschaften der Wortkategorien Nomen/Verb und unterschiedlichen wortkategorie-spezifischen Verarbeitungsmechanismen beim Bildbenennen beruht. Er ist nicht, wie einige Autoren behaupten (vgl. Bird et al. 2000a, b) auf einen einzigen Parameter zurückzuführen (vgl. Bogka et al. 2003; Kauschke & Postler eingereicht). Diese Annahme wird erstens unterstützt durch Unterschiede in der Benennlatenz und zweitens durch den differierenden Einfluss von Stimulusparametern auf die Benennlatenz in den Kategorien. Neben semantischen-konzeptuellen und morphosyntaktischen Faktoren spielen dabei, spezifisch für das Bildbenennen, die kognitiven Anforderungen des „scene parsings“ eine bedeutsame Rolle.

8 Studie 2: Event-related fMRT Studie

8.1 Ziel der Studie

Diese Studie stellt das Kernstück der vorliegenden Dissertation dar. Das Ziel der Untersuchung bestand darin, neuroanatomische Korrelate der Nomen/Verb Verarbeitung beim mentalen Benennen von Objekten und Handlungen zu identifizieren. Ferner sollte geprüft werden, ob die Hirnaktivität beim Bildbenennen vom Stimulusparameter „Erwerbsalter“ moduliert wird.

8.2 Hypothesen

Aus der Auswertung der aktuellen Forschungslage (siehe Kapitel 3 und 4) ergeben sich folgende Hypothesen:

Hypothese I:

Die Produktion von Nomen und Verben beim Benennen von Objekten und Handlungen aktiviert ein ähnliches Set an neuronalen Strukturen im Bereich des linken inferioren präfrontalen Kortex (LIPC), der linken temporo-okzipitalen Schnittstelle einschließlich der Region MT und im linken inferioren Temporallappen (BTLA). Die Aktivierung bei Verben ist jedoch im Bereich des linken präfrontalen Kortex und in der Region MT stärker ausgeprägt als bei Nomen.

Begründung:

Ähnliche Aktivierungsmuster für die Produktion von Nomen und Verben mit einer stärkeren Aktivierungsausprägung bei Verben wurden von Warburton et al. (1996, vgl. Tyler et al. 2003, 2004 für rezeptive Paradigmen) beschrieben. Beteiligte kortikale Regionen waren dabei v.a. der linke mittlere und inferiore Temporallappen, die linke temporo-okzipitale Schnittstelle, der bilaterale G. frontalis dorsalis/G. cinguli/supplementär motorisches Areal (SMA) und der LIPC. Die Befunde verschiedenster Forschergruppen sprechen ferner dafür, dass die Verbproduktion beim Benennen von Handlungen stark mit Aktivierungen im LIPC und der temporo-okzipitalen Schnittstelle einschließlich der Region MT assoziiert sind (u.a. Damasio & Tranel 1993; Gainotti et al. 1995; Damasio et al. 2001, 2004; Tranel et al. 2001, 2005; für einen Überblick: Cappa & Perani 2003).

Hypothese II:

Das Erwerbsalter moduliert die Hirnaktivität beim Bildbenennen. Später erlernte Wörter resultieren

in stärkerer Aktivierung in sprachassoziierten Kortexarealen als früher erworbene Wörter. Aktivierungsänderungen in Abhängigkeit vom Erwerbssalter werden in einem oder in mehreren der folgenden sprachassoziierten Kortexareale erwartet: der linke inferiore präfrontale Kortex (LIPC), das basal temporale Sprachareal (BTLA), das Wernicke Areal, und der linke G. supramarginalis.

Begründung:

In vielen Verhaltensstudien wurde sowohl für Nomen als auch für Verben ein Effekt des Erwerbssalters auf Reaktionszeiten und Fehlerzahlen nachgewiesen (vgl. Abschnitt 4.3.1). Dieser Effekt zeigte sich besonders robust beim Bildbenennen. Fiebach et al. (2003) stellte im Rahmen einer fMRT Studie fest, dass das Erwerbssalter einen modulierenden Effekt auf die Hirnaktivität beim auditiven und lexikalischen Entscheiden über Nomen hat. Wenn die Effekte des Erwerbssalters beim Benennen besonders stark sind, und bereits einmal der Einfluss des Erwerbssalters auf die Hirnaktivität für lexikalisches Entscheiden nachgewiesen wurde, sollten entsprechende Effekte in einer fMRT Studie zum Bildbenennen bei Nomen und Verben zu erwarten sein.

Die Aktivierungen werden im LIPC und im BTLA erwartet, weil diese Strukturen im Rahmen von Wortabrufprozessen häufig identifiziert worden sind (vgl. Price et al. 2000:347f) und dem semantisch-phonologischen Abruf sowie der artikulatorischen Planung zugeordnet werden. Der Einfluss des Erwerbssalters wird auf der Ebene des semantisch-phonologischen Abrufs vermutet (vgl. Abschnitt 4.4). Das Wernicke Areal und der linkshemisphärische G. supramarginalis können in Prozesse des Bedeutungsabrufes involviert sein (Price et al. 2000), der G. supramarginalis wurde auch im Zusammenhang mit phonologischen Speicherungsprozessen diskutiert (Demonet et al. 1994; Caplan et al. 1995; Price, Moore et al. 1997). Beide Regionen könnten daher ebenfalls sensitiv auf Erwerbssaltervariationen reagieren.

Im Hinblick auf die Verhaltensdaten werden einige Hypothesen der Studie zur Benennlatenz übernommen (vgl. Abschnitt 7.2), andere wurden revidiert.

Hypothese III:

Für das Benennen von Objektbildern zeigen sich kürzere Benennlatenzen als für das Benennen von Handlungsbildern.

Hypothese IIIa:

Es zeigt sich kein RT Unterschied für das Benennen von belebten und unbelebten Objektbildern.

Hypothese IIIb:

Abbildungen von intransitiven Verben werden schneller benannt als Abbildungen von transitiven Verben.

Begründung:

Diese Hypothesen entsprechen den Befunden des Kontrollexperimenten zur Benennlatenz (vgl. Kapitel 7), wenn die Faktoren Vorstellbarkeit und Phonemanzahl statistisch nicht berücksichtigt wurden. Da in der fMRT Untersuchung dasselbe Itemset verwendet wird, sollten sich diese Effekte wiederholt zeigen.

Hypothese IV:

Die Reaktionszeiten bei Nomen werden signifikant vom Erwerbsalter und der lexikalischen Frequenz beeinflusst, während bei Verben die Benennübereinstimmung der einzig signifikante Prädiktor der Reaktionszeit ist.

Begründung:

Die Hypothese IV entspricht den Ergebnissen der Studie zur Benennlatenz (vgl. Kapitel 7). Bei der Verwendung des gleichen Itemsets sollten die Effekte wiederholt auftreten.

8.3 Probanden

Neuzehn Personen (zehn weiblich, neun männlich) mit einem durchschnittlichen Alter von 26,80 Jahren nahmen an der fMRT Untersuchung teil (siehe Tabelle 27). Für die Teilnahme an der Studie wurde eine Aufwandsentschädigung von 8 Euro pro Stunde gezahlt. Alle Probanden füllten einen ausführlichen Fragebogen aus (entwickelt in Zusammenarbeit mit Dr. Annette Baumgärtner, siehe Anlage 21), auf dessen Grundlage über die Teilnahme am Experiment entschieden wurde. Ein Facharzt für Neurologie beurteilte die medizinische Eignung der Probanden und klärte die Teilnehmer über die Untersuchung auf. Jeder Teilnehmer unterschrieb eine Einverständniserklärung. Die Studie wurde von der lokalen Ethikkommission genehmigt.

Einschlusskriterien. Voraussetzung für die Teilnahme am Experiment war ein Alter zwischen 21 und 35 Jahren, Deutsch als Muttersprache und der Erwerb der höheren Reife, um die Gruppe möglichst homogen zu halten. Ferner war eine normale oder durch Haftschalen korrigierte Sehfähigkeit erforderlich. Die Händigkeit der Teilnehmer wurde mit dem Edinburgh Inventory (Oldfield 1971) überprüft. Als Einschlusskriterium galt ein Händigkeitsscore von ≥ 80 , dies entspricht einer ausgeprägten Rechtshändigkeit (siehe Anlage 21).

Ausschlusskriterien. Personen, die einer Risikogruppe für fMRT Untersuchungen angehörten, wurden grundsätzlich von der Studie ausgeschlossen. Dies betraf Personen mit ferromagnetischen Stoffen im Körper (z.B. Splitter, Implantate) oder auf der Haut (Tattoos, Piercings), Personen mit Herzschrittmacher, Spirale sowie schwangere Frauen. Ebenso wurde die Teilnahme verwehrt, wenn vergangene oder persistierende neurologische oder psychiatrische Erkrankungen sowie Störungen der Sprache und des Sprechens (Sprachentwicklungsstörungen, Leserechtschreibstörungen, Redeflussstörungen, erworbene Störungen der Sprache oder des Sprechens) aktuell geschildert wurden bzw. in der Kindheit aufgetreten waren.

Tabelle 27: Teilnehmer an der fMRT Studie

Nummer	Proband	Alter	Geschlecht	Tätigkeit	Händigkeitsscore
1	AK	35	männlich	Humanmediziner	100,00
2	MC	28	männlich	Wirtschaftswissenschaftler	83,33
3	DL	27	männlich	Student (Psychologie)	100,00
4	MF	21	männlich	Student (Humanmedizin)	100,00
5	CS	21	männlich	Vorbereitung auf Hochschulstudium	100,00
6	VE	22	männlich	Student (Informationsdesign)	80,00
7	TI	32	männlich	Selbständig im Multimedia Bereich	88,24
8	DB	26	männlich	Studentin (Pädagogik, Chemie)	100,00
9	RE	27	männlich	Student (Stadtplanung)	81,82
10	IB	26	weiblich	Studentin (Pädagogik)	87,50
11	MR	26	weiblich	Studentin (Linguistik)	80,00
12	JVW	28	weiblich	Studentin (Sonderpädagogik)	100,00
13	JJ	24	weiblich	Studentin (Mesoamerikanistik)	100,00
14	HM	23	weiblich	Studentin (Humanmedizin)	100,00
15	AM	31	weiblich	Romanistin	100,00
16	MJ	28	weiblich	Diplom-Psychologin	100,00
17	SL	27	weiblich	Studentin (Sozialarbeit)	83,33
18	JL	21	weiblich	Studentin (Sport & Journalismus)	80,00
19	AW	24	weiblich	Studentin der Humanmedizin	90,00
MW		26,80			92,33
Stdabw.		03,84			08,70
Min.		21,00			82,00
Max.		35,00			100,00

Legende: MW = Mitterwert; Stdabw. = Standardabweichung; Min. = Minimum; Max. = Maximum

8.4 Material

Das Material bestand aus dem finalen Stimulusset, das in Abschnitt 6.5 ausführlich beschrieben wurde. Hierbei handelte es sich um 32 Nomen und 32 Verben, die nach Subkategorien ausbalanciert (belebt/unbelebt, transitiv/intransitiv) und nach den Parametern Erwerbsalter, Frequenz, Benennübereinstimmung und visuelle Komplexität gematcht waren. Um Prozesse der visuellen Verarbeitung und der artikulatorischen Planung konstant zu halten, wurde zusätzlich eine Kontrollbedingung entwickelt (für eine kritische Auseinandersetzung mit Baseline Effekten beim Objektbenennen siehe Price et al. 2005). Zu jedem Objekt- und Handlungsbild wurde eine "gescrambelte" Variante erstellt (in Zusammenarbeit mit Simone Reinders). Die Objekt- und Handlungsbilder wurden jeweils in gleich große Quadrate unterteilt, anschließend wurden die

Quadrate in randomisierter Anordnung neu zusammengesetzt. Auf diese Weise entstand ein "gescrambeltes" Bild, das in seiner Größe mit dem Original vergleichbar war. Das Originalbild war jedoch weder als Ganzes noch in einzelnen Teilen zu erkennen. Alle Abbildung lagen in digitalisierter Form als schwarz-weiß Strichzeichnung bzw. in gescrambelter Form vor (Bildgröße 640 x 480). Um Blendungseffekte während der fMRT Untersuchung auszuschließen, wurde der ursprünglich weiße Hintergrund der Originalbilder grau eingefärbt.

8.5 Experimentelles Paradigma und Instruktion

Das Paradigma der bildgebenden Untersuchung bestand aus zwei experimentellen Bedingungen, Nomen (n= 32, davon n = 16 belebt; n = 16 unbelebt) und Verben (n = 32, davon n = 16 transitiv; n = 16 intransitiv) sowie zwei Kontrollbedingungen, gescrambelte Nomen (n = 32, davon n = 16 belebt; n = 16 unbelebt) und gescrambelte Verben (n = 32, davon n = 16 transitiv; n = 16 intransitiv). Jedes Item wurde während der Untersuchung zweimal präsentiert, so dass die Stimulusanzahl pro Bedingung 64 Items ergab. Um die Zugehörigkeit eines Stimulus zu einer grammatischen Kategorie deutlich zu machen, wurde jedes Bild mit einem roten oder blauen Quadrat (15 x 15 mm) kodiert. Ein rotes Quadrat erschien in der Mitte einer Abbildung, wenn diese zur Kategorie Verb/gescrambeltes Verb gehörte. Ein blaues Quadrat kennzeichnete die Bedingung Nomen/gescrambeltes Nomen. Das Quadrat diente gleichzeitig als Fixationsobjekt (siehe Abbildung 3).

Es wurde ein faktoriell-parametrisches, event-related Design verwendet, bei dem zwei Faktoren untersucht wurden. Der erste Faktor war das Benennen von Bildern mit den Ausprägungen Nomenbenennen und Verbbenennen. Der zweite Faktor war das Alter der spontanen lexikalischen Produktion. Hierbei handelte es sich um einen parametrischen Faktor, auch kontinuierlicher Regressor genannt. Dieser Regressor setzte sich aus den individuellen Erwerbsalterwerten für jedes experimentelle Item innerhalb einer Bedingung zusammen (z.B. Erwerbsalterwerte für Nomen). Wird ein kontinuierlicher Regressor in die statistische Analyse funktionell bildgebender Daten einbezogen, kann geprüft werden, ob sich die Hirnaktivität in Abhängigkeit von den Werten des Regressors verändert. Es wird untersucht, welche Aktivierungen mit hohen oder niedrigen Erwerbsalterwerten assoziiert sind. Um die Effizienz des Designs zu erhöhen, wurden ferner Nullevents (n = 32) eingefügt. Nullevents sind Trials, die zwar der Länge eines experimentellen Trials entsprechen, bei denen aber kein Stimulus dargeboten wird. Ein Design kann durch Nullevents effizienter werden, da sich das hämodynamische Antwortsignal mehrmals während der Untersuchung erholen kann (Josephs & Henson 1999; Friston et al. 1999c; vgl. Abschnitt 1.4.2.2).

Die Aufgabe der Probanden bestand im internen Benennen der Objekt- und Handlungsbilder, d.h. die Benennung der Bilder sollte gedacht, aber nicht laut ausgesprochen werden. Im Fall der

Kontrollbedingung sollte der Proband "okay" denken, sobald der Stimulus erschien. Zusammen mit der mentalen Reaktion auf ein Bild, sollte ein Knopf mit dem linken Zeigefinger gedrückt werden. Die Probanden wurden instruiert alle Artikulationsbewegungen zu unterlassen und stets den Bildmittelpunkt (Fadenkreuz oder farbiges Quadrat) zu fixieren, um Augenbewegungen konstant zu halten (siehe Anlage 22).

Die Stimuli wurden in vier Blöcken zu je sechs Minuten dargeboten. Zwischen den Blöcken erfolgte eine Pause von zwei Minuten. Die Abfolge der Blöcke variierte randomisiert über die Personen. In jedem Block wurden Items aus allen experimentellen und Kontrollbedingungen zu jeweils gleichen Teilen präsentiert. Die Abfolge der Trials war pseudorandomisiert mit der Beschränkung, dass niemals mehr als drei Trials der gleicher Art aufeinander folgen durften. Ein Trial umfasste jeweils das Erscheinen eines farbigen Quadrates und die Präsentation eines experimentellen oder Kontrollbildes, das ebenfalls durch das farbige Quadrat markiert war. Jeder Block begann mit vier Übungstrials, bei denen der Proband die Möglichkeit hatte, sich an die Bedingungen im Scanner und die Anforderung der Aufgabe zu gewöhnen. Die Übungstrials wurden von der weiteren Analyse ausgeschlossen.

Das Experiment begann mit dem Erscheinen eines Fadenkreuzes in der Mitte des Bildschirms. Für 1500 ms wurde anschließend ein rotes oder blaues Quadrat präsentiert, das Aufschluss über die grammatische Kategorie des nachfolgenden Items gab. Anschließend erschien für 800 ms ein Objekt-, Handlungs- oder Kontrollbild zusammen mit dem jeweiligen farbigen Quadrat (siehe Abbildung 4). Während des randomisiert gejitterten Intertrialintervalls (2,2 bis 3,2 s), wurde erneut das Fadenkreuz präsentiert. Die durchschnittlichen stimulus onset asynchrony (SOA) lag bei 5 s.

Abbildung 3: Zeitlicher Verlauf des Experiments

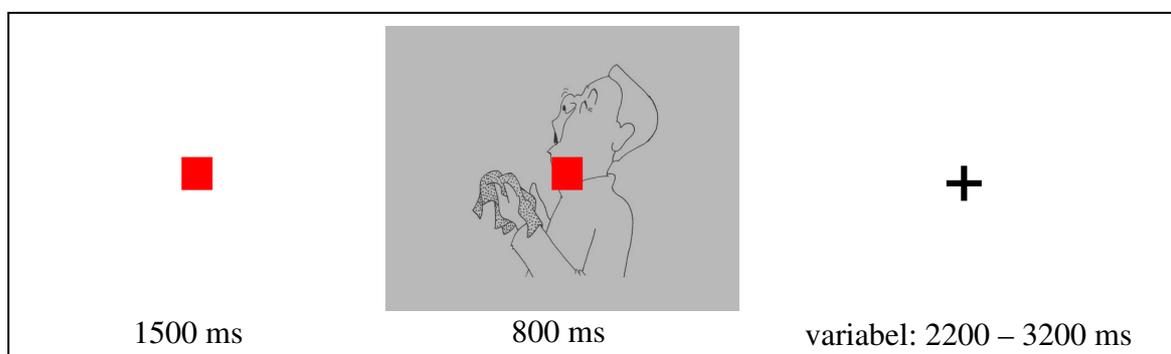
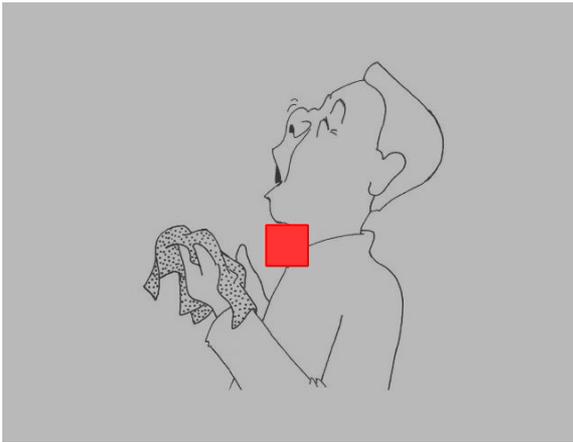
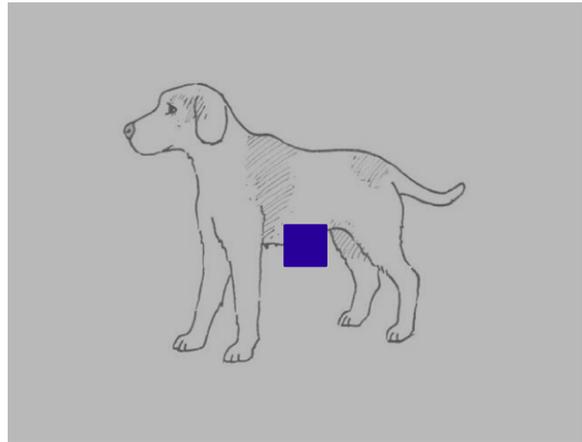


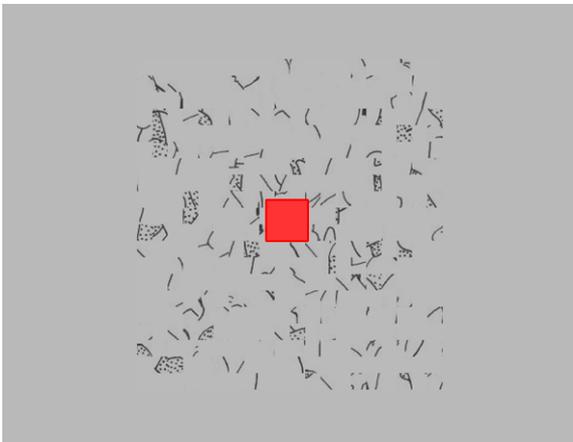
Abbildung 4: Studiendesign



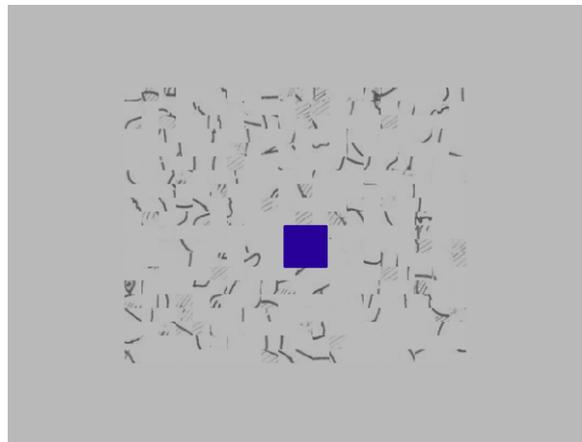
„niesen“



„Hund“



„ok“



„ok“

8.6 Akquisition der bildgebenden Daten

Funktionelle Daten wurden mit einer T2* sensitiven Echo-Planar Sequenz akquiriert (EPI, 32 axiale Schichten, 1 mm Abstand zwischen den Schichten, Voxelgröße 3 x 3 x 3 mm; TR 2,56 s; TE 40 ms; Kippwinkel 90°; Sichtfeld 19,2 cm; Matrixgröße 64 x 64 Voxel). 536 funktionelle Datensätze wurden von jeder Person gewonnen. Zusätzlich wurde eine T1 gewichtete, hochaufgelöste, anatomische Aufnahme des Gehirns akquiriert. (FLASH 3d; sagittale Schichten; Voxelgröße 1 x 1 x 1 mm; TR 15 ms; TE 4,76 ms; Kippwinkel 20°; Sichtfeld 25,6 cm; Matrixgröße 256 x 256 Voxel).

8.7 Versuchsanordnung und Durchführung

Die Untersuchung gliederte sich in drei Phasen: die Trainingsphase, die MR Untersuchung und die anschließende Erhebung der Benennungsgenauigkeit außerhalb des Tomographen. Während der

Trainingsphase wurden die Probanden instruiert und nahmen an einem Trainingsexperiment am Computer, außerhalb des MR Tomographen, teil. Anhand von 30 Trials, die nicht zum Untersuchungsset gehörten, wurden die Teilnehmer auf das Experiment vorbereitet. Die Mehrheit der Probanden reagierte bereits nach wenigen Übungsstimuli adäquat. Nach dem Training fand die funktionelle und strukturelle Untersuchung im MR Tomographen statt. Die Probanden wurden in Rückenlage im Tomographen positioniert. Der Kopf wurde in einer Standardkopfspule mit Schaumstoff vorsichtig fixiert, um Bewegungsartefakte einzudämmen. Alle Teilnehmer erhielten Gehörschutz. Über der Kopfspule wurde ein Aufsatz montiert, dessen Vorderseite aus einer transparenten Leinwand bestand. Innerhalb des Aufsatzes war ein Spiegel angebracht, durch den der Teilnehmer die transparente Leinwand sehen konnte. Alle visuellen Reize wurden über einen Projektor, der ca. drei Meter vor dem Tomographen innerhalb des Untersuchungsraumes stand, auf diese Leinwand projiziert. Verhaltensdaten wurden über eine Reaktionsbox erhoben, die auf der Hüfte des Probanden fixiert wurde. Reaktionen wurden registriert ab dem Erscheinen eines Bildes bis zum Ende des nachfolgenden Intertrialintervalls. In einer letzten Phase, außerhalb des Tomographen, wurde die Benennungsgenauigkeit erhoben. Alle in der Untersuchung verwendeten Abbildungen mit der Markierung durch das farbige Quadrat wurden in randomisierter Reihenfolge vorgelegt. Die Teilnehmer sollten die Bilder schriftlich so benennen, wie sie es im Tomographen getan hatten, auch wenn ihnen beim erneuten Benennen ein anderer, eventuell passenderer Begriff einfallen sollte.

8.8 Anatomische Regionen von Interesse

Für die Analyse von Effekten des Erwerbsalters wurden vier anatomische Regionen von Interesse definiert, die bekannt sind für Aktivierungen bei semantischen und phonologischen Prozessen (vgl. Kapitel 2). Die Definition der Regionen (siehe Tabelle 28) entsprach dem Vorgehen von Baumgärtner et al. (2002). Im ersten Schritt wurden die Brodmann (vgl. Brodmann et al. 1909) Areale bestimmt, die mit den relevanten anatomischen Strukturen korrespondieren. Mit Hilfe des stereotaktischen Atlases von Talairach und Tournoux (1988) wurde die maximale Ausdehnung der Areale in allen drei Raumrichtungen bestimmt. Die Ausdehnung entsprach einem dreidimensionalen Körper, dessen geometrisches Zentrum berechnet wurde. Der Mittelpunkt des Körpers wurde anschließend bestimmt und in Talairach Koordinaten ausgedrückt. Mit Hilfe der Formel von Matthew Brett (www.mrc.cbu.cam.ac.uk/Imaging/mnispace.htm) wurden die Koordinaten in den anatomischen Raum des Montreal Neurological Instituts übertragen. Um das geometrische Zentrum des dreidimensionalen Körpers wurde eine Kugel konstruiert, die den gesamten Körper umschloss. Der Radius dieser Kugel wurde bei der statistischen Analyse der anatomischen Region von Interesse in das Analyseprogramm (SPM2) eingegeben. Die statistische Schwelle wurde analog zur Analyse des gesamten Gehirns bei $p < 0,05$ (korrigiert für multiple Vergleiche) gesetzt.

Tabelle 28: "Regions of Interest (ROI's)" für den Effekt des Erwerbsalters

Anatomische Region	Brodmann Areal	Ausdehnung in mm	Mittelpunkt (Talarach & Tournoux 1988)	Mittelpunkt (MNI Raum)	Radius in mm
L inferiorer präfrontaler Kortex (LIPC)	44, 45, 47	42x45x46	-39; 27; 4	-39; 28; 6	42
Wernicke Areal	22	25x65x24	-52; -17; 8	-53; -18; 8	37
L G. supramarginalis	40	15x45x39	-57; -42; 35	-58; -45; 36	31
Basal temporales Sprachareal (BTLA)	20, 37	30x55x36	-50; -42; -22	-50; -44; 22	36

Legende: L = links; G. = Gyrus; MNI = Montreal Neurological Institut; mm = Millimeter

8.9 Ergebnisse

8.9.1 Benenngenauigkeit

Die Fehlerklassifikation und Datenanalyse bei der Bestimmung der Benenngenauigkeit entsprach der Vorgehensweise bei der Erhebung der Benennübereinstimmung (vgl. Abschnitt 6.4.5). Alle richtigen Benennungen wurden pro Person aufsummiert und in Prozent der korrekten Reaktionen angegeben. Um einen Einfluss der Benennübereinstimmung auf die Ergebnisse der funktionellen Untersuchung zu verhindern, wurden alle Personen von der weiteren Analyse ausgeschlossen, deren Benennleistung über die Kategorie der Nomen oder Verben schlechter war als 80% (siehe Tabelle 29). Dieses Kriterium traf auf die Person AW zu. AW wurde von allen weiteren Analysen, einschließlich der statistischen Analyse der funktionell-bildgebenden Daten, ausgeschlossen. Die Daten der verbliebenen 18 Probanden wurden auf signifikante Unterschiede zwischen den Bedingungen geprüft. Die Benennübereinstimmung von Nomen und Verben zeigte keine signifikanten Unterschiede zwischen den Bedingungen (einfaktorielle Anova mit Messwiederholung $F(1,17) = 2,26$; $p = n.s.$). Auch zwischen den Subkategorien konnte kein signifikanter Unterschied ermittelt werden (einfaktorielle Anova mit Messwiederholung: $F(3,51) = 0,97$; $p = n.s.$). Tabelle 30 zeigt die deskriptive Statistik für die Benenngenauigkeit in den Kategorien und Subkategorien (siehe auch Abbildung 5 für eine graphische Darstellung).

Tabelle 29: Benenngenauigkeit über die Probanden ohne AW, deskriptive Statistik

Kategorien	N	MW in % korrekt	Stdabw.	Min.	Max.
Nomen	18	92,88	4,56	81,25	100,00
Belebt	18	92,01	5,28	84,38	100,00
Unbelebt	18	93,75	6,78	75,00	100,00
Verben	18	91,41	5,42	81,25	100,00
Transitiv	18	90,63	7,88	71,88	100,00
Intransitiv	18	92,19	6,27	81,25	100,00

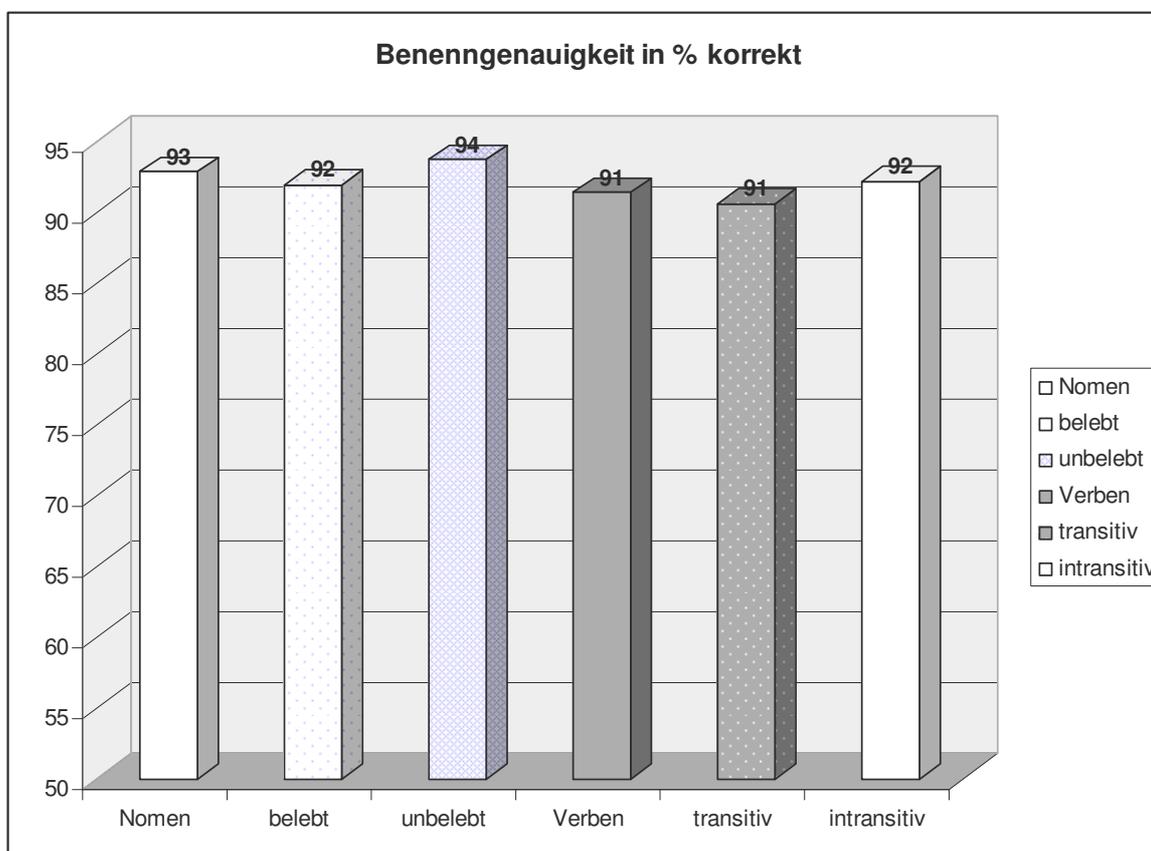
Legende: N = Anzahl der Teilnehmer; MW = Mitterwert; % = Prozent; Stdabw. = Standardabweichung; Min. = Minimum; Max. = Maximum

Tabelle 30: Benennungsgenauigkeit bei der fMRT Untersuchung

Nr.	Proband	Nomen Gesamt	Nomen belebt	Nomen unbelebt	Verben gesamt	Verben transitiv	Verben intransitiv	Gesamt
1	AK	100,00	100,00	100,00	98,44	100,00	96,88	99,22
2	AM	93,75	93,75	93,75	95,31	93,75	96,88	94,53
3	AW*	90,63	87,50	93,75	75,00	78,13	71,88	82,81
4	CS	92,19	84,38	100,00	96,88	100,00	93,75	94,53
5	DB	85,94	84,38	87,50	89,06	87,50	90,63	87,50
6	DL	93,75	90,63	96,88	90,63	93,75	87,50	92,19
7	HM	100,00	100,00	100,00	96,88	100,00	93,75	98,44
8	IB	96,88	93,75	100,00	100,00	100,00	100,00	98,44
9	JJ	89,06	84,38	93,75	93,75	96,88	90,63	91,41
10	JL	96,88	93,75	100,00	93,75	93,75	93,75	95,31
11	JVW	92,19	84,38	100,00	81,25	81,25	81,25	86,72
12	MC	90,63	90,63	90,63	85,94	71,88	100,00	88,28
13	MF	93,75	93,75	93,75	89,06	84,38	93,75	91,41
14	MJ	92,19	96,88	87,50	87,50	81,25	93,75	89,84
15	MR	95,31	96,88	93,75	95,31	93,75	96,88	95,31
16	RE	93,75	90,63	96,88	93,75	87,50	100,00	93,75
17	SL	95,31	96,88	93,75	89,06	90,63	87,50	92,19
18	TI	89,06	93,75	84,38	85,94	90,63	81,25	87,50
19	VE	81,25	87,50	75,00	82,81	84,38	81,25	82,03

Legende: * ausgeschlossen aufgrund der Überschreitung des Kriteriums zur Benennungsgenauigkeit

Abbildung 5: Benennungsgenauigkeit über Probanden in % korrekt



8.9.2 Bereinigung der Verhaltensdaten

Die Analyse der Reaktionszeiten erfolgte getrennt für Nomen, Verben, gescrambelte Nomen und gescrambelte Verben. Im ersten Schritt der Auswertung wurden valide und invalide Reaktionen bestimmt. Invalide Reaktionen wurden definiert als Fehlbenennungen und Nullreaktionen. Die Fehlbenennungen ergaben sich aus der post-hoc Überprüfung der Benennungsgenauigkeit. Bei Nullreaktionen hatte die Versuchsperson während des Experimentes keine Taste gedrückt. Eine Nullreaktion konnte bedeuten, dass die Person sich zu keiner internen verbalen Reaktion (Benennung/"okay") entschließen konnte oder aber vergessen hatte, den Knopf zu drücken, obwohl die mentale Reaktion erfolgt war. Alle invaliden Reaktionen wurden von der Analyse ausgeschlossen. Dies traf auf 85 (7,39 %) von insgesamt 1152 möglichen Reaktionen bei Nomen und 103 (8,94 %) von 1152 bei Verben zu. Bei gescrambelten Nomen wurden 9 (0,78 %), bei gescrambelten Verben 7 (0,61 %) von jeweils 1152 möglichen Reaktionen als invalide klassifiziert und aus dem Datensatz entfernt.

Die Klassifikation und Entfernung der Ausreißer wurde analog zum Experiment zur Benennlatenz (vgl. Kapitel 7) durchgeführt. Als Ausreißer wurden individuelle Reaktionen klassifiziert, die sowohl über alle Versuchspersonen bei einem Item als auch über alle Items bei einer Versuchsperson mehr als zwei Standardabweichungen vom Mittelwert abwichen. Von den verbliebenen 1067 validen Reaktionen für Nomen wurden 12 (1,12 %) als Ausreißer klassifiziert. Bei Verben wurden 17 (1,62 % von 1049 Reaktionen), bei gescrambelten Nomen 16 (1,40 % von 1143 Reaktionen) und bei gescrambelten Verben 24 (2,10 % von 1145 Reaktionen) als Ausreißer klassifiziert und entfernt.

8.9.3 Reaktionszeiten

Analyse über Probanden. Tabelle 31 zeigt die Ergebnisse der deskriptiven Statistik für Wortklassen und Subkategorien in der experimentellen und Kontrollbedingung über die Versuchspersonen (für itemspezifische Ergebnisse siehe Anlage 23–24). Da jede Versuchsperson ein spezifisches Item zweimal benannt hatte, wurde ein Mittelwert aus beiden Benennungen gebildet. Anschließend wurde eine einfaktorielle ANOVA mit Messwiederholung durchgeführt, um Reaktionszeitunterschiede zwischen den Bedingungen (Nomen, Verb, gescrambelte Nomen, gescrambelte Verben) aufzudecken. Dabei wurde die Reaktionszeit als abhängige Variable und die Bedingungen als Faktor betrachtet. Die Voraussetzungen für die Durchführung einer Varianzanalyse wurden für alle Bedingungen geprüft. Die Werte in den einzelnen Bedingungen entsprachen der Normalverteilungsannahme (nach Shapiro-Wilks-W-Test), die Bedingung der Varianzhomogenität war erfüllt (Levene-Test). Der Test auf einen Unterschied zwischen den Bedingungen erwies sich als signifikant ($F(3,51) = 72,09$; $p < 0,001$). Da die Bedingung der Sphärizität und verbundenen Symmetrie verletzt war (Mauchlys Sphärizitäts-Test $p < 0,001$) wurde

zusätzlich ein multivariates Verfahren angewendet, was die Ergebnisse der ANOVA bestätigte (MANOVA, Rao R (3,15) = 41,84; $p < 0,001$). Mit Hilfe des Scheffé-Tests konnte festgestellt werden, dass zwischen allen Bedingungen bis auf zwischen den Kontrollbedingungen signifikante Unterschiede bestanden (siehe Tabelle 32). Insgesamt zeigte sich ein deutlicher Wortarteneffekt zugunsten von Nomen.

Tabelle 31: Reaktionszeit in ms über Probanden, deskriptive Statistik

Kategorie/Subkategorie	N	MW in ms	Stdabw.	Min.	Max.
Nomen	18	602,85	67,25	462,13	688,71
Nomen belebt	18	595,54	48,18	491,06	667,66
Nomen unbelebt	18	607,51	71,78	464,56	702,11
Verben	18	665,24	76,30	488,53	768,89
Verben transitiv	18	673,46	83,91	473,68	805,80
Verben intransitiv	18	657,12	71,20	502,87	760,52
Nomen gescrambelt	18	538,82	55,77	436,52	629,40
Nomen belebt gescrambelt	18	534,51	58,68	428,52	632,13
Nomen unbelebt gescrambelt	18	543,14	53,91	444,52	626,75
Verben gescrambelt	18	522,36	52,90	431,43	619,05
Verben transitiv gescrambelt	18	519,98	48,23	430,69	612,43
Verben intransitiv gescrambelt	18	524,52	59,38	425,78	643,49

Legende: N = Anzahl der Teilnehmer; MW = Mitterwert; ms = Millisekunden; Stdabw. = Standardabweichung; Min. = Minimum; Max. = Maximum

Eine weitere Varianzanalyse (einfaktorielle Anova mit Messwiederholung) wurde über die Reaktionszeiten in den Subgruppen der Nomen und Verben gerechnet. Als abhängige Variable wurde die Reaktionszeit, als Faktor die Subgruppen der Wortkategorien erachtet. Die Bedingungen der Normalverteilung (nach Shapiro-Wilks-W-Test) sowie der Varianzhomogenität (nach Levene-Test) waren erfüllt. Eine Analyse für die Subgruppen der Kontrollbedingung wurde nicht durchgeführt. Es konnte ein signifikanter Effekt für die Subgruppen festgestellt werden ($F(3,51) = 28,11$; $p < 0,001$). Da Mauchlys Sphärizitäts-Test signifikant war ($p < 0,01$), wurde zusätzlich eine MANOVA durchgeführt, die die Ergebnisse der ANOVA bestätigte (Rao R (3,15) = 25,56; $p < 0,001$).

Tabelle 32: Reaktionszeit zwischen Kategorien über Probanden, Scheffé-Test

Kategorien	1	2	3	4
1. Nomen	*	0,001	0,001	0,001
2. Verben		*	0,001	0,001
3. Nomen gescrambelt			*	n.s.
4. Verben gescrambelt				*

Legende: Ergebnisse des Scheffé-Tests angegeben in $p <$ Werten

Im Scheffé Test zeigen sich keine signifikanten Unterschiede zwischen Subgruppen innerhalb einer grammatischen Kategorie (belebt versus unbelebt bzw. transitiv versus intransitiv). Die Reaktionszeiten der Subgruppen zwischen den grammatischen Kategorien differierten jedoch

signifikant (belebt versus transitiv/intransitiv bzw. unbelebt versus transitiv/intransitiv). Damit reflektiert dieses Ergebnis den Reaktionszeitunterschied zwischen den grammatischen Kategorien an sich (siehe Tabelle 33).

Tabelle 33: Reaktionszeit zwischen Subkategorien über Probanden, Scheffé-Test

Subkategorien	1	2	3	4
1. Nomen belebt	*	n.s	0,001	0,001
2. Nomen unbelebt		*	0,001	0,001
3. Verben transitiv			*	n.s.
4. Verben intransitiv				*

Legende: Ergebnisse des Scheffé-Tests angegeben in $p <$ Werten

Analyse über Items. Tabelle 34 zeigt die deskriptive Analyse über die Items (siehe Abbildung 6). Da für jedes Item zwei Reaktionszeiten vorlagen, wurde aus beiden Reaktionen ein Mittelwert gebildet. Für die folgenden Berechnungen ergab sich daher eine Itemzahl von $n = 32$ für Kategorien und $n = 16$ für Subkategorien. Auch über die Items ergab die ANOVA (einfaktoriell, Zwischengruppendesign) einen signifikanten Effekt für die Bedingungen (Nomen, Verb, gescrambelte Nomen, gescrambelte Verben), wenn die Reaktionszeit als abhängige Variable betrachtet wird ($F(3,124) = 84,28; p < 0,001$). Im Vorfeld wurde eine Verletzung der Voraussetzungen für die ANOVA festgestellt. Nicht alle Bedingungen waren nach Shapiro-Wilks-W-Test normalverteilt (aber normalverteilt nach Kolmogorov-Smirnov-Test) und der Levenes-Test auf Varianzhomogenität erwies sich als signifikant ($p < 0,001$). Eine ANOVA wurde dennoch durchgeführt, da das Verfahren robust auf Verletzungen seiner Voraussetzungen reagiert (Bortz 1993: 263). Im Scheffé-Test unterschieden sich alle Bedingungen signifikant voneinander, bis auf die Kontrollbedingungen (siehe Tabelle 35). Dies bestätigt die Ergebnisse der Analyse über die Probanden. Nomen wurden konsistent schneller benannt als Verben.

Tabelle 34: Reaktionszeit über die Items, deskriptive Statistik

Kategorie/Subkategorie	N	MW in ms	Stdabw.	Min.	Beispiel	Max.	Beispiel
Nomen	32	605,74	56,09	519,57	„Auto“	743,68	„Brunnen“
Nomen belebt	16	598,23	34,00	556,61		690,42	
Nomen unbelebt	16	613,25	72,29	519,57		743,68	
Verben	32	668,06	53,13	549,53	"schieben"	793,35	"kaufen"
Verben transitiv	16	677,72	63,06	549,53		793,35	
Verben intransitiv	16	658,39	40,74	579,99		738,08	
Nomen gescrambelt	32	537,67	23,76	496,53	___	598,49	___
Nomen belebt gescrambelt	16	533,89	21,99	496,53		576,74	
Nomen unbelebt gescrambelt	16	541,46	25,55	499,49		598,49	
Verben gescrambelt	32	521,64	18,33	484,52	___	554,22	___
Verben transitiv gescrambelt	16	519,33	17,04	484,52		552,01	
Verben intransitiv gescrambelt	16	523,95	19,81	490,43		554,22	

Legende: N = Anzahl der Items; MW = Mitterwert; ms = Millisekunden; Stdabw. = Standardabweichung; Min. = Minimum; Max. = Maximum

Die ANOVA (einfaktorielle Anova, Zwischengruppendesign) über die Subgruppen der Wortklassen wies einen signifikanten Effekt ($F(3,60) = 7,43$; $p < 0,001$) auf. Im Scheffé Test zeigte sich kein Unterschied in den Reaktionszeiten innerhalb der Subgruppen einer grammatischen Kategorie (belebt versus unbelebt bzw. transitiv versus intransitiv, siehe Tabelle 36).

Tabelle 35: Reaktionszeit zwischen Bedingungen über Items, Scheffé Test

Kategorien	1	2	3	4
1. Nomen	*	0,001	0,001	0,001
2. Verben		*	0,001	0,001
3. Nomen gescrambelt			*	n.s.
4. Verben gescrambelt				*

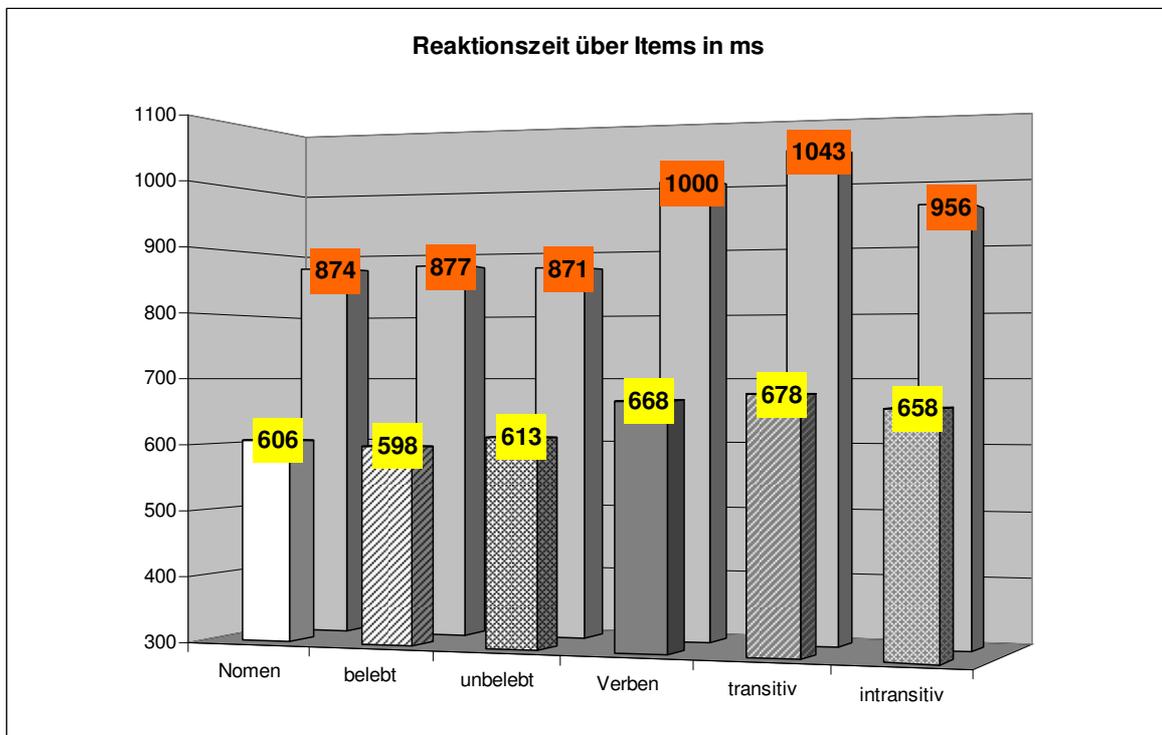
Legende: Ergebnisse des Scheffé-Tests angegeben in p Werten

Tabelle 36: Reaktionszeit zwischen Subkategorien über Items, Scheffé-Test

Subkategorien	1	2	3	4
1. Nomen belebt	*	n.s.	0,01	0,05
2. Nomen unbelebt		*	0,05	n.s.
3. Verben transitiv			*	n.s.
4. Verben intransitiv				*

Legende: Ergebnisse des Scheffé-Tests angegeben in p Werten

Abbildung 6: Reaktionszeit über Items



Legende: Im Vordergrund (gelb) die Reaktionszeiten der fMRT-Studie aufgeteilt in Wort- und Subkategorien; im Hintergrund (orange) zum Vergleich die Benennlatenzen aus der Kontrollstudie (siehe Kapitel 7)

Signifikante Unterschiede konnten auch hier nur zwischen den Subgruppen der grammatischen Kategorien (belebt versus transitiv/intransitiv bzw. unbelebt versus transitiv) beobachtet werden. Unbelebte Nomen und intransitive Verben unterschieden sich in der Reaktionszeit nicht signifikant (siehe Tabelle 36). Die ANOVA wurde trotz Verletzung der Varianzhomogenität (Levenes-Test $p < 0,05$) und bei einigen Subgruppen auch der Normalverteilungsannahme durchgeführt (vgl. Bortz 1993: 263).

8.9.3.1 Reliabilität der RT Daten

Da während des fMRT Experimentes nur eine indirekte Messung der Reaktionszeit erfolgen konnte und somit die experimentelle Kontrolle eingeschränkt war, wurden die Reaktionszeitdaten mit den Daten der Studie zum mündlichen Benennen (vgl. Kapitel 7) verglichen. Dabei zeigte sich für beide Kategorien eine höchstsignifikante Korrelation während sich die Mittelwerte signifikant voneinander unterschieden (gepaarter T-Test; Pearson; siehe Tabelle 37 und Abbildung 6). Die Reaktionszeiten für mündliches Benennen lagen stets höher als für internes Benennen. Der Reaktionszeitunterschied lässt sich durch Prozesse der Sprechplanung und -ausführung erklären, die beim mündlichen Benennen zusätzlich geleistet werden müssen. Da nicht alle untersuchten Gruppen normalverteilt waren, wurde zusätzlich eine non-parametrische Analyse des Mittelwertunterschiedes (Wilcoxon-Test für gepaarte Stichproben, Nomen $p < 0,001$, Verben $p < 0,001$) und der Korrelation (Spearman's Rangkorrelation, Nomen $R = 0,63$; $p < 0,001$, Verben $R = 0,76$; $p < 0,001$) durchgeführt, die zu gleichen Ergebnissen führte. Aufgrund der hohen Korrelation zwischen den Datensätzen kann eine Erhebung der Reaktionszeit über Knopfdruck durchaus als reliable Reflektion des mentalen Benennenprozesses angesehen werden. Aus diesem Grund erschien die weitere Analyse der Daten zulässig und aussagekräftig.

Tabelle 37: Reaktionszeiten der Studien 1 und 2, Mittelwertvergleich

Reaktionszeiten	N	Studie 2		Studie 1		Gepaarter T-Test		Pearson	
		MW in ms	Stdabw.	MW in ms	Stdabw.	t	p	r	p
Nomen	32	605,74	56,09	873,92	165,19	11,48	0,000	0,70	0,000
Verben	32	668,05	53,13	999,53	183,37	12,35	0,000	0,69	0,000

Legende: N = Anzahl der Items; MW = Mitterwert; ms = Millisekunden; Stdabw. = Standardabweichung; t = T-Wert; p = Alpha Niveau

8.9.3.2 Kovarianzanalysen über Items

Wie bereits in der Studie zur Benennlatenz wurde auch hier geprüft, ob der robuste Reaktionszeitunterschied zwischen Nomen und Verben auf die nicht gematchten Stimulusparameter Vorstellbarkeit und Phonemanzahl zurückzuführen ist. Beide Parameter wurden daher jeweils separat als auch gemeinsam als Kovariablen in das statistische Modell integriert. Entgegen den Ergebnissen der ersten Studie verschwand der Effekt weder wenn Phonemanzahl

separat ($F(1,61) = 12,98$; $p < 0,001$), noch wenn Vorstellbarkeit ($F(1,61) = 6,76$; $p \leq 0,05$) separat als Kovariable eingegeben wurde. Nur bei einer gemeinsamen Eingabe von Phonemanzahl und Vorstellbarkeit verfehlte die Varianzanalyse knapp die definierte Signifikanzschwelle ($F(1,60) = 3,64$; $p = 0,061$). Die Kovarianzanalysen über Subkategorien führten zum Verlust des Wortarteneffekts, wenn der Parameter Vorstellbarkeit in das statistische Modell integriert wurde ($F(3,59) = 2,20$; $p = 0,097$). Bei der separaten Berücksichtigung der Phonemanzahl dagegen, blieb der Effekt bestehen $F(3,59) = 5,06$; $p < 0,003$. Wurden beide Faktoren gemeinsam berücksichtigt, wurde die Varianzanalyse nicht mehr signifikant ($F(3,58) = 1,18$; $p = 0,325$).

8.9.3.3 Zusammenhangsanalysen

Tabelle 38 zeigt die Korrelationen zwischen der Reaktionszeit und verschiedenen Stimulusparametern. Es wurden sowohl die gematchten Parameter (Erwerbsalter, gemischte Frequenz, Benennübereinstimmung, visuelle Komplexität) als auch nicht-gematchte Parameter (Phonemlänge, Vorstellbarkeit) auf einen Zusammenhang mit der Reaktionszeit geprüft. Für Nomen ergaben sich signifikante Zusammenhänge zwischen der Reaktionszeit einerseits und den Parametern Erwerbsalter, Frequenz, Vorstellbarkeit und Benenngenauigkeit andererseits. Bei Verben erwiesen sich die Zusammenhänge zwischen der Reaktionszeit und den Parametern Benennübereinstimmung, visuelle Komplexität und Vorstellbarkeit als signifikant. Damit konnten die Ergebnisse der voice onset time Studie bestätigt werden.

Tabelle 38: Spearmans Rangkorrelation zwischen Stimulusparametern und Reaktionszeit

Parameter	Reaktionszeit Nomen	Reaktionszeit Verben
Erwerbsalter	0,64***	0,27
Gemischte Frequenz	-0,46**	-0,01
Benennübereinstimmung	-0,12	-0,56***
Visuelle Komplexität	0,04	0,43*
Vorstellbarkeit	-0,53**	-0,46**
Phonemanzahl	0,27	-0,13

Legende: *** $p < 0,001$; ** $p < 0,01$; * $p < 0,05$

Zur Aufdeckung der wichtigsten Einflussfaktoren auf die Reaktionszeit wurden multiple lineare Regressionsanalysen separat für Nomen und Verben durchgeführt. Nur die gematchten Stimulusparameter wurden dabei in die Analyse einbezogen. Die Regressionsanalyse für Nomen erreichte eine höchstsignifikante Varianzaufklärung ($R^2 = 0,561$; $F(4,27) = 8,64$; $p < 0,001$; siehe Tabelle 39). Sie ergab, dass das Erwerbsalter und die Frequenz die wichtigsten Einflussfaktoren auf die Reaktionszeit sind. Bei Verben konnte eine ähnlich hohe Varianzaufklärung erreicht werden ($R^2 = 0,507$; $F(4,27) = 6,93$; $p < 0,001$; siehe Tabelle 40), als bedeutendster Einflussfaktor erwies sich jedoch die Benennübereinstimmung. Damit wurden die Ergebnisse der Regressionsanalysen im Rahmen des Experimentes zur Benennlatenz bestätigt. Während sich bei Nomen eher

lexikosemantische Faktoren auf die Reaktionszeit auswirkten, waren es bei Verben eher Faktoren, die im Zusammenhang mit dem Bildmaterial stehen.

Tabelle 39: Regressionsanalyse über Nomen

Parameter	Beta	Standardfehler von Beta	t	p
Konstante			1,25	0,222
Produktives AoA	0,65	0,14	4,58	*** 0,001
Benennübereinstimmung	0,21	0,14	1,49	0,147
Visuelle Komplexität	-0,14	0,13	-1,05	0,303
Gemischte Frequenz	-0,34	0,14	-2,49	** 0,019

Legende: *** p < 0,001; ** p < 0,01; * p < 0,05; t = T-Wert; p = Alpha Niveau

Tabelle 40: Regressionsanalyse über Verben

Parameter	Beta	Standardfehler von Beta	t	p
Konstante			6,03	0,000
Produktives AoA	0,17	0,14	1,22	0,231
Benennübereinstimmung	-0,58	0,14	-4,10	*** 0,004
Visuelle Komplexität	0,23	0,15	1,56	0,129
Gemischte Frequenz	-0,54	0,14	-0,39	0,702

Legende: *** p < 0,001; ** p < 0,01; * p < 0,05; t = T-Wert; p = Alpha Niveau

8.9.4 Aufbereitung und statistisch Analyse der fMRT Daten

Die Vorverarbeitung und statistische Analyse der bildgebenden Daten wurde mit SPM2 (Wellcome Department of Cognitive Neurology, London, U.K.) implementiert in Matlab (Version 6.1, Math Works, Natick, MA, USA) durchgeführt. Vor der Analyse wurden die 10 ersten funktionellen Bilder eines experimentellen Blocks vom Datensatz jedes Probanden entfernt. Technische Artefakte durch Sättigungseffekte in den funktionellen Daten sollten so vermieden werden. Ferner sollten hämodynamische Reaktionen reduziert werden, die durch psychologische Faktoren (z.B. Anpassungsschwierigkeiten an die Bedingungen im Scanner) auftreten können. Eine Überprüfung auf technische Artefakte erfolgte individuell für die Rohbilder jedes Probanden mit den SPM2 internen Programmen `fmri_spike_fix(0)` und `fmri_movie`. Im Rahmen der Vorverarbeitung wurden die Datensätze jedes Probanden korrigiert für zeitliche Verschiebungen und einer Bewegungskorrektur unterzogen, wobei das erste funktionelle Bild der Zeitserie als Referenzbild verwendet wurde. Die Daten wurden koregistriert mit dem T1 gewichteten anatomischen Datensatz, in einen Standard stereotaktischen Raum (Montreal Neurological Institut) transformiert und mit einem Gauss Kernel von 6 mm bei individuellen Analysen und 12 mm bei Gruppenanalysen geglättet. Es wurde der Hochpassfilter AR-1 (SPM2 Option, white noise) und ein Tiefpassfilter von 120 Sekunden angewendet.

Vorverarbeitete Datensätze wurden mit dem generellen linearen Modell voxelweise statistisch analysiert (Worsley & Friston, 1995, Friston et al. 1995). Die Analyse erfolgte in zwei Schritten. Zunächst wurden die Daten jedes einzelnen Probanden separat analysiert (first level analysis), anschließend wurde auf der Grundlage dieser Ergebnisse eine Analyse über die gesamte Probandengruppe durchgeführt (second level analysis). Bei der „first level analysis“ bestand das statistische Modell aus sechs Regressoren (Nomen, Erwerbssalter für Nomen, Verben, Erwerbssalter für Verben, gescrambelte Nomen, gescrambelte Verben). Zusätzlich wurden Parameter in das Modell integriert, die die Bewegung des Probanden (Kopfdrehung und Kopfverschiebung) jeweils in allen drei räumlichen Dimensionen reflektierten. Der Regressor für das Erwerbssalter enthielt Werte zum Alter der spontanen lexikalischen Produktion in Monaten (De Bleser & Kauschke 2003, vgl. Kapitel 6). Für jedes Wort wurde in der Reihenfolge der Präsentation ein Erwerbssalterwert eingegeben. Es wurden Kontrastbilder für jeden Haupteffekt errechnet (Nomen, Erwerbssalter für Nomen [früh bzw. spät], Verben, Erwerbssalter für Verben [früh bzw. spät], gescrambelte Nomen, gescrambelte Verben).

Gruppendaten wurden mit dem „Random Effects Model“ analysiert. Zur Klärung der Frage, ob Aktivierungsdifferenzen zwischen Nomen- und Verbenennungen vorliegen, wurde eine ANOVA (within subjects) mit den Kontrastbildern der Haupteffekte jeder Person (Nomen, Verben, gescrambelte Nomen und gescrambelte Verben) durchgeführt. Über die gesamte Probandengruppe wurden statistische parametrische Karten für die Haupteffekte Nomen, Verben, gescrambelte Nomen und gescrambelte Verben errechnet. Aktivierungsunterschiede und -gemeinsamkeiten der grammatischen Kategorien wurden mit differenziellen Kontrasten untersucht:

- Nomen und Verben versus gescrambelte Bilder
- Gescrambelte Bilder versus Nomen und Verben
- Nomen versus gescrambelte Nomen
- Verben versus gescrambelte Verben
- Nomen versus Verben
- Verben versus Nomen
- Belebte versus nicht belebte Nomen
- Nicht belebte versus belebte Nomen
- Transitive versus intransitive Verben
- Intransitive versus transitive Verben

Die dabei entstandene statistische Karte wurde zur Reduktion von falsch positiven Ergebnissen (Alpha-Fehler) einer Bonferoni-Korrektur unterzogen. Ergebnisse, die unter der statistischen Schwelle von $p < 0,05$ (voxel level, korrigiert für multiple Vergleiche) lagen und mindestens aus

10 zusammenhängenden Voxeln bestanden (Schwelle der räumlichen Ausdehnung $k = 10$), wurden als signifikant erachtet.

Die Effekte des Erwerbsalters wurden mit einseitigen t-Tests ermittelt, die über die Kontrastbilder der Haupteffekte (Nomen und Verben früh/spät) der einzelnen Personen gerechnet wurden (Holmes & Friston, 1998). Dabei wurde die Hypothese geprüft, ob sich die Aktivierungen signifikant von Null unterscheiden. Vier anatomische Regionen, für die eine Sensitivität hinsichtlich des Erwerbsalters vermutet wurde, waren als "regions of interest" definiert (siehe Abschnitt 8.8). Diese Regionen wurden einer „small volume correcture“ unterzogen, d.h. nur die jeweilige exakt definierte anatomische Region wurde mit dem Bonferoni Verfahren korrigiert. Dieses Vorgehen wird generell gewählt, wenn die zu erwartenden Effekte eher klein sind und durch die Anwendung einer Korrektur des gesamten Volumens falsch negative Ergebnisse entstehen könnten. Die statistische Schwelle wurde bei $p < 0,05$ (voxel level, korrigiert für multiple Vergleiche innerhalb der spezifischen Region) angesetzt. Es wurden nur Ergebnisse berücksichtigt, die eine räumliche Ausdehnung von mindestens 10 zusammenhängenden Voxeln aufwiesen ($k = 10$). Folgende T-Tests wurden berechnet:

- Frühes Erwerbsalter $> \text{null}$
- Spätes Erwerbsalter $> \text{null}$

In einer weiteren Gruppenanalyse wurden die nicht-gematchten Parameter Vorstellbarkeit und Phonemanzahl berücksichtigt. Dabei wurde geprüft, ob ein Wortarteneffekt auftritt, wenn die genannten Parameter statistisch kontrolliert werden. Zu diesem Zweck wurde zunächst eine weitere Analyse auf dem ersten Level durchgeführt. Die Daten jeder Versuchsperson wurden separat mit einem statistischen Modell analysiert, in dem neben den Regressoren der ersten Analyse (Nomen, Erwerbsalter für Nomen, Verben, Erwerbsalter für Verben, gescrambelte Nomen, gescrambelte Verben, Bewegungsparameter) zusätzlich die Parameter Vorstellbarkeit und Phonemanzahl in das Modell integriert wurden. Mit ANOVA (within subjects) wurde anschließend eine Gruppenanalyse auf dem zweiten Level durchgeführt, die die Kontrastbilder für Nomen, Verben und gescrambelte Nomen/Verben über alle 18 Versuchspersonen enthielt. Die Daten werden berichtet auf einem statistischen Niveau von $p < 0,05$ (voxel level, korrigiert für multiple Vergleiche) und einer räumlichen Ausdehnung von mindestens 10 zusammenhängenden Voxeln ($k = 10$). Folgende Kontraste wurden errechnet:

- Nomen versus gescrambelte Nomen
- Verben versus gescrambelte Verben
- Nomen versus Verben
- Verben versus Nomen

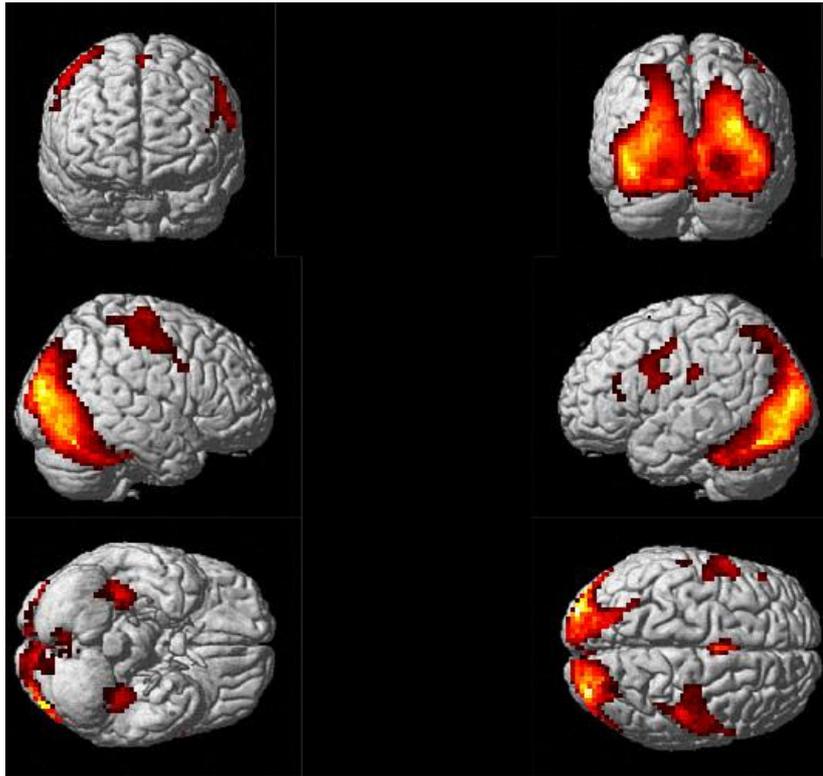
Die Darstellung der Ergebnisse erfolgt als zweidimensionale Aktivierungskarte des Gehirns (Oberflächenprojektionen und Schichtaufnahmen), in tabellarischer Form (dreidimensionale Koordinaten im anatomischen Raum des Montreal Neurological Instituts) und mit Hilfe der neuroanatomischen Nomenklatur. Zur neuroanatomischen Beschreibung der Aktivierungsmuster wurde der stereotaktische Atlas von Talairach & Tournoux (1988) und der neuroanatomische Atlas von Kretschmann & Weinrich (2003) verwendet.

8.9.4.1 Haupteffekte

Haupteffekte reflektieren kortikale Aktivierungen für eine spezifische experimentelle oder Kontrollbedingung, ohne dass dabei ein statistischer Vergleich mit einer anderen Bedingung aus dem experimentellen Paradigma vorgenommen wird (für eine tabellarische Auflistung der Aktivierungsschwerpunkte siehe Anlage 25 - 28). Die Haupteffekte für Nomen und Verben ergaben ein ähnliches bilaterales Aktivierungsmuster in allen vier Hirnlappen, wobei die Signalintensität und räumliche Ausdehnung der Foci bei Verben stärker ausgeprägt war. Die Ähnlichkeit der Muster traten besonders dann zutage, wenn die Signifikanzschwelle herabgesetzt wurde. Massive Signale zeigten sich im Okzipitallappen. Die okzipitale Aktivierung dehnte sich nach oben bis in den inferioren Parietallappen (linksbetont) und nach unten bis in den G. fusiformis aus. Im Frontallappen zeigten sich linksbetonte Aktivierungen des inferioren präfrontalen Kortex sowie des G. frontalis dorsalis/G.cinguli entlang der Mittellinie. Besonders in der rechten Hemisphäre setzten sich die Signale bis in sensomotorische Kortexareale fort. Im Temporallappen konnten Aktivierungsschwerpunkte an der temporo-okzipitalen Schnittstelle und in inferioren Kortexregionen (z.B. im G. fusiformis) beobachtet werden. Aktivierungen des linken inferioren Parietal- und Frontallappens waren bei Verben deutlich stärker ausgeprägt (siehe Abbildung 7-8).

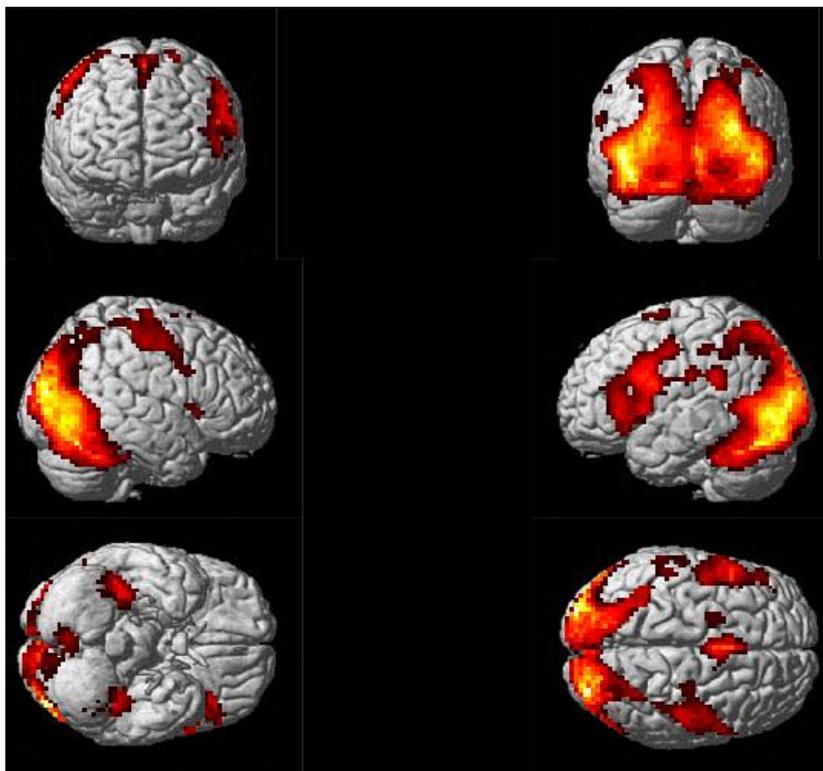
Die Aktivierungsmuster der Haupteffekte für die Kontrollbedingungen (gescrambelte Nomen und Verben) stellten sich ebenfalls ähnlich dar. Ein deutlicher Schwerpunkt lag auf der bilateralen Aktivierung im Okzipitallappen. Diese erstreckte sich im Gegensatz zu den experimentellen Bedingungen nicht bis in den inferioren Parietallappen. Auch war die Ausdehnung in inferiore Gebiete des Temporallappens deutlich geringer ausgeprägt. Im Frontallappen waren keine Signale in präfrontalen Regionen zu beobachten, jedoch zeigte sich eine Beteiligung sensomotorischer frontaler und parietaler Areale in beiden Hemisphären. Ferner traten Aktivierungen im G. frontalis dorsalis und G. cinguli auf, die jedoch in ihrer Intensität deutlich schwächer waren als in den experimentellen Bedingungen. Im Gebiet der temporo-parietalen Schnittstelle zeigten sich Aktivierungsschwerpunkte in beiden Hemisphären. Betroffen waren vor allem das Gebiet des primär auditiven Zentrums und angrenzende Regionen (siehe Abbildung 9-10).

Abbildung 7: Haupteffekt Nomen



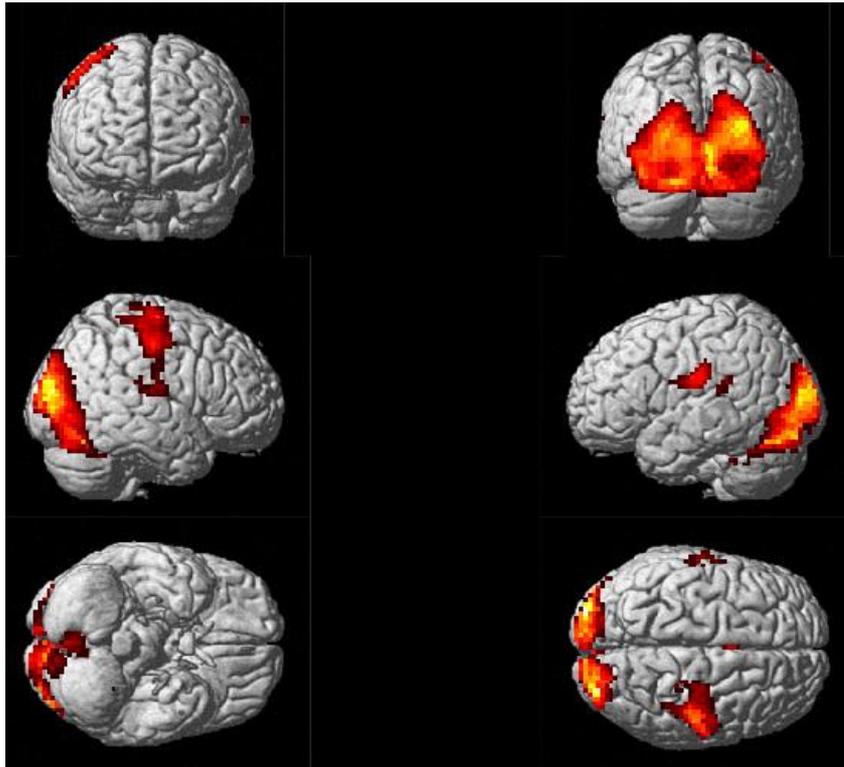
Legende: Oberflächenprojektion des Kontrastes in neurologischer Konvention

Abbildung 8: Haupteffekt Verben



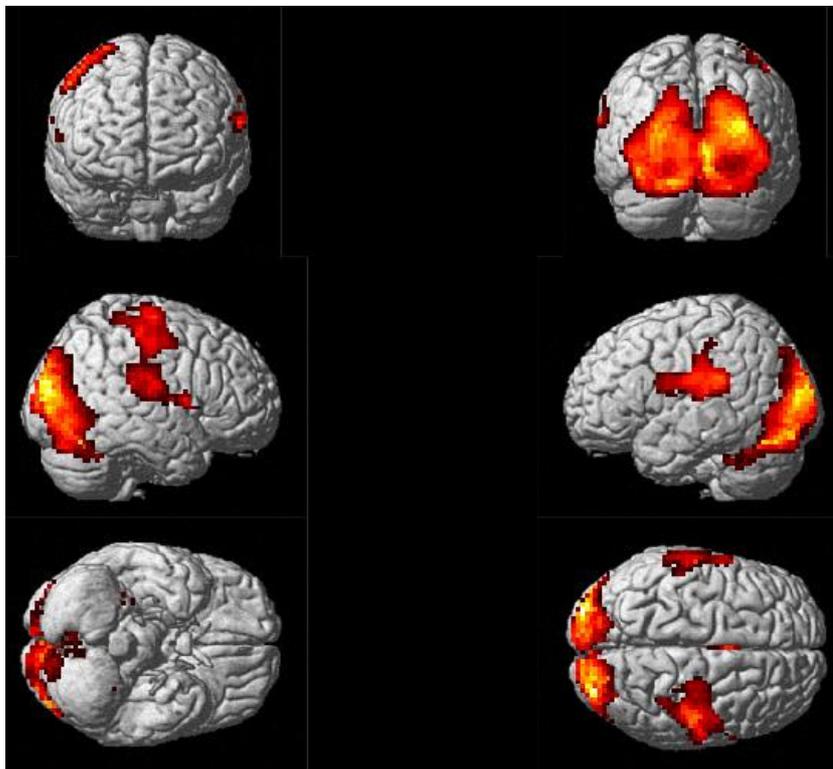
Legende: Oberflächenprojektion des Kontrastes in neurologischer Konvention

Abbildung 9: Haupteffekt gescrambelte Nomen



Legende: Oberflächenprojektion des Kontrastes in neurologischer Konvention

Abbildung 10: Haupteffekt gescrambelte Verben



Legende: Oberflächenprojektion des Kontrastes in neurologischer Konvention

8.9.4.2 Effekte der Wortart und Subkategorie

Experimentelle Bedingungen versus Kontrollbedingungen und vice versa. Die Kontraste Nomen- und Verbabbildungen relativ zu gescrambelten Bildern (siehe Tabelle 41) führten zu einem bilateralen, aber linkshemisphärisch dominanten Aktivierungsmuster mit maximalen Ausprägungen im Bereich des inferioren Frontallappens und in der medial gelegenen Frontalregion. Dabei zeigten sich Aktivierungen im G. frontalis inferior ausgedehnt über die Brodmann Areale 44, 45 und 47 und im G. frontalis dorsalis (BA 6). In beiden Hemisphären konnten weiterhin ausgeprägte Aktivierungen beobachtet werden, die sich vom inferioren Anteil des Temporallappens über die temporo-okzipitale Schnittstelle bis in den inferioren Parietallappen erstreckten. Involviert waren vor allem der laterale Anteil des G. fusiformis (BA 37), der G. temporalis inferior bis mesial (BA 37/19), der G. okzipitalis medius (BA 18/19) und inferiore Parietalgebiete um das BA 40 (siehe Abbildung 11). Der entgegengesetzte Kontrast führte ebenfalls zu bilateralen Aktivierungen, die jedoch rechtshemisphärisch betont erschienen (siehe Tabelle 42). Aktivierungen im Bereich des G. temporalis medius, inferior und superior (BA 20, 21, 22) standen dabei im Vordergrund. Darüber hinaus konnten signifikante Voxel im G. frontalis dorsalis (BA 10), im Präcuneus (BA 7), im G. angularis und supramarginalis (BA 39/40) und im linken Cerebellum festgestellt werden.

Nomen relativ zu gescrambelten Nomen (siehe Tabelle 43) riefen linkshemisphärische Aktivierungen im Bereich des linken inferioren und medialen Frontallappens hervor. Ferner wurden ausgeprägte bilaterale Aktivierungen vom inferioren Temporallappen über die temporo-okzipitale Schnittstelle, Anteile des unteren und mittleren Okzipitallappens bis in inferior parietale Regionen beobachtet. Lokale Maxima zeigten sich im linken G. frontalis inferior (BA 44, 46, 47) und präcentralis (BA 4) sowie im bilateralen G. frontalis dorsalis (BA 6). Ferner traten signifikante Voxel bilateral im lateralen Anteil des G. fusiformis (BA 37), G. okzipitalis medius und inferior (BA 18, 19) und an der Schnittstelle des G. temporalis inferior zum G. okzipitalis inferior (BA 19/39) auf (siehe Abbildung 12).

Ein ähnliches Muster ergab sich für Verbbilder versus gescrambelte Verben (siehe Tabelle 44), wobei hier die Aktivierungen deutlich stärker ausgeprägt waren. Aktivierungsschwerpunkte zeigten sich im Bereich des inferioren Frontallappens und in der medial gelegenen Frontalregion, namentlich in den Brodmann Arealen 44, 45 und BA 6. In beiden Hemisphären konnten weiterhin eine ausgeprägte Aktivierungsregion ausgehend vom inferioren Anteil des Temporallappens über die temporo-okzipitale Schnittstelle bis in den inferioren Parietallappen beobachtet werden. Lokale Maxima traten bilateral im G. fusiformis, im G. temporalis inferior, im G. okzipitalis inferior und medius, im rechtsseitigen G. orbitalis sowie im G. parietalis inferior links und superior rechts auf (siehe Abbildung 13).

Um auszuschließen, dass Aktivierungsunterschiede zwischen den experimentellen Bedingungen auf Unterschiede in der Reaktionszeit zurückzuführen sind, wurde eine zusätzliche Analyse mit der SPM Option „time derivative“ durchgeführt. Diese Analyse führte im Wesentlichen nicht zu veränderten Ergebnissen und wird daher im Folgenden unberücksichtigt gelassen.

Tabelle 41: Experimentelle Bedingungen versus Kontrollbedingungen

Anatomische Region	BA	k	t	Z	p korr	MNI Koordinaten		
						x	y	z
L G. frontalis inferior	44	801	9,49	7,17	0,000	-45	9	27
L G. frontalis inferior	45		8,41	6,63	0,000	-45	27	6
L G. frontalis inferior	47		7,46	6,11	0,000	-33	24	-3
L G. frontalis dorsalis	6	236	8,86	6,86	0,000	-3	12	54
R G. frontalis inferior	47	37	6,73	5,67	0,000	36	24	-6
R G. frontalis inferior	44	40	6,37	5,44	0,001	54	9	33
R G. frontalis inferior	44		6,36	5,43	0,002	42	9	27
L G. temporalis inferior/G. okzipitalis	37/19	1778	17,55	Inf	0,000	-45	-75	0
L G. fusiformis	37		11,14	Inf	0,000	-39	-45	-24
L L. parietalis inferior	40/19		9,01	6,94	0,000	-24	-72	36
R G. okzipitalis medius	19	1572	16,12	Inf	0,000	48	-72	-3
R G. fusiformis	37		13,32	Inf	0,000	42	-48	-24
R G. okzipitalis medius	18/19		9,15	7,01	0,000	30	-87	21

Legende (für diese und alle nachfolgenden Tabellen): R = rechtshemisphärisch, L = linkshemisphärisch, G = Gyrus, Inf = gegen unendlich, BA = Brodmann Areal, k = räumliche Ausdehnung in Voxeln, t = T-Wert, Z = Z-Wert, MNI Koordinaten = dreidimensionale Koordinaten nach dem Montreal Neurological Institut, p korr = korrigierter p-Wert nach Bonferoni

Tabelle 42: Kontrollbedingungen versus experimentelle Bedingungen

Anatomische Region	BA	k	t	Z	p korr	MNI Koordinaten		
						x	y	z
R/L G. frontalis dorsalis	10	52	5,92	5,14	0,006	0	60	-3
R G. temporalis medius	21	301	7,23	5,97	0,000	60	-6	-6
R G. temporalis medius/inferior	21		6,89	5,77	0,000	63	-15	-24
R G. temporalis inferior	20/21		6,43	5,48	0,001	60	-3	-27
R/L Präcuneus	7	108	7,07	5,88	0,000	-6	-54	30
L G. temporalis superior	22	103	6,86	5,75	0,000	-39	-30	6
L G. temporalis superior	22		5,78	5,04	0,010	-57	-18	3
L G. supramarginalis/angularis	39/40	30	6,06	5,23	0,004	-54	-63	30
L cerebellum		19	6,01	5,20	0,005	-18	-87	-42

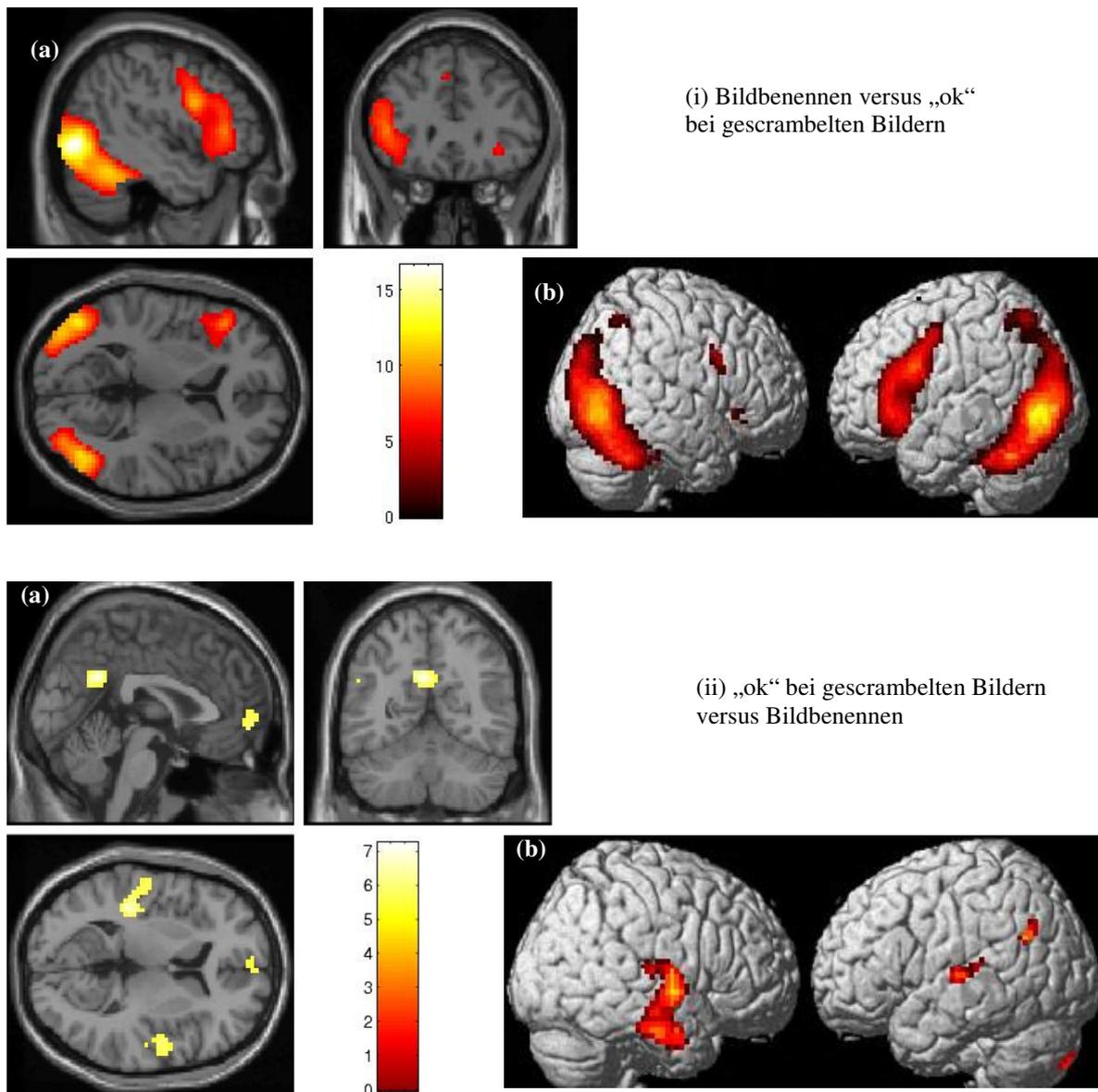
Tabelle 43: Nomen versus gescrambelte Nomen

Anatomische Region	BA	k	t	Z	p korr	MNI Koordinaten		
						x	y	z
L G. frontalis inferior	44	81	6,83	5,73	0,000	-51	12	27
L G. frontalis inferior	46	24	6,16	5,30	0,003	-51	30	24
L G. frontalis inferior	47	63	5,97	5,17	0,005	-42	24	0
L G. frontalis inferior	47		5,87	5,10	0,007	-33	21	0
R/L G. frontalis dorsalis	6	17	5,91	5,14	0,006	0	9	54
L G. Präcentralis	4	17	6,44	5,49	0,001	-51	-6	48
R G. temporalis inferior/okzipitalis inferior	19/37	1044	12,16	Inf	0,000	48	-72	-6
R G. Fusiformis	37		9,57	7,21	0,000	42	-51	-24
R G. Fusiformis	37		9,13	6,99	0,000	42	-39	-24
L G. okzipitalis medius/inferior	19/18	1114	11,79	Inf	0,000	-45	-75	-3
L G. okzipitalis medius	18		8,88	6,87	0,000	-30	-93	6
L G. fusiformis	37		8,68	6,77	0,000	-36	-45	-27

Tabelle 44: Verben versus gescrambelte Verben

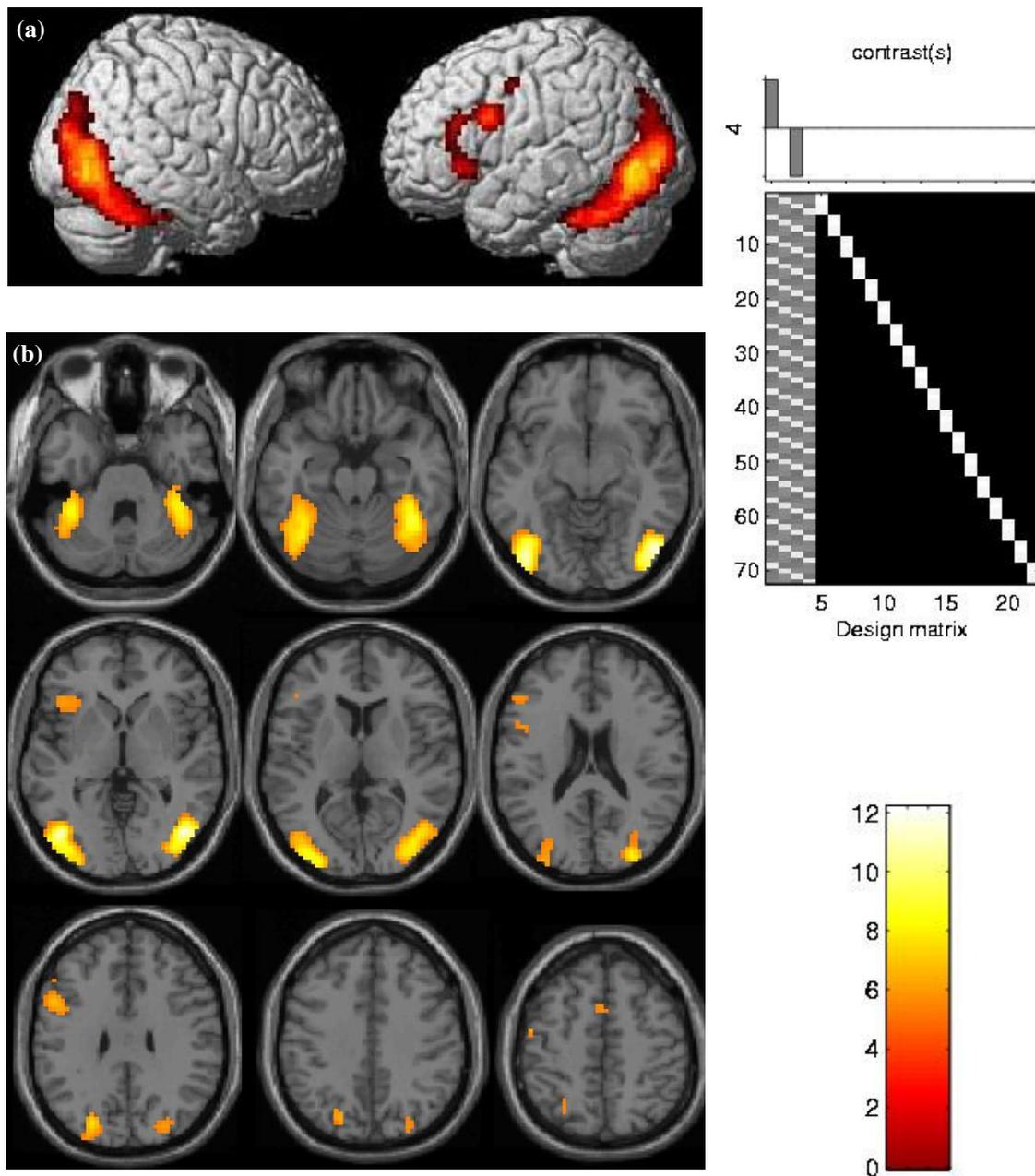
Anatomische Region	BA	k	t	Z	p korr	MNI Koordinaten		
						x	y	z
L G. frontalis inferior	44	689	8,78	6,82	0,000	-45	9	27
L G. frontalis inferior	45		8,33	6,59	0,000	-48	30	6
L G. frontalis inferior	44		7,57	6,17	0,000	-51	15	15
R/L G. frontalis dorsalis	6	208	8,48	6,67	0,000	-3	12	54
L G. temporalis inferior/okzipitalis inferior	37/19	1461	16,81	Inf	0,000	-45	-75	0
L G. Fusiformis	37/20		10,30	7,54	0,000	-42	-48	-21
L G. parietalis inferior	40/19		8,36	6,60	0,000	-24	-69	39
R G. okzipitalis medius	19	1166	14,05	Inf	0,000	48	-72	-3
R G. Fusiformis	37		12,05	Inf	0,000	42	-48	-24
R G. Orbitales	18/19		7,74	6,26	0,000	36	-84	3
R G. parietalis superior	7	38	6,38	5,44	0,001	30	-57	51

Abbildung 11: Experimentelle Bedingungen versus Kontrollbedingungen und vice versa



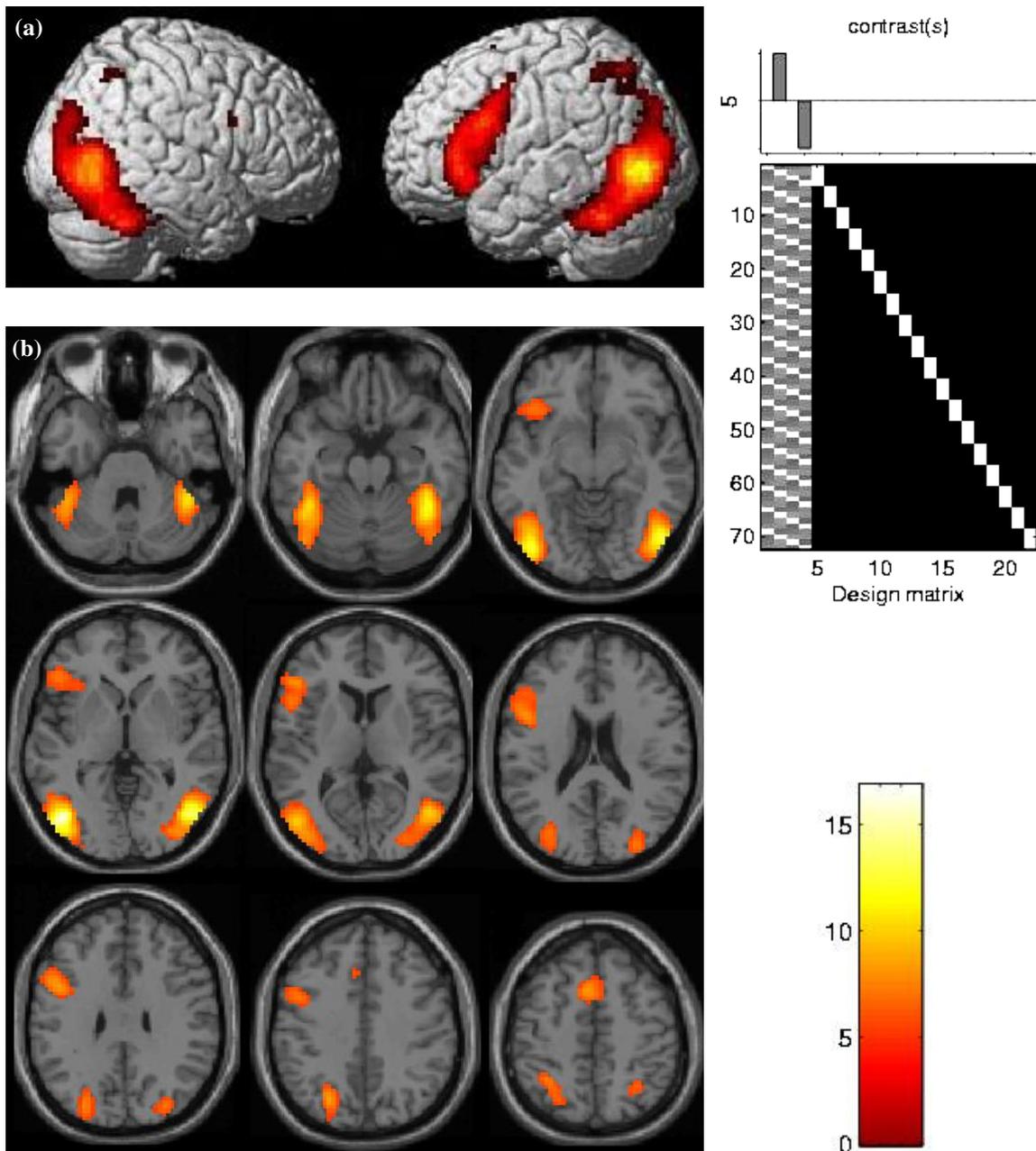
Legende: (a) Schichtansichten und (b) Oberflächenprojektion des Kontrastes in neurologischer Konvention; Farbskala mit t-Werten für signifikante Voxel

Abbildung 12: Nomen versus gescrambelte Nomen



Legende: (a) Oberflächenprojektion und (b) horizontale Schichten des Kontrastes in neurologischer Konvention; Design Matrix aus SPM2 für eine ANOVA „within subjects“ mit vier Bedingungen über 18 Personen; Farbskala mit t-Werten für signifikante Voxel

Abbildung 13: Verben versus gescrambelte Verben



Legende: (a) Oberflächenprojektion und (b) horizontale Schichten des Kontrastes in neurologischer Konvention; Design Matrix aus SPM2 für eine ANOVA „within subjects“ mit vier Bedingungen über 18 Personen; Farbskala mit t-Werten für signifikante Voxel

Grammatische Kategorien und Subkategorien im direkten Vergleich. Ein Vergleich der Bedingungen Nomen versus Verben führte nicht zu signifikanten Effekten, dagegen verursachte der entgegengesetzte Vergleich stärkere Aktivierungen im linksfrontalen und bilateral temporo-okzipitalen Bereich. Lokale Maxima zeigten sich im G. frontalis inferior links (BA 44, 45), im bilateralen G. temporalis inferior und medius sowie im G. orbitalis links (siehe Tabelle 45 und Abbildung 14).

Tabelle 45: Verben versus Nomen

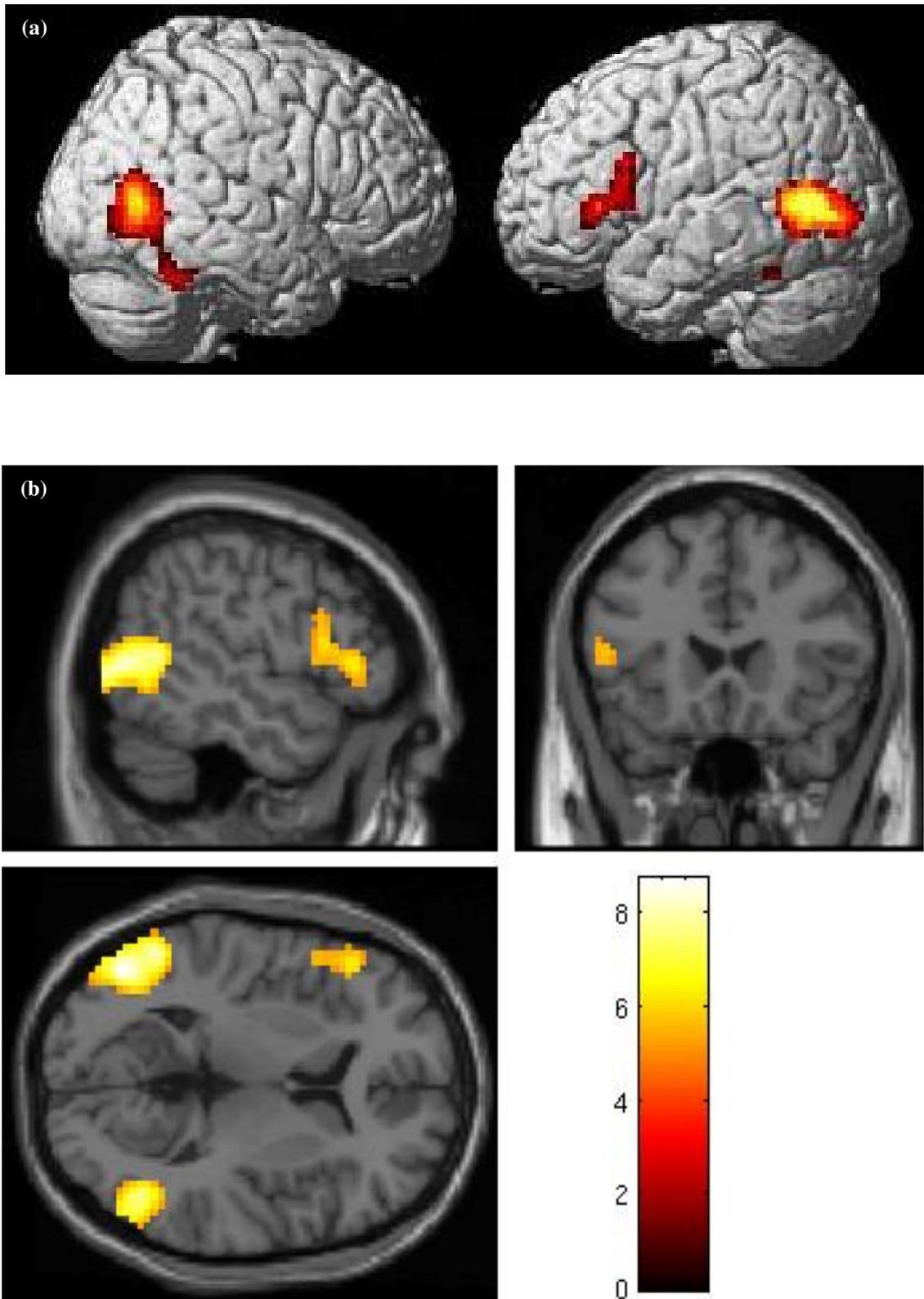
Anatomische Region	BA	k	t	Z	p korr	MNI Koordinaten		
						x	y	z
L G. frontalis inferior	44/45	91	6,26	5,37	0,002	-51	15	12
L G. frontalis inferior	45		6,21	5,33	0,003	-51	30	3
L G. temporalis inferior/ G. orbitales	37/19	359	9,29	7,07	0,000	-45	-75	0
L G. temporalis medius/inferior	21/37		8,20	6,52	0,000	-54	-57	6
R G. temporalis medius/inferior	37/21	296	8,06	6,44	0,000	48	-63	6
R G. temporalis inferior	37		7,94	6,38	0,000	51	-69	0
R G. Fusiformis	37		6,47	5,50	0,001	45	-45	-24
L G. parietalis inferior	40/19	24	5,94	5,16	0,002	-18	-63	39

Ein weiterer Vergleich zwischen den Subkategorien der Nomen- und Verbbedingung erbrachte keine signifikanten Effekte. Aufgrund der geringen Itemzahl sind die Ergebnisse eines solchen Vergleiches nur eingeschränkt interpretierbar und müssten in einem weiteren Experiment überprüft werden.

8.9.4.3 Effekte der Wortart bei Berücksichtigung nicht-gematchter Parameter

Die zusätzliche Berücksichtigung der Parameter Vorstellbarkeit und Wortlänge führte zu unveränderten Effekten bei den Kontrasten Nomen versus gescrambelte Nomen, Verben versus gescrambelte Verben und Nomen versus Verben. Deutliche Veränderungen zeigten sich hingegen für den Kontrast Verben versus Nomen. Bei der definierten statistischen Schwelle von $p < 0,05$ (korrigiert für multiple Vergleiche) und einer räumlichen Ausdehnung von $k = 10$ Voxeln verschwanden alle signifikanten Voxel im Bereich des linken G. frontalis inferior sowie im rechtshemisphärischen G. fusiformis. Es blieben lediglich bilaterale Aktivierungen im G. temporales inferior sowie medius bestehen, die jedoch hinsichtlich ihrer Clustergröße sowie der t- und Z-Werte deutlich reduziert waren (siehe Tabelle 46). Wurde die Schwelle der räumlichen Ausdehnung auf $k = 0$ herabgesetzt, erwiesen sich insgesamt 16 Voxel im Bereich des linken G. frontalis inferior auf der gegebenen statistischen Schwelle als signifikant. Das ergibt eine Differenz von 75 Voxeln im Vergleich mit der Analyse ohne Vorstellbarkeit und Wortlänge (siehe Abbildung 15).

Abbildung 14: Verben versus Nomen



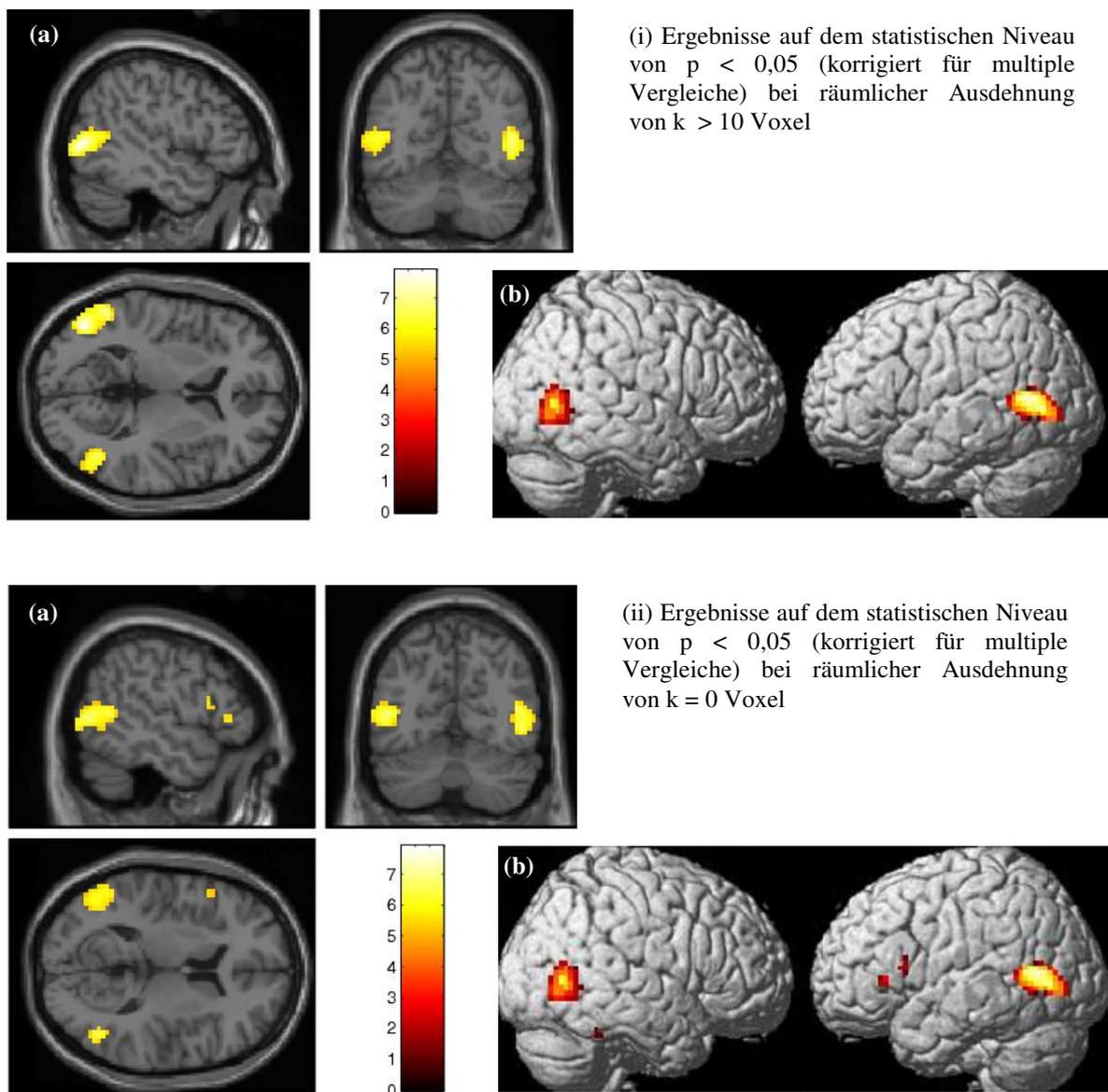
Legende: (a) Oberflächenprojektion und (b) Schichtansichten des Kontrastes in neurologischer Konvention; Farbskala mit t-Werten für signifikante Voxel

Tabelle 46: Verben versus Nomen bei von Vorstellbarkeit und Phonemanzahl

Anatomische Region	BA	k	t	Z	p korr	MNI Koordinaten		
						x	y	z
L G. temporalis inferior/ G. orbitalis	37/19	228	7,90	6,36	0,000	-45	-72	3
L G temporalis medius/inferior	21/37		6,98	5,82	0,000	-54	-54	6
R G temporalis medius/inferior	37/21	141	6,65	5,62	0,000	48	-63	9
R G temporalis inferior	37		6,58	5,57	0,000	48	-69	-3
<i>L G. frontalis inferior</i>	45	8	5,59	4,91	0,000	-51	30	3
<i>L G. frontalis inferior</i>	44/45	8	5,50	4,85	0,000	-51	15	15
<i>R G. fusiformis</i>	37	4	5,48	4,83	0,000	45	-42	-24

Legende: kursiv = räumliche Ausdehnung in Voxeln unter der definierten statistischen Schwelle von k = 10

Abbildung 15: Verben versus Nomen bei Kontrolle von Vorstellbarkeit und Phonemanzahl



Legende: (a) Schichtansichten und (b) Oberflächenprojektion des Kontrastes in neurologischer Konvention; Farbskala mit t-Werten für signifikante Voxel

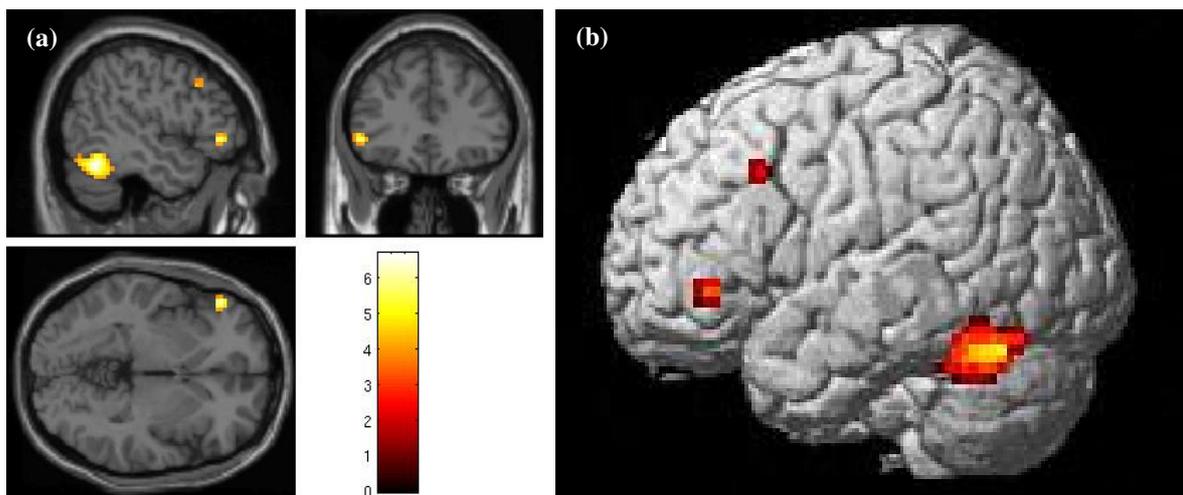
8.9.4.4 Effekte des Erwerbsalters

Die Analyse der Erwerbsaltereffekte ergab nur dann signifikante Ergebnisse, wenn Nomen und Verben gemeinsam betrachtet wurden. Mit einem t-Test wurde dabei die Hypothese geprüft, ob sich die Aktivierungen signifikant von Null unterscheiden. Separate Analysen von Nomen und Verben werden nicht berichtet. Effekte für das späte Erwerbsalter zeigten sich in zwei vorab definierten „regions of interest“. Dazu gehörte der linkshemisphärische G. fusiformis als Teil vom basal temporalen Sprachareal (BTLA) und der linkshemisphärische G. frontalis inferior als Teil vom linken inferioren präfrontalen Kortex (LIPC) (siehe Tabelle 47 und Abbildung 16).

Tabelle 47: Effekte für spätes Erwerbsalter

Anatomische Region	BA	k	t	Z	p korr	MNI Koordinaten		
						x	y	z
L G. fusiformis	37	162	6,70	4,63	0,008	-48	-57	-21
L G. frontalis inferior	47	23	6,19	4,42	0,037	-51	36	-3

Abbildung 16: Effekte für spätes Erwerbsalter



Legende: (a) Schichtansichten und (b) Oberflächenprojektion des Kontrastes in neurologischer Konvention; Farbskala mit t-Werten für signifikante Voxel

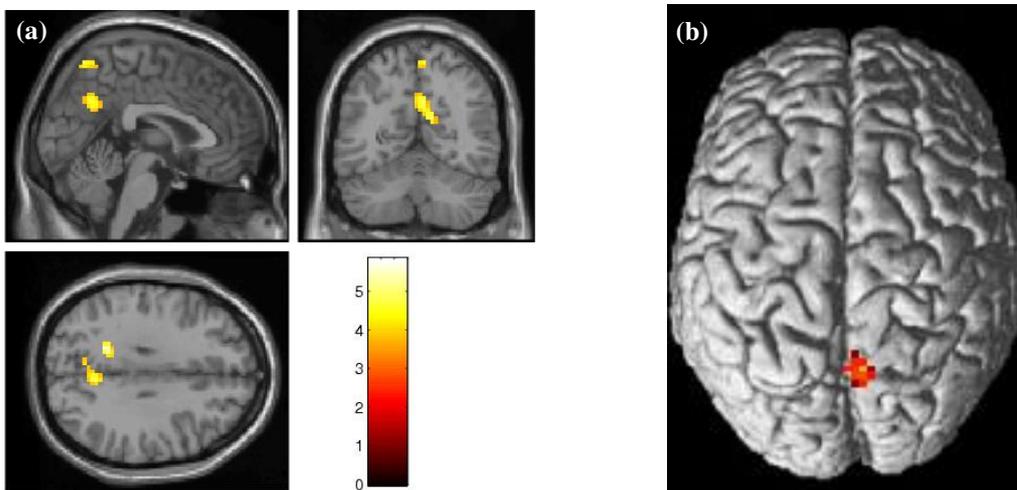
Effekte des frühen Erwerbsalters traten in keiner vorab definierten Region von Interesse auf (siehe Tabelle 48 und Abbildung 17). Insgesamt lagen die Aktivierungen weit über der gegebenen statistischen Schwelle, d.h. kein Voxel erfüllte das Signifikanzkriterium von $p < 0,05$ (korrigiert für multiple Vergleiche). Im Bereich des bilateralen Präcuneus und subkortikal gelegener Strukturen im Temporallappen der rechten Hemisphäre wurden Aktivierungen mit unkorrigierten p-Werten ($p < 0,001$) nachgewiesen.

Tabelle 48: Effekte für frühes Erwerbsalter

Anatomische Region	BA	k	t	Z	p korr	MNI Koordinaten		
						x	y	z
L Präcuneus	31	37	5,84	4,27	0,347	-18	-51	30
R Präcuneus	31	71	4,92	3,82	0,823	12	-60	21
R Präcuneus	31		4,88	3,81	0,838	6	-57	30
L Präcuneus	31		3,97	3,29	0,999	-6	-66	30
R Präcuneus	7	22	4,67	3,70	0,918	6	-66	63
R subkortikal/Temporallappen		34	4,49	3,60	0,963	36	-42	12
R subkortikal/Temporallappen			4,29	3,48	0,988	33	-51	6

Legende: Ergebnisse nicht signifikant auf korrigiertem statistischen Niveau, aber $p < 0,001$ unkorrigiert

Abbildung 17: Effekte für frühes Erwerbsalter



Legende: (a) Schichtansichten und (b) Oberflächenprojektion des Kontrastes in neurologischer Konvention; Farbskala mit t-Werten für signifikante Voxel

8.10 Diskussion

8.10.1 Verhaltensdaten

Die Auswertung der Reaktionszeitdaten der fMRT-Studie führte zu zwei wesentlichen Ergebnissen. Erstens wurde ein klarer Wortkategorieeffekt zugunsten von Nomen demonstriert. Damit kann die Hypothese III dieser Untersuchung angenommen werden. Über Probanden und Items zeigte sich ferner ein Subkategorieeffekt, der jedoch nur bei kross-kategoriellen Paarvergleichen ein signifikantes Niveau erreichte. Belebte Nomen unterschieden sich in den Reaktionszeiten nicht von unbelebten Nomen, dies bestätigt die Hypothese IIIa. Der Reaktionszeitunterschied von transitiven und intransitiven Verben hingegen erwies sich trotz deutlicher Reaktionszeitdifferenz als nicht signifikant. Aus diesem Grund muss die Hypothese IIIb zurückgewiesen werden.

Wiederholt zeigte sich bei einem kross-kategoriellen Vergleich eine Dissoziationen zwischen Vorstellbarkeit und Reaktionszeit. Unbelebte Nomen und intransitive Verben, die sich in der Vorstellbarkeit nicht unterschieden, differierten in der Analyse über Probanden höchstsignifikant im Hinblick auf die Reaktionszeiten.

Bei statistischer Kontrolle von Vorstellbarkeit und Phonemanzahl blieb der Wortkategorieeffekt bestehen, solange die Parameter separat in das statistische Modell eingesetzt wurden. Bei gemeinsamer Eingabe der Parameter verschwand der Effekt. Hinsichtlich der Subkategorien führte sowohl die separate Berücksichtigung der Vorstellbarkeit als auch die gemeinsame Berücksichtigung von Vorstellbarkeit und Phonemanzahl zum Ausbleiben eines signifikanten Effektes. Wurde der Parameter Phonemanzahl separat in das statistische Modell eingegeben, blieb der Subkategorieeffekt bestehen.

Das zweite bedeutsame Ergebnis bezieht sich auf den Einfluss der Stimulusparameter auf die Reaktionszeiten. Innerhalb der gematchten Parameter korrelierten das Erwerbsalter und die Frequenz mit der Reaktionszeit bei Nomen, die Benennübereinstimmung und die visuelle Komplexität hingegen mit der Reaktionszeit bei Verben. Die Vorstellbarkeit, die über Kategorien und Subkategorien nicht matchbar war, korrelierte gleichermaßen mit der Reaktionszeit beider Kategorien. Das Erwerbsalter beeinflusste die Reaktionszeiten bei Nomen am stärksten gefolgt von der Frequenz. In der Verbbedingung erklärte die Benennübereinstimmung als einzig signifikanter Prädiktor die Varianz in den Reaktionszeiten. Damit wird die Hypothese IV dieser Untersuchung angenommen.

Die Verhaltensdaten der fMRT Untersuchung wurden größtenteils durch die Ergebnisse der Kontrollstudie zur Benennlatenz bestätigt, daher wird zur Diskussion der wesentlichen Befunde auf den Abschnitt 7.8 verwiesen. Nachfolgend sollen nur die Differenzen zwischen den Studien aufgegriffen und diskutiert werden. Die Studien, die in Kapitel sieben und acht beschrieben wurden unterschieden sich in zwei methodischen Aspekten, einerseits in der Aufgabe (lautes mündliches

Benennen versus stilles Benennen mit Knopfdruck) und andererseits in der Stimuluspräsentation (Studie 1: Stimuluspräsentation bis Benennung erfolgt bzw. maximal 3000 ms; Studie 2: Stimuluspräsentation für 800 ms). Ein erster Unterschied zur Studie 1 bestand darin, dass das stille Benennen in Studie 2 zu signifikant kürzeren Reaktionszeiten führte und die Reaktionszeiten in den Kategorien weniger stark differierten. Als Ursache für den Reaktionszeitunterschied kann angenommen werden, dass beim lauten Benennen neben dem phonologischen Abruf auch Sprechplanungs- und Umsetzungsprozesse erfolgen müssen. Darüber hinaus könnte auch die längere Präsentationszeit der Stimuli zur Reaktionszeitdifferenz beigetragen haben. Die Teilnehmer hatten in der ersten Studie mehr Zeit um zu prüfen, ob ein präsentiertes Item tatsächlich zur favorisierten Benennung passt.

Ein weiterer wesentlicher Unterschied zwischen Kontroll- und fMRT-Studie zeigte sich darin, dass weder über die Probanden, noch über die Items ein signifikanter Reaktionszeitunterschied zwischen den Subkategorien der Verben gefunden wurde. Bereits in der Studie zur Benennlatenz wurde ein signifikanter Unterschied zwischen transitiven und intransitiven Verben nur in der Analyse über die Probanden nachgewiesen. Beide Untersuchungen stimmen darin überein, dass ein deutlicher Reaktionszeitvorteil für intransitive Verben konsistent vorhanden ist, wenn auch nicht immer signifikant. Erreicht trotz großer Differenzen im Mittelwert der statistische Vergleich zwischen den Subkategorien kein signifikantes Niveau, ist der Reaktionszeitunterschied zwischen den Gruppen (in Abhängigkeit von der Analyse über Teilnehmer oder Items) möglicherweise nicht systematisch genug oder die Gruppen enthalten zu viel unterschiedliche Varianz. Ein Hinweis darauf könnte sein, dass die Standardabweichung für transitive Verben über alle Analysen stets höher lag als für intransitiven Verben. Alternativ könnte auch die längere Präsentationszeit in Studie 1 zu einer Art Lupeneffekt geführt haben, d.h. kleine Effekte beim stillen Benennen treten beim lauten Benennen deutlicher zu Tage. Ein weiterer möglicher Grund für das Ausbleiben des signifikanten Effektes zu Gunsten der transitiven Verben könnte die geringere Anzahl der Versuchspersonen im fMRT-Experiment sein. Um eine zuverlässigere Auskunft darüber zu bekommen, ob der Subkategorieeffekt für Verben beim stillen Benennen signifikant ist oder nicht, sollte die Untersuchung mit einer größeren Personengruppe wiederholt werden.

Im Unterschied zur Studie 1 ergaben die Verhaltensdaten der fMRT-Untersuchung, dass bei statistischer Kontrolle der Phonemanzahl sowohl der Wort- als auch der Subkategorieeffekt erhalten blieben. Die Anzahl der Phoneme eines Items spielte demnach nur dann eine Rolle, wenn das Item tatsächlich laut gesprochen werden musste. Dieser Effekt kann modelltheoretisch gut erklärt werden (bspw. mit dem Logogenmodell siehe Abschnitt 2.1.1). Während zum stillen Abruf eines Wortes der Zugriff auf die Pictogenkomponente, die Semantik und das phonologische Ausgangslexikon nötig ist, erfordert die verbale Produktion zusätzlich die phonologische

Speicherung im Buffer, die artikulatorische Planung sowie die Bewegungsprogrammierung und –ausführung. Diese zusätzlichen Prozesse verursachen einen höheren zeitlichen Aufwand, der sich von den Reaktionszeitdaten reflektiert wird.

Auch der Einfluss der Vorstellbarkeit auf die Reaktionszeiten variierte zwischen den Studien. Die Befunde zum stillen Benennen ergaben im Gegensatz zu Studie 1, dass bei separater Berücksichtigung der Vorstellbarkeit der Effekt der Wortkategorie auf signifikantem Niveau verblieb. Das bedeutet, dass der Einfluss der Vorstellbarkeit auf die Reaktionszeiten beim stillen Benennen weniger stark ausgeprägt ist als beim lauten Benennen. Da die Vorstellbarkeit ein Parameter ist, der Einfluss auf semantische Verarbeitungsprozesse hat, ist dieser Befund nicht leicht zu erklären. In beiden Experimenten ist ein semantischer Zugriff erforderlich, um die gestellte Aufgabe zu lösen. Im Experiment zur Benennlatenz ist zusätzlich die verbale Produktion eines spezifischen Wortes, mit all ihren komplexen Mechanismen, notwendig. Eine mögliche Annahme wäre also, dass die Vorstellbarkeit auch auf die Prozesse der phonologischen Speicherung, artikulatorischen Planung, Bewegungsprogrammierung und -ausführung wirkt. Diese Annahme erscheint jedoch sehr unwahrscheinlich, da bislang in der Literatur keine diesbezügliche Einflussnahme geschildert wurde. Eine alternative Erklärung ergibt sich aus der zeitlichen Organisation der Experimente, die bereits angesprochen wurde. Während die Versuchsteilnehmer in der fMRT-Studie mit einer Präsentationsdauer von nur 800 ms pro Bild konfrontiert waren, gestaltete sich die Präsentationsdauer im Experiment zur Benennlatenz in Abhängigkeit vom Benenntempo des Probanden. Der Teilnehmer hatte maximal 3000 ms Zeit, ein Bild zu betrachten. Das Bild verschwand, sobald die Person eine Benennung produziert hatte. Durchschnittlich lag die Präsentationsdauer zwischen 650 und 1450 ms pro Person bzw. Bild. Möglicherweise entwickelt die Vorstellbarkeit erst dann einen Einfluss, wenn eine bestimmte Zeit zur Verarbeitung eines Stimulusbildes zur Verfügung steht. In dieser Zeit könnte sich eine intensive Aktivierung des semantischen Netzwerkes vollziehen, die dem Probanden zu einer korrekten Lösung der gestellten Aufgabe verhilft. Beim stillen Benennen sehr kurz präsentierter Stimuli könnte die Aktivierung des semantischen Systems dagegen weniger stark ausgeprägt sein und somit weniger zum Reaktionszeitunterschied zwischen Nomen und Verben beitragen. Die genaue Ursache dieses Effekts ist aus den vorliegenden Daten jedoch nicht zu klären. In weiteren Studien zum stillen Benennen müsste dieser Effekt zunächst repliziert und anschließend systematisch untersucht werden.

Insgesamt sprechen auch die Verhaltensdaten der fMRT-Studie dafür, dass Unterschiede in den Reaktionszeiten beim Benennen von Handlungen und Objekten auf semantische und grammatische Differenzen der Wortkategorien Nomen und Verb zurückzuführen sind, wobei auch morphologische, konzeptuelle und spezifische Anforderungen des Bildbenennens einen nicht zu

unterschätzenden Einfluss ausüben können. Die wiederholte Feststellung, dass das Benennen von Objekten und Handlungen von differierenden Merkmalsbündeln (Stimulusparametern) beeinflusst wird, weist auf unterschiedliche kognitive Anforderungen beim Benennen von Objekten und Handlungen hin.

8.10.2 Bildgebende Daten

Die neuronale Aktivierung für das Benennen von Objekt- und Handlungsbildern erfasste verglichen mit der Kontrollbedingung alle Hirnlappen. In den folgenden Abschnitten soll analysiert und diskutiert werden, welche Funktionen den betreffenden Kortexarealen im Bezug auf das Bildbenennen zugeordnet werden können. Die spezifischen Effekte der Wortkategorie und des Erwerbsalters sollen anschließend gesondert diskutiert und interpretiert werden.

8.10.2.1 Frontaler Kortex

Aktivierungen im Bereich des *linken inferioren frontalen Kortex (LIPC)* wurden in verschiedenen Kontrasten dieser Untersuchung beobachtet (experimentelle Bedingungen versus Kontrollbedingungen, Nomen versus gescrambelte Nomen, Verben versus gescrambelte Verben, Verben versus Nomen, spätes Erwerbsalter und in allen Haupteffekten). Für das Benennen von Objekt und/oder Handlungsbildern wurden Aktivierungen in dieser Region u.a. von Damasio et al. (2001, PET) und Tranel et al. (2005, PET) berichtet. Konkordante Ergebnisse finden sich auch in Studien zur Nomen- bzw. Verbgenerierung (u.a. Warburton et al. 1996).

Aktivierungen in diese Region wurden in der Vergangenheit mit unterschiedlichen linguistischen und kognitiven Prozessen assoziiert. Verschiedene Hypothesen wurden postuliert, um die Funktion des LIPC bei der Sprachverarbeitung zu erklären (vgl. Postler et al. 2003). Die Erklärungen variieren von nicht-linguistischen Ansätzen, wie „willed action“ (Frith et al. 1991) oder „short term memory in subvocal rehearsal“ (u.a. Paulesu 1993), Vorstellung von Bewegungen (Binkofsky et al. 2000) über spezifische linguistische Funktionen, wie phonologische (u.a. Fiez 1997; Price et al. 1997), semantische (u.a. Kapur et al. 1994; Gabrieli et al. 1996, 1998; Poldrack et al. 1999; Wagner et al. 1999) oder syntaktische Funktionen (u.a. Grodzinsky 2000; Indefrey et al. 2001 a, b; Ben-Shachar et al. 2003, 2004; Haller et al. 2005). Eine eher unspezifische linguistische Funktion des LIPC schlagen auch Fiebach et al. (2003) vor. Ihrer Meinung nach reflektieren LIPC Aktivierungen Mechanismen zur Unterstützung der bottom-up Prozesse in der Wortidentifikation, wenn die Worterkennung nicht problemlos möglich ist.

Während Kapur (1994) Evidenz gegen die Hypothese der willentlichen Handlung zu Gunsten der semantischen Verarbeitung präsentierte, prüften Demb et al. (1995) systematisch die Möglichkeit, dass frontal inferiore Aktivierung während der semantischen Verarbeitung mit der Schwierigkeit einer Aufgabe relationiert ist. Die Autoren verglichen semantische Entscheidungsaufgaben

(abstrakt/konkret Klassifikation) mit einer einfachen (Klassifikation von Groß- und Kleinbuchstaben) und einer schwierigen nicht-semantischen Entscheidungsaufgabe (Entscheidung über Buchstaben, die alphabetisch an- bzw. absteigend sind). Ansteigende Aktivierung im LIPC wurde beobachtet während der semantischen Klassifikation relativ zu beiden nicht-semantischen Klassifikationsaufgaben unabhängig vom Grad der Schwierigkeit. Die Autoren demonstrierten mit diesem Ergebnis, dass die Aktivierung im LIPC mit semantischer Verarbeitung und nicht mit der Schwierigkeit der Aufgabe per se assoziiert ist. Mit den gleichen semantischen Klassifikationsaufgaben untersuchten die Autoren ferner den Effekt des „repetition priming“. Sie konnten zeigen, dass die Wiederholung der semantischen Aufgabe zu einem Rückgang der Aktivierung im LIPC führte. Ähnliche Beobachtungen wurden auch von Raichle et al. (1994, vgl. Wagner et al. 1997) geschildert. Demb et al. (1995) schlussfolgerten, dass der LIPC ein Teil des semantischen Exekutivsystems ist. Dieses System beinhaltet Mechanismen für den Abruf, die Selektion und die Evaluation von semantischen Repräsentationen (vgl. Poldrack 1999). Demb et al. (1995) zufolge unterstützt der LIPC den on-line Abruf von semantischen Informationen. Im Kontrast dazu ordnete Thompson-Schill et al. (1997) dieser Region eine Selektionsfunktion zwischen Alternativen zu. Gabrieli et al. (1998) hingegen vermutete hier eine Funktion des semantischen Arbeitsgedächtnisses, die aktiv wird, wenn semantische Informationen vorübergehend gehalten werden müssen und die sensitiv ist für die Dauer, Menge etc. des zu verarbeitenden semantischen Materials, unabhängig von der Modalität des Inputs.

Obwohl Evidenz für die These der semantischen Verarbeitung besteht, sind die meisten Autoren der Ansicht, dass die Funktion des LIPC weder in der Repräsentation von semantischer Information besteht noch in der exekutiven Kontrolle für den semantischen Abruf oder die semantische Auswahl. Stattdessen wird die These von der Manipulation semantischer Repräsentationen favorisiert (Kapur et al. 1994). Diese Interpretation ist eher kongruent mit vorhandenen Läsionsdaten, da in der Regel keine semantischen Störungen beobachtet werden können, wenn der LIPC beschädigt ist. Diese Annahme wird ferner unterstützt durch Beobachtungen von Price (1998), die über einen Patienten mit extensiver Läsion im linken Frontallappen berichtete, der in der Lage war, Urteile über die semantische Ähnlichkeit von Items abzugeben. Im PET Scan zeigten sich Aktivierungen im Gebiet des linken inferioren Temporallappens und posterioren Parietallappens sowohl beim Patienten als auch bei einer Gruppe von 12 Kontrollpersonen. Obwohl bei den Kontrollpersonen auch Aktivierungen im Gebiet des LIPC nachgewiesen wurden, fanden sich keine Hinweise auf rechts- oder linkshemisphärische frontale Aktivierung beim Patienten. Da der Patient dennoch die semantische Aufgabe lösen konnte, schlussfolgerten die Autoren, dass eine Beteiligung des LIPC für die Abgabe semantischer Urteile nicht notwendig ist.

Poldrack et al. (1999; vgl. Buckner et al. 1995; Fiez 1997) sprachen sich für eine funktionelle Aufspaltung des LIPC aus. Sie unterschieden anteriore/ventrale und posteriore/dorsale Anteile der

Region, wobei sie annahm, dass semantischer Abruf vor allem mit anterioren Arealen des LIPC assoziiert ist. Die Ergebnisse ihrer Studie, in der semantische, lexikalische und phonologische Verarbeitungsprozesse verglichen werden, bestätigten eine Rolle des anterioren nicht aber posterioren Anteils des LIPC für semantische Verarbeitung. Letztere schienen eher mit phonologischen Verarbeitungsprozessen assoziiert zu sein als mit semantischer Selektion.

Neuere Studien legten Evidenzen gegen die funktionelle Aufspaltung des LIPC vor. So fanden Gold & Buckner et al. (2002) für das lexikalische Entscheiden, dass sowohl anteriore als auch posteriore Anteile des LIPC in semantische *und* phonologische Verarbeitungsprozesse involviert sind (vgl. Demonet et al. 1992; Price et al. 1997; Barde & Thompson-Schill 2002), wobei in Abhängigkeit von der Aufgabe (semantisches oder phonologisches Entscheiden) teilweise dissoziierende Netzwerke beobachtet wurden. Ähnliches berichteten auch Devlin et al. (2003). Sie führten eine kombinierte fMRT/TMS Studie zum phonologischen und semantischen Entscheiden durch. Die Autoren schlussfolgerten aus den Ergebnissen der Studie, dass beide Anteile des LIPC zur semantischen und phonologischen Verarbeitung beitragen, jedoch in unterschiedlichem Ausmaß.

Aus anatomischer Sicht kann der LIPC in drei Subareale aufgliedert werden, den pars opercularis, den pars triangularis und den pars orbitalis. Diese Anteile korrespondieren in etwa mit den Brodmann Arealen 44, 45 und 47. Aufgrund der räumlichen Nähe dieser Kortexregionen ist die Zuordnung von linguistischen Funktionen mit den zur Verfügung stehenden Methoden prinzipiell als äußerst problematisch zu bewerten. Zukünftige Untersuchungen müssen klären, ob und inwiefern eine funktionelle Unterteilung des LIPC angenommen werden kann oder nicht.

Studien zur Verarbeitung komplexer Sätze ordnen dem LIPC, insbesondere dem pars opercularis (BA 44/45), eine Funktion in der Verarbeitung syntaktischer Transformationen im Verständnis (Grodzinsky 2000; Ben-Shachar et al. 2003, 2004) und bei der syntaktischen Encodierung in der Produktion (Indefrey et al. 2001 a, b; Haller et al. 2005) zu. Auch wird der LIPC mit Interaktionen von syntaktischen und semantischen Verarbeitungsprozessen (Röder et al. 2002), der Linearisierung hierarchischer linguistischer Informationen (Bornkessel et al. 2005) oder generellen kognitiven Prozessen, z.B. dem Arbeitsgedächtnis (Caplan et al. 2000; Kaan & Swaab 2002; Müller et al. 2003) beim Satzverständnis in Verbindung gebracht.

In den Daten der vorliegenden fMRT Studie zeigten sich großflächige LIPC Aktivierungen für das Benennen im Vergleich zur Kontrollaufgabe, die bei Verben stärker ausgeprägt waren als bei Nomen. Dieses Ergebnis spricht für eine linguistische (Semantik, Phonologie, Morphologie, Syntax) oder linguistisch-relevante Funktion (z.B. verbales Arbeitsgedächtnis) der Region. Die

genaue linguistische Funktion des LIPC beim Benennen ist aus den vorliegenden Daten jedoch nicht eindeutig zu klären. Entsprechend des neurofunktionellen Modells von Price (2000) sollte eine LIPC Aktivierung beim Bildbenennen für die artikulatorische Planung stehen. Aus anderen Studien ergeben sich aber Hinweise auf eine Partizipation verschiedener linguistischer Prozesse an der Aktivierung des LIPC. Die vorliegenden Daten lassen den Schluss zu, dass diese Kortexstruktur zumindest in semantische und phonologische Verarbeitungsprozesse involviert ist. Diese These ergibt sich aus der Kovarianzanalyse mit den Faktoren Vorstellbarkeit (vgl. Wise et al. 2000) und Phonemzahl. Die Aktivierungsstärke im LIPC reagiert beim Kontrast Verben versus Nomen sensitiv auf beide Faktoren. Es konnte weiterhin gezeigt werden, dass der LIPC auf Veränderungen im Erwerbsalter von Wörtern reagiert (vgl. Fiebach et al. 2003). Da sich insgesamt eine deutlich stärkere LIPC Aktivierung für Verben zeigt, muss ferner in Betracht gezogen werden, dass auch morphologische Prozesse einen Beitrag zur frontalen Aktivierung leisten (vgl. Tyler et al. 2004). Aufgrund des verwendeten Stimulusmaterials ist ebenso eine Sensitivität des LIPC für syntaktische Merkmale (z.B. Argumentstruktur) denkbar (Indefrey et al. 2001 a, b; Haller et al. 2005, vgl. Abschnitt 8.10.3 für die Diskussion der Wortkategorieeffekte).

Aktivierungen des *G. frontalis dorsalis* an der Grenze zum *anterioren Gyrus cinguli* (BA 6) und zum *supplementär motorischen Areal (SMA)* entlang des interhemisphärischen Spaltes wurden in allen Kontrasten nachgewiesen, in denen die experimentellen Bedingungen mit den Kontrollbedingungen verglichen wurden (experimentelle Bedingungen versus Kontrollbedingungen; Nomen versus gescrambelte Nomen, Verben versus gescrambelte Verben), wobei die Aktivierung bei Verben stärker ausgeprägt war. Keine Aktivierungen zeigten sich, wenn die grammatischen Kategorien direkt gegenübergestellt wurden. Dieses Ergebnis lässt auf eine sprachrelevante Funktion dieses Kortexgebietes im verwendeten Paradigma schließen.

Der *G. cinguli* ist als Bestandteil des limbischen Systems für vegetative Parameter und psychosowie lokomotorischen Antrieb verantwortlich. Eine Zerstörung dieser Struktur führt zu schwersten Persönlichkeitsveränderungen (Trepel 1999). Aktivierungen im *G. frontalis dorsalis* sowie *G. cinguli* werden häufig mit domänenübergreifenden kognitiven Funktionen (vgl. Schubotz & von Cramon 2002, 2003), z.B. Aufmerksamkeitsprozessen assoziiert (Kent, 1998). Vorschläge für die Interpretation dieser und angrenzender Regionen im Rahmen von sprachlichen Aufgaben kommen u.a. von Warburton et al. (1996). Die Autoren fanden für unterschiedliche sprachliche Anforderungen Aktivierungen im *anterioren Gyrus cinguli* sowie im *supplementär motorischen Areal (SMA, anteilig BA 6)*. Diese führten sie auf verschiedene Prozesse zurück, die beim Lösen sprachlicher Aufgaben von Bedeutung sind, z.B. die Identifizierung der entsprechenden Zielwörter aus dem Gedächtnis, die Aufmerksamkeit für die sprachliche Aufgabe, das verbale Kurzzeitgedächtnis sowie Prozesse, die in die Vorbereitung für die Artikulation involviert sind (auch bei stiller Produktion). Neueste Ergebnisse zeigen, dass das *supplementär motorische Areal*

ein funktionell heterogenes Areal ist. So beobachteten Chung et al. (2005), dass das SMA zwar in eine Vielzahl von Prozessen eingebunden ist (z.B. motorische und sensorische Verarbeitung, Wortgenerierung, Arbeitsgedächtnis, Hören von Wörtern), jedoch nur in seinen anterioren Aspekten die Funktionen Wortgenerierung und Arbeitsgedächtnis unterstützt.

Die genaue Aufgabe dieser anatomischen Regionen in sprachlichen Verarbeitungsprozessen ist bis heute nicht vollständig aufgeklärt, dennoch weisen etliche Studien auf eine Partizipation bei sprachverarbeitenden Prozessen hin (vgl. Warburton et al. 1996; Binder et al. 1997). Die vorliegenden Befunde sprechen daher für eine nicht näher definierbare Rolle der Regionen bei der Zielwortidentifikation, der sprachlichen Aufmerksamkeit, Kurzzeitgedächtnisprozessen und/oder artikulatorischen Planungsmechanismen.

8.10.2.2 Temporaler Kortex

Die Bedeutung des Temporallappens für sprachliche, insbesondere semantische, Verarbeitungsprozesse wurde in einer Vielzahl von Studien mit verschiedensten Aufgaben und in unterschiedlichen Inputmodalitäten nachgewiesen (u.a. Vandenberghe et al. 1996; Binder et al. 1997; Mummery et al. 1999; Perani et al. 1999a, b; Thompson-Schill et al. 1999; Ricci et al. 1999). Zu den aktivierten Regionen des Temporallappens gehörte in der vorliegenden Studie der bilaterale G. fusiformis, der G. temporalis inferior und medius und die temporo-okzipitale Schnittstelle einschließlich des Gebietes MT. Aktivierungen des G. fusiformis und G. temporalis inferior traten dabei in verschiedenen Kontrasten auf (experimentelle Bedingungen versus Kontrollbedingungen, Nomen versus gescrambelte Nomen, Verben versus gescrambelte Verben, Verben versus Nomen und spätes Erwerbsalter). Letztere Regionen werden in der linken Hemisphäre auch als basal temporales Sprachareal (BTLA) bezeichnet. Aktivierungen der temporo-okzipitalen Schnittstelle einschließlich der Region MT wurden vorrangig im Kontrast Verben versus Nomen beobachtet, jedoch auch in allen Kontrasten, in denen die experimentellen mit den Kontrollbedingungen verglichen wurden sowie in unterschiedlichem Ausmaß auch in den Haupteffekten (hier besonders bei Verben).

Basal temporales Sprachareal. Unter dieser anatomischen Bezeichnung werden verschiedene kortikale Strukturen in der linken Hemisphäre zusammengefasst, zu denen der G. temporalis inferior (BA 20), der G. fusiformis (BA 37) und medial gelegen, der G. parahippocampalis (BA 28, 35, 36) gehören. Das BTLA gehört strukturell zum inferioren Temporallappen. Evidenzen für eine Partizipation inferiorer Regionen des Temporallappens an linguistischen Verarbeitungsprozessen wurden in Läsionsstudien (u.a. Sharp et al. 2004; Chertkow et al. 1997; Hart & Gordon, 1990; Warrington & Shallice, 1984), Studien zur temporalen Lobektomie (Penfield & Roberts 1959; Tippett et al. 1996), Studien mit elektrokortikaler Stimulation (Lüders et al. 1986, 1991; Burnstine et al. 1990) und im Rahmen von progressiven Erkrankungen (semantischer Demenz; Hodges et al.

1992) erbracht. In der Primatenforschung wird der bilaterale inferiore temporale Kortex, insbesondere in seinen medial gelegenen Aspekten, traditionell mit Prozessen der Objektverarbeitung in Verbindung gebracht. Diese Befunde konnten in Studien am Menschen bestätigt werden (vgl. u.a. Postler et al. 2003).

Erste Belege für die Bedeutung des BTLA in der Sprachverarbeitung kamen aus Studien mit Elektrokortikaler Stimulation (u.a. Lüders et al. 1986, 1991; Ojemann et al. 1989; Burnstine et al. 1990). Die Effekte wurden vielfach repliziert (u.a. Schäffler et al. 1996; Krauss et al. 1996; Usui et al. 2003). Läsionsstudien (Raymer et al. 1997; Chertkow et al. 1997; Foundas et al. 1998) und funktionell-bildgebende Studien (vgl. Price 2000) bestätigten die linguistische Relevanz der Region. Funktionell-bildgebende Studien führten im linkshemisphärischen BTLA vorrangig zu Effekten beim Wortlesen und Bildbenennen (Price 2000). Die genaue Funktion des BTLA wird unterschiedlich diskutiert. Autoren, die primär den Prozess des Lesens untersuchen, vertreten den Standpunkt, dass das BTLA in Prozesse der visuellen Worterkennung eingebunden ist. Sie identifizierten eine spezifische kortikale Region innerhalb des BTLA (Brodmann Areal 37) als „visual word form area“ (u.a. Cohen et al. 2000; Dehaene et al. 2002; für eine Kritik an dieser Interpretation siehe Price & Devlin 2003). Price (2000) stellte fest, dass Effekte in dieser Region vorwiegend für das Wortlesen, weniger jedoch für das Lesen von Nichtwörtern zu beobachten sind. Sie schlug daher vor, dass Aktivierungen im Brodmann Areal 37 mit der semantischen Lese- bzw. Benennroute korrespondieren und ordnete dieser Region sowohl eine phonologische als auch semantische Funktion bei allen Wortabrufprozessen unabhängig von der Modalität zu. Ferner ergaben ihre Untersuchungen, dass Aktivierungen des BTLA (v.a. BA 37) beim Wortabruf stets von Aktivierungen der linken anterioren Insula und des frontalen Operculums begleitet werden. Die Relevanz des BTLA für phonologische und semantische Verarbeitungsprozesse geht auch aus den Ergebnissen von Usui et al. (2003) hervor, die in dieser Region einen Konnektionspunkt zwischen visuell-semantischer Information und phonologischer Repräsentationen vermuten. Bereits Foundas et al. (1998) und Raymer et al. (1997) wiesen mit Läsionsstudien die Bedeutung des BTLA für den Wortabruf nach. Ihre Patienten zeigten nach einer Beschädigung des BTLA eine Anomie jedoch ohne gestörte Objektwahrnehmung oder eine semantische Störung. Sharp et al. (2004) hingegen unterstrichen mit den Ergebnissen ihrer PET Studie die Rolle des BTLA für die semantische Verarbeitung von Wörtern. In neueren Untersuchungen wird das BTLA als eine funktionell untergliederte Region diskutiert. Es wurde vorgeschlagen, die Region in verschiedene Subareale aufzusplitten. So sprechen einige Studien dafür, dass der G. fusiformis funktionell in ein anteriores (semantische Verarbeitung), posteriores (phonologischer Abruf) und medial gelegenes Gebiet (visuelle Semantik) unterteilt werden kann (vgl. Price 2000; vgl. Postler et al. 2003). Diese Einteilung ist jedoch umstritten.

Für die vorliegende Benennstudie kann angenommen werden, dass Aktivierungen im bilateralen inferioren Temporallappen, vor allem in eher medial gelegenen Aspekten, für die Objekterkennung und -verarbeitung stehen. Aktivierungen im linkshemisphärischen BTLA reflektieren semantisch vermittelte phonologische Abrufprozesse beim Bildbenennen. Diese Interpretation wird durch die Ergebnisse von Price (2000) und Usui et al. (2003) unterstützt.

Linker posteriorer mittlerer Temporallappen, temporo-okzipitale Schnittstelle & Region MT. Auch kortikale Regionen im linken posterioren mittleren Temporallappen (LPMT), an der temporo-okzipitalen Schnittstelle und in der Region MT werden häufig mit linguistischen Verarbeitungsprozessen in Verbindung gebracht. Aufgrund von Läsionsstudien bei categoriespezifischen semantischen Störungen und funktionell-bildgebenden Studien wird angenommen, dass der LPMT in die semantische Verarbeitung von Artefakten involviert ist (Damasio et al. 1996; Gainotti 2000; Devlin et al. 2002b).

Obwohl das Bildbenennen keine explizit semantische Aufgabe ist, muss nach gängigen Modellen der Sprachverarbeitung (Logogenmodell, Lemma-Modell, für eine Ausnahme siehe Kremin 1986; Shuren et al. 1993) ein automatischer Zugriff auf die Bedeutungsinhalte der einzelnen Bildelemente erfolgen. Die vorliegenden Daten zeigen bilaterale Aktivierungen im posterioren mittleren Temporallappen und der temporo-okzipitalen Schnittstelle immer dann, wenn die experimentellen Bedingungen mit den Kontrollbedingungen kontrastiert werden. Hervorstechend ist dabei die Aktivierung dieser Regionen im Kontrast Verben versus Nomen (mit und ohne Kontrolle der Parameter Vorstellbarkeit und Phonemanzahl). Hier zeigten sich für Verben besonders starke Effekte in beiden Hemisphären nahe der Region MT. Verschiedene Studien haben gezeigt, dass der linke posteriore mittlere Temporallappen, der anterior zu der Region MT liegt, in die Verarbeitung von Wissen über Handlungen involviert ist (Martin et al. 1995; Noppeney et al. 2005; Wallentin et al. 2005). Der LPMT wird u.a. aktiv bei der Verarbeitung von statischen Objekten mit impliziter Bewegung (Martin et al. 1996; Kourtzi & Kanwisher 2000; Phillips et al. 2002), bei der Simulation von Bewegung (Ruby & Decety 2001), beim Zugriff auf Wissen über Verben (Kable et al. 2002) und bei der Verbgenerierung (Martin et al. 1995). Die Effekte für die Verarbeitung von Verben und Handlungen sind höchstwahrscheinlich durch die Spezialisierung des angrenzenden Areals MT (mittleres temporales visuelles Areal) beeinflusst. Die Region MT ist bei Primaten die zentrale Kortexregion für die Verarbeitung von visueller Bewegung. Auch für den Menschen wurde die Bedeutung der Region bei der Verarbeitung von expliziter und impliziter Bewegung nachgewiesen (Zeki et al. 1991; Beauchamp 2005; Wallentin et al. 2005; für einen Überblick: Born & Bradley 2005).

Eine andere Betrachtungsweise der temporo-okzipitalen Region wird durch die Analysen von Beauchamp (2005) eröffnet. Beauchamp (2005) sieht im „lateral occipital-temporal cortex“ beider Hemisphären eine Region, die für die multisensorische Integration von Informationen verantwortlich ist. Unter der Bezeichnung „lateral occipital-temporal cortex“ fasst er den S. temporalis superior, den lateralen okzipitalen Kortex und das Areal MT zusammen. Seine Annahmen basieren auf den Ergebnissen von Primatenstudien und funktionell-bildgebenden Studien am Menschen. Während der S. temporalis superior stark auf bedeutungstragende auditive und visuelle Stimuli reagiere, sei die laterale okzipitale Region notwendig für die Verarbeitung von Forminformationen aus visuellen oder taktilen Modalitäten, MT dagegen reagiere spezifisch auf visuelle Bewegung.

Die Daten der vorliegenden Untersuchung ergaben insbesondere für Verben bilaterale Aktivierungsschwerpunkte in der lateralen okzipito-temporalen Region, einschließlich der Region MT. Dieses Ergebnis ist mit den Annahmen von Beauchamp kompatibel. Demnach ist die beobachtete Aktivierung, insbesondere bei Verben, auf die Verarbeitung von Bedeutung, visueller Form und impliziter Bewegung beim Benennen von Handlungen zurückzuführen. Die Befunde für Verbennennen stimmen auch mit den Daten von Kable et al. (2002) überein, die bilaterale Aktivierungen in der Region MT für die Zuordnung von Handlungsbildern relativ zu Objektbildern fanden. Die Autoren sehen die Ursache dieser Aktivierung vorrangig darin, dass Verben Bewegungsmerkmale tragen. Hanna Damasio und Kollegen (2001) deuten die Aktivierungen in der Region MT als Reflektion von Bewegungsvorstellungen, die mit Verben verbunden sind. Weitere Belege zur Beteiligung der Region MT an der Verbverarbeitung finden sich bei Martin et al. (1995) und Tranel et al. (2005). Somit ergibt sich die Schlussfolgerung, dass die laterale okzipito-temporale Aktivierung einschließlich der Region MT beim Verbennennen auf Aspekte der Bedeutungsverarbeitung (Wissen über Verben/Handlungen, Bewegungsmerkmale von Verben) und der Bewegungsvorstellung zurückzuführen ist.

8.10.2.3 Parietaler Kortex

Parietale Aktivierungen zeigten sich in der vorliegenden fMRT Studie im linkshemisphärischen G. supramarginalis (GSM) und angularis (GA) für die Kontrollbedingungen (gescrambelte Nomen und Verben), im Lobus parietalis inferior (experimentelle Items versus Kontrollitems, Verben versus gescrambelte Verben, Verben versus Nomen). Aktivierungen im Lobus parietalis superior wurden nur für den Kontrast Verben versus gescrambelte Verben beziehungsweise im Haupteffekt für Verben beobachtet. Weiterhin zeigte sich ein Aktivierungsschwerpunkt im Präcuneus für früh erworbene Wörter.

Inferiore und superiore Aspekte des Parietallappens, Gyrus supramarginalis und angularis. Der linke GSM, GA sowie andere inferiore Anteile des Parietallappens sind ein Teil des perisylvischen Sprachzentrums (Wernicke 1874; Penfield & Roberts 1959; Geschwind 1965). Nach Penfield & Roberts (1959) gehören der GSM und der GA zur sogenannten „posterioren Sprachregion“, die unverzichtbar für die normale Sprachfunktion ist (Penfield & Roberts 1959: 204). Price (2000: 350ff) zufolge stehen Aktivierungen im parietalen Kortex für den Zugriff auf die Semantik. Dabei geht sie von einem semantischen Speicher aus, der verschiedene extrasylvische Regionen im Temporal- und Parietallappen umfasst (vgl. u.a. Demonet et al. 1992, 1994; Gorno-Tempini et al. 1998; Mummery et al. 1998). Sowohl Läsions- als auch elektrophysiologische Studien unterstützen die Annahme, dass der linke G. angularis und die linke inferiore Parietal- und Temporalregion an der semantischen Verarbeitung beteiligt sind. Insbesondere Schädigungen des linken Gyrus angularis wurden zusammen mit Störungen des mündlichen und schriftlichen Sprachverständnisses (Déjerine 1892; Geschwind, 1965; Hart & Gordon, 1990) bzw. transkortikal sensorischer Aphasie (Alexander et al. 1989) beobachtet. Price (2000) weist darauf hin, dass parietale Aktivierungen, die mit semantischer Verarbeitung assoziiert werden, im Hinblick auf die genaue anatomische Lokalisation stark variieren können. So wurden Aktivierungen nahe am Temporallappen, aber auch in posterioren oder superioren Anteilen des linken G. angularis beobachtet.

Spezifische Anteile des linken inferioren Parietallappens werden auch mit phonologischen Verarbeitungsprozessen in Verbindung gebracht. So können Läsionen des SMG zu Outputstörungen, bspw. phonematischen Paraphasien beim Nachsprechen oder anderen phonologischen Defiziten (Caplan et al. 1995) führen. Der linke G. supramarginalis wurde in funktionell-bildgebenden Studien mit phonologischen Verarbeitungsprozessen (Demonet et al. 1994; Price et al. 1997) sowie mit Kurzzeitgedächtnisfunktionen (Paulesu et al. 1993) assoziiert. Aktivierungen des GSM werden in sprachlichen Paradigmen mit Bildstimuli beobachtet (u.a. Bookheimer et al. 1995). Bereits Geschwind (1965, vgl. Steinmetz & Seitz 1991: 1152) betonte die Bedeutsamkeit des inferioren parietalen Kortex insbesondere für das Objektbenennen. ERP-Studien ergaben, dass der linke parietale Kortex bedeutsam für die Wortproduktion ist (Connolly & Phillips 1994). Die genaue Bedeutung und Funktionsweise der inferioren Parietalregion für die Sprachverarbeitung ist jedoch bis heute nicht vollständig geklärt.

Parietale Effekte stellten sich in der vorliegenden Untersuchung stets linksbetont dar, so ist anzunehmen, dass es sich hierbei um sprachspezifische Prozesse handelt. Besonders bedeutsam erscheint die Tatsache, dass Aktivierungen im inferioren Parietallappen stärker bei Verben auftraten (Verben versus gescrambelte Verben, Haupteffekt Verben). Dies stimmt mit den Ergebnissen von Warburton et al. (1996) überein. Die stärkere parietale Aktivierung bei Verben kann mit intensiveren Anforderungen an die semantische oder phonologische Verarbeitung

einhergehen, wobei die Lokalisation (für Verben eher außerhalb des GSM) eher auf semantische Prozesse schließen lässt.

Eine alternative Interpretation ergibt sich aus neueren Forschungsergebnissen zur Bewegungsverarbeitung von Handbewegungen. So fanden Hermsdorfer et al. (2001, PET) linkslateralisierte Aktivierungsspitzen im inferioren Parietallappen für die Differenzierung von Gesten, die mit der Hand ausgeführt werden. Möglicherweise tragen auch hier die Bewegungsmerkmale von Verben zu einer stärkeren regionalen Aktivierung bei.

Parietale Aktivierung bei den Kontrollaufgaben könnte durch den Versuch der Untersuchungsteilnehmer entstanden sein, die gescrambelten Bilder zu deuten. Somit wären Aktivierungen erklärbar, die semantischen (oder phonologischen) Verarbeitungsmechanismen zugeordnet werden können. Dass einige gängige Kontrollbedingungen kognitive bzw. semantische Aktivität auslösen, ist ein bekanntes Phänomen. Für die Kontrollbedingung Ruhe ist dieser Effekt eindeutig nachgewiesen worden (Binder et al. 1999).

Präcuneus. In funktionell bildgebenden Studien wurde der Präcuneus vielfach bei Aufgaben beobachtet, die den Abruf von Inhalten aus dem episodischen Gedächtnis erforderten (für einen Überblick: Rugg & Henson 2002). Passend dazu wurden in dieser Region Aktivierungen für die Verarbeitung vertrauter Gesichter (Ishai et al. 2002), vertrauter Stimmen (Nakamura et al. 2001) oder Geräusche (Maeder et al. 2001) gefunden. Die Funktion dieser Struktur bei der Verarbeitung von Gedächtnisleistungen ist bislang jedoch nicht hinreichend erforscht. Aktivierungen in dieser Region wurden in der vorliegenden Untersuchung für die Produktion von früh erworbenen Wörtern gefunden. Die genaue Funktion des Präcuneus kann aber durch die vorliegenden Daten nicht geklärt werden. Weitere Forschung ist notwendig, um die Rolle des Präcuneus beim Wortabruf zu verstehen.

8.10.3 Effekte der grammatischen Kategorie

Die vorliegende fMRT Studie hatte ergeben, dass Nomen und Verben ein ähnliches Aktivierungsmuster hervorrufen, wenn sie direkt mit den Kontrollbedingungen kontrastiert werden. Ebenso riefen die Haupteffekte der Wortkategorien ein ähnliches Aktivierungsmuster hervor. Im Unterschied zur Nomenbedingung jedoch waren Verb-relationierte Aktivierungen in allen relevanten Regionen ausgedehnter und meist höher signifikant. Dies galt besonders für Aktivierungen im LIPC und in der temporo-okzipitalen Verbindungsstelle/MT. Die Kontraste Nomen versus Verben und vice versa gaben Auskunft darüber, welche kortikalen Areale signifikant stärker, bzw. spezifisch für eine grammatische Kategorie aktiviert sind. Während bei dieser Analyse der Kontrast Nomen relativ zu Verben keine signifikanten Voxel verursachte, zeigte

sich im entgegengesetzten Kontrast ein deutlich umschriebenes Aktivierungsmuster. Dabei verursachten Verben relativ zu Nomen signifikante Signale im linken inferioren präfrontalen Kortex, im bilateralen G. temporalis inferior einschließlich des G. fusiformis, im Gebiet der bilateralen temporo-okzipitalen Schnittstelle einschließlich der Region MT sowie linksseitig bis zur parieto-okzipitalen Schnittstelle (BA 40/19). Die für Verben gefundenen Signale waren in abgeschwächter Form auch im Kontrast Nomen versus Kontrollbedingung und im Haupteffekt für Nomen zu beobachten. Dieser Befund unterstützt die Annahme, dass das Verbbennnen keine spezifischen, sondern stärkere Aktivierungen des gemeinsamen Systems auslöst. Die 1. Hypothese dieser Untersuchung kann daher bestätigt werden, denn Nomen- und Verbbennnen aktiviert ein ähnliches Set an neuronalen Strukturen im Bereich des linken inferioren präfrontalen Kortex (LIPC), der linken temporo-okzipitalen Schnittstelle einschließlich der Region MT und im linken inferioren Temporallappen (BTLA), wobei die Aktivierung für Verben im Bereich des linken präfrontalen Kortex und in der Region MT stärker ausgeprägt ist als bei Nomen.

Die identifizierten neuroanatomischen Korrelate für die Nomen- und Verbverarbeitung stimmen mit den Ergebnissen von mehreren Forschungsgruppen übereinstimmen (Warburton et al. 1996; Tyler et al. 2003, 2004 für rezeptive Paradigmen). Warburton et al. (1996) und Tyler et al. (2003, 2004) fanden ein ähnliches Set an kortikalen Strukturen für die rezeptive Verarbeitung von Nomen und Verben, wobei die Aktivierung für Verben vor allem im LIPC stärker ausgeprägt war. Warburton et al. entdeckten dabei in einer Verbgenerierungsaufgabe stärkere Aktivierungen im linkshemisphärischen G. frontalis inferior und S. präcentralis sowie im S. temporalis inferior, in der temporo-parietalen Verbindungsregion und beidseits im SMA.

Zu den erwarteten Effekten im Rahmen dieser Untersuchung zählte eine stärkere Aktivierung des linken präfrontalen Kortex und der linkshemisphärischen Region MT für die Verbbedingung. In beiden Regionen konnten Aktivierungen nachgewiesen werden. Zusätzlich zu den erwarteten Signalen wurde auch die *rechte* temporo-okzipitale Schnittstelle/MT beim Abruf von Verben stärker aktiviert. Dieser Befund deckt sich u.a. mit den Ergebnissen von Kable et al. (2002) der im Rahmen von Zuordnungsaufgaben u.a. Handlungs- und Objektbildern verglich. Die Autoren fanden für die Verbbedingung ebenfalls bilaterale Aktivierungen in der Region MT und angrenzenden Bereichen. Sie interpretierten diesen Befund im Zusammenhang mit Bewegungsmerkmalen von Verben:

„The greater activation for action than object matching in the MT/MST and adjoining regions in the posterior temporal lobe is consistent with the idea that conceptual knowledge of actions incorporates motion features. Furthermore, the pattern of action-specific activations suggests a mosaic of cortical areas that processes different senses of motion from the visual association cortex (more perceptual) to the perisylvian regions (more linguistic). (Kable et al. 2002: 800)

Warum verursachen Verben in der vorliegenden Studie eine stärkere Aktivierung gegenüber Nomen und warum manifestiert sich diese Aktivierung im LIPC und bilateral in der temporo-okzipitalen/MT Schnittstelle? Die Diskussion der neuroanatomischen Areale (Abschnitt 8.10.2.1 – 8.10.2.3) hat ergeben, dass Aktivierungen im LIPC für phonologische, semantische, syntaktische morphologische und/oder Arbeitsgedächtnisprozesse stehen können. Auch Kable et al. (2002) ordnen den perisylvischen Regionen insgesamt eine eher linguistische Funktion zu. Die in dieser Studie verwendeten Verben wiesen eine höhere Phonemanzahl, höhere durchschnittliche Werte in der Vorstellbarkeit und eine größere morphosyntaktische Komplexität auf. Alle drei Faktoren könnten zur stärkeren LIPC Aktivierung für Verben beigetragen haben. Wurden die Parameter Vorstellbarkeit und Phonemanzahl statistisch kontrolliert, reduzierte sich die LIPC Aktivierung dramatisch. Dies lässt zunächst den Schluss zu, dass der LIPC Unterschied zwischen Nomen und Verben in dieser Studie im Wesentlichen auf den Parametern Vorstellbarkeit und Phonemanzahl beruhte. Da aber die Stimulussets in dieser Untersuchung einen starken negativen Zusammenhang zwischen syntaktischer Komplexität und Vorstellbarkeit aufweisen (syntaktischen Komplexität: Nomen < intransitive Verben < transitive Verben; Vorstellbarkeit: Nomen > intransitive Verben > transitive Verben), kann ein Beitrag der syntaktischen Komplexität zum Nomen/Verbunterschied nicht ausgeschlossen werden.

Im Gegensatz zur LIPC Aktivierung blieben die Cluster in der bilateralen temporo-okzipitalen Schnittstelle/MT für das Verbbennen signifikant, wenn Vorstellbarkeit und Phonemanzahl kontrolliert wurden. Das bedeutet, dass diese anatomischen Regionen nicht von den Parametern Vorstellbarkeit und Phonemanzahl beeinflusst werden. Der Aktivierungsvorteil für Verben in dieser Region beruht demzufolge eher auf den semantischen und perzeptiven Eigenschaften der Wortkategorie. Diese Annahme wird dadurch unterstützt, dass es sich hier um ein bilaterales Aktivierungsmuster handelt. Sowohl aus Studien zur funktionellen Bildgebung als auch aus Läsionsstudien ist bekannt, dass semantische und perzeptive Verarbeitungsprozesse bilateral repräsentiert sein können (vgl. Devlin et al. 2002b). Ob die beobachtete Aktivierung jedoch eher für semantische *oder* perzeptive Verarbeitungsprozesse steht, kann aus den Daten nicht geklärt werden.

Die Befunde dieser fMRT Studie bestätigen nicht die Ergebnisse von Tyler et al. (2001), Li et al. (2004) und Hernandez et al. (2001). Ebenso können auch die Ergebnisse der MEG Studie von Sörös et al. (2003) nicht bestätigt werden. Diese Autoren fanden keinen Unterschied in den Aktivierungsmustern für die Verarbeitung von Nomen und Verben bei sprachgesunden Teilnehmern. Ebenso unterstützen die Ergebnisse nicht die Daten von Perani et al. (1999a), die spezifische Areale für die Verarbeitung von Verben identifiziert hatten. Die Daten stimmen ferner nicht mit den Aktivierungsmustern von Tranel et al. (2005) und Shapiro et al. (2005) überein, die

überwiegend distinkte neurofunktionelle Korrelate (Tranel et al.) für den Abruf von nicht-homonymen Nomen (eher temporale) und Verben (eher frontal), bzw. Evidenz für die anterior-posterior Dissoziation der Nomen- und Verbverarbeitung (Shapiro et al.; vgl. Fiebach et al. 2003, MEG) fanden. Insgesamt sprechen die hier präsentierten Daten grundsätzlich gegen die anterior-posterior Hypothese, da auch für Verben robuste Effekte im Temporallappen nachgewiesen werden konnten.

Die Effekte dieser Untersuchung weisen darauf hin, dass Nomen und Verben primär gleiche neurofunktionelle Korrelate haben. Die Unterschiede im direkten Vergleich der Wortkategorien könnten durch graduelle Unterschiede spezifischer Stimulusparameter (Phonemanzahl, Vorstellbarkeit) und semantisch-perzeptiver Merkmale entstanden sein, wobei Verben in all diesen Merkmalen eine stärkere Ausprägung aufweisen und somit das gemeinsame neurofunktionelle System stärker beanspruchen als Nomen.

8.10.4 Effekte des Erwerbsalters

Im Vorfeld der fMRT Studie wurde angenommen, dass das Erwerbsalter die Hirnaktivität beim Bildbenennen beeinflusst. Später erlernte Wörter sollten in einem oder mehreren sprachassoziierten Kortexteilen (LIPC, BTLA, G. supramarginalis oder Wernicke Areal) stärkere Aktivierungen hervorrufen als früher erworbene Wörter. Die Ergebnisse der Studie zeigen, dass die Aktivierung im BTLA und im LIPC beim Benennen von Nomen und Verben sensitiv für Unterschiede im Erwerbsalter ist. Dabei konnten in diesen Strukturen Effekte für später erworbene Wörter festgestellt werden. Früher erworbene Wörter verursachten dagegen stärkere Aktivierungen (jedoch unter der statistischen Schwelle) im bilateralen Präcuneus und einer rechtshemisphärischen, subkortikalen Struktur im Temporallappen. Aufgrund dieses Befundes kann die 2. Hypothese der fMRT Untersuchung angenommen werden. Die Aktivierungsmuster beim Benennen von Objekt- und Handlungsbildern werden durch den Parameter Erwerbsalter moduliert.

Die Ergebnisse der vorliegenden Studie stimmen mit den Daten von Fiebach et al. (2003) überein, die mit fMRT das visuelle und auditive lexikalische Entscheiden über Nomen untersuchten. Die Autoren berichteten über Aktivierungen im linken G. frontalis inferior und in der anterioren Insula für spät erlernte Wörter. Dabei wurde die frontal inferiore Aktivierung bei spät erlernten Wörtern mit strategischen Mechanismen der Worterkennung erklärt, die einsetzen, wenn die Worterkennung schwierig ist (vgl. Abschnitt 8.10.2.1). Für früh erlernte Wörter fanden Fiebach et al. ebenfalls Aktivierungen im Präcuneus, die aber, wie in der vorliegenden Studie auch, unter der definierten statistischen Schwelle lagen, und mit Gedächtnis und Imagery-Prozessen in Zusammenhang gebracht wurden.

Price (2000: 347f) ordnete, wie bereits erwähnt, gemeinsame Aktivierungen der linkshemisphärischen anterioren Insula bzw. des frontalen Operculums und des BTLA dem Wortabruf zu. Dabei wurden die anteriore Insula und das frontale Operculum mit der artikulatorischen Planung assoziiert. Aktivierungen im BTLA dagegen wurden mit dem semantisch-phonologischen Abruf in Verbindung gebracht. Letztere Annahme wurde von Usui et al. (2001) unterstützt, die Hinweise auf eine Konversion von semantischer in phonologische Repräsentationen im lateralen Part des BTLA (BA 37) vermuteten. Die vorliegenden Daten zeigen, dass gerade die kortikalen Strukturen, die von Price und Usui et al. als relevant für den Wortabruf erachtet werden, stärker für Items mit spätem Erwerbssalter aktiviert werden.

In der Literatur wurde ein Einfluss des Erwerbssalters überwiegend auf der Ebene des lexikalisch-phonologischen Abrufs vermutet (u.a. Barry & Gerhand 2003; Bogka et al 2003; Tainturier et al. 2003). Einigen Autoren zufolge wird eher ein semantisch-phonologischer Lokus des Erwerbssalters favorisiert (u.a. Colombo & Burani 2002; Ghyselinck et al. 2004b). Die fMRT Daten im Rahmen dieser Studie sprechen für einen phonologisch-semantischen Lokus des Erwerbssalters, da die beobachteten Aktivierungsmuster in Arealen auftreten, die sowohl mit phonologischen als auch mit semantischen Verarbeitungsprozessen assoziiert werden.

Warum aber reagiert das neurofunktionelle System für den Wortabruf stärker auf Items mit späterem Erwerbssalter? Zur Klärung dieser Frage könnte eine modifizierte Version der „phonological completeness hypothesis“ (Brown & Watson 1987) herangezogen werden. Nach dieser Hypothese werden früh erworbene phonologische Repräsentationen ganzheitlich in einem leeren phonologischen Lexikon gespeichert, während später erworbene Wörter eher fragmentar gespeichert werden. Der Zugriff auf früh erworbene Items könne daher schneller und effizienter gelingen, während der Zugriff auf spät erworbene Wörter mit mehr Aufwand verbunden wäre. Obgleich die hier präsentierten Daten keine Aussage über die genaue Art der Speicherung erlauben (ganzheitlich oder segmental), können Rückschlüsse auf die Vernetzung früh erworbene Wörter im lexiko-semantischen System gezogen werden. Zwei Eigenschaften früher Wörter könnten für einen schnelleren und effizienteren Abruf verantwortlich sein, erstens die relativ einfache konzeptuell-semantische Struktur früher Wörter und zweitens die Qualität der Vernetzung in einem noch relativ leeren semantischen und phonologischen Speicher. Hinzu kommt ein zeitlicher Aspekt, früh erworbene Wörter sind länger im mentalen Lexikon gespeichert als spät erworbene Wörter. Möglicherweise sind früh erworbene semantische Merkmale und die dazugehörigen phonologischen Einträge aufgrund ihrer Eigenschaften über hoch automatisierte neurofunktionelle Bahnen miteinander verknüpft und können daher schneller und mit geringerem Aufwand abgerufen werden. Die Merkmale und Einträge für später hinzugekommene Wörter hingegen sind über weniger automatisierte und eventuell komplexere Bahnen verbunden. Sie könnten daher beim

Wortabruf zu langsameren Reaktionszeiten bzw. stärkerer Hirnaktivierung in spezifischen Regionen führen.

8.10.5 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Diese Studie hat ergeben, dass der Abruf von Nomen beim Bildbenennen kürzere Reaktionszeiten und eine geringere kortikale Aktivierung verursacht als der Abruf von Verben. Ferner zeigte sich ein Einfluss des Erwerbsalters auf die Reaktionszeiten bei Nomen und auf die kortikale Aktivierung beider Wortkategorien. Die Daten sprechen insgesamt für ein gemeinsames neurofunktionelles Netzwerk, das der Produktion von Nomen und Verben beim Bildbenennen unterliegt. Dieses Netzwerk wird von der Verbproduktion stärker beansprucht. Die Annahme einer anterior-posterior Dissoziation kann nicht bestätigt werden.

Die Analysen haben ergeben, dass die Gründe für den Nomen/Verb Unterschied multifaktoriell sind und nicht ausschließlich auf *eine* spezifische Eigenschaft der Wortkategorien zurückgeführt werden können. Obgleich der Faktor Vorstellbarkeit offensichtlich eine bedeutsame Rolle im Bezug auf die Nomen/Verb Differenz spielt, so ist doch ein Beitrag anderer Faktoren nicht auszuschließen. Offensichtlich tragen auch die Verbsemantik und die Phonemanzahl zum Unterschied zwischen den Wortkategorien bei. Ein Einfluss der syntaktischen Komplexität kann ebenfalls nicht ausgeschlossen werden. Bei näherer Betrachtung der sprachlichen Anforderung verwundert dieses Ergebnis nicht. Wenn Unterschiede zwischen Nomen und Verben beim Bildbenennen untersucht werden, müssen erstens die Eigenschaften von Objekt- und Handlungskonzepten, zweitens die Eigenschaften der Wortkategorien Nomen und Verben und drittens die spezifischen Anforderungen der sprachlichen Aufgabe bzw. der Einfluss von Stimulusparametern und den erwähnten Eigenschaften auf die Anforderungen der sprachlichen Aufgabe berücksichtigt werden. Die Zusammenstellung des spezifischen experimentellen Stimulussets spielt ebenfalls eine Rolle.

Auf der konzeptuellen Ebene wird eine höhere Komplexität von Handlungen gegenüber Objekten deutlich (vgl. Gentner 1981, 1982; Gentner & Boroditski 2000). Im Vergleich der Wortkategorien Nomen/Verb zeigen sich differierende linguistische Eigenschaften auf allen Ebenen, im Besonderen eine größere morphosyntaktische und semantische Komplexität (u.a. Vorstellbarkeit, Bewegungsmerkmale etc.) der Verben sowie spezifische Eigenschaften im verwendeten Stimulusset (z.B. höhere Phonemanzahl bei Verben). Werden konzeptuelle und linguistische Eigenschaften im Zusammenhang mit den sprachlichen Anforderungen betrachtet, so erweist sich das Benennen von Handlungen als schwerer, weil zusätzlich zu komplexeren konzeptuellen, semantischen und morphosyntaktischen Faktoren höhere Anforderungen beim visuellen Parsing eines Handlungsbildes bestehen. Die unterschiedlichen Anforderungen beim Benennen von Objekt- und Handlungsbildern werden unterstrichen durch den differierenden Einfluss von

Stimulusparametern auf die Reaktionszeiten (Erwerbsalter und Frequenz bei Nomen; Benennübereinstimmung bei Verben) und die Hirnaktivierungen. Insgesamt kann die Nomen/Verb Differenz nicht auf einen ursächlichen Faktor reduziert werden. Im Gegenteil, ein Bündel von Merkmalen auf verschiedenen Ebenen muss für den beobachteten Unterschied zwischen den Wortkategorien verantwortlich zu sein.

9 Allgemeine Diskussion

Die Studien im Rahmen dieses Forschungsprojektes haben Hinweise auf die temporale und neurofunktionelle Verarbeitung von Nomen und Verben beim ungestörten Bildbenennen erbracht. Im letzten Teil dieser Dissertationsschrift soll nun diskutiert werden, inwieweit die präsentierten Ergebnisse aphasische Störungsmuster erklären können und inwiefern die Ergebnisse der bildgebenden Untersuchung die eingangs beschriebenen neuroanatomischen und kognitiven Modellannahmen zum Wortabruf beim Benennen unterstützen.

9.1 Erklärbarkeit aphasischer Leistungsmuster

Untersuchungen zu selektiven Nomen/Verb Defiziten im Rahmen neurogener Sprachstörungen haben unterschiedliche Störungsausprägungen (Nomen < Verben, Nomen > Verben, Nomen = Verben), Störungsprofile (supramodal, modalitätsspezifisch), funktionelle Störungsursachen (konzeptuell-semantisch, syntaktisch, morphologisch, lexikalisch) und Läsionsorte (anterior-posterior Dissoziation, andere Läsionsmuster) ergeben. Offensichtlich sind Nomen/Verb Defizite nicht einheitlich und nur individuell mit Hilfe einer tiefendiagnostischen Überprüfung erfassbar und für den einzelnen Patienten erklärbar. Allein im Bezug auf die Auftretenshäufigkeit einer spezifischen Störungsausprägung besteht eine gewisse Konsistenz in den Forschungsergebnissen: selektive Störungen von Verben treten häufiger auf als selektive Störungen von Nomen. Dabei weisen die Verbdefizite in der Regel eine höhere Variabilität bezüglich der Läsionsorte auf (frontal, temporal und/oder parietal), während Läsionen im Temporallappen durchgängig bei Nomendefiziten indentifiziert wurden. Die vorgestellten Studien in Kapitel sieben und acht haben ergeben, dass die Verbproduktion beim Bildbenennen gegenüber der Produktion von Nomen mehr Zeit in Anspruch nimmt und stärkere Aktivierung in einem gemeinsamen neurofunktionellen System hervorruft. Diese Ergebnisse passen zu der Beobachtung, dass Verbstörungen häufiger auftreten als Defizite bei Nomen. Möglicherweise ist der größere neurofunktionelle Verarbeitungsaufwand bei Verben im Falle einer neurologischen Erkrankung schneller stöbar.

Die frontalen Aspekte des Aktivierungsmusters bei Verben waren von der Wortlänge und der Vorstellbarkeit beeinflusst und sind daher wahrscheinlich phonetisch/phonologischen sowie semantischen Verarbeitungsprozessen zuzuordnen. Es wurde bereits darauf hingewiesen, dass ein Einfluss der syntaktischen Komplexität jedoch nicht ausgeschlossen werden kann. Die bilateralen temporalen Aspekte repräsentieren vermutlich das Wissen über Handlungen/Verben, bzw. Bewegungen oder Bewegungsvorstellungen, die mit dem Verbabruf verbunden sind.

Welche Störungsausprägungen, -profile und -ursachen sind nun durch die Ergebnisse der vorgestellten Studien erklärbar? Da in der fMRT Studie keine spezifischen Aktivierungen für die Nomen/Verb Produktion gefunden wurden, sondern ein ähnliches neurofunktionelles Set mit stärkeren Aktivierungen für Verben identifiziert wurde, können lediglich selektive Störungen bei Verben erklärt werden, ein selektives Defizit für Nomen ist aus den vorliegenden Daten nicht zu erklären. Die Ergebnisse der fMRT Studie erlauben drei Erklärungsvarianten für Verbdefizite:

(1) Der Verbabruf beim Benennen von Handlungsbildern ist insgesamt aufwendiger (komplexere kognitive Anforderung beim Bildbenennen, komplexeres „scene parsing“). Im Falle eines aphasischen Verbdefizites kann der Verbabruf nicht erbracht werden, weil die kognitiven Anforderungen beim Benennen von Handlungsbildern die Fähigkeiten des Patienten übersteigen.

(2) Für den Verbabruf beim Benennen von Handlungsbildern ist ein höheres Maß an innerer Vorstellbarkeit und Aktivierung von Bewegungsmerkmalen erforderlich. Das Verbdefizit entsteht aufgrund einer semantischen Störung. Läsionen im LIPC und oder der temporo-okzipitalen Schnittstelle verhindern, dass eine ausreichende mentale Vorstellung aufgebaut werden kann, was zu Nullreaktionen oder semantischen Fehlleistungen führt. Diese Erklärungsvariante stimmt in Teilen mit den Ergebnissen von Luzzatti et al. (2002) überein, die den Ursprung von Verbdefiziten in ihrer Untersuchungsgruppe auf die Vorstellbarkeit zurückführten.

(3) Ein Verbdefizit tritt auf, weil morphosyntaktische *und* semantische Merkmale der Wortkategorie nicht hinreichend aktiviert werden können. Offensichtlich hat der Stimulusparameter Vorstellbarkeit einen Einfluss auf die Aktivierungen im LIPC. Da die Werte in der Vorstellbarkeit sich aber proportional zur Komplexität der Argumentstruktur und der morphologischen Struktur der Items (Verben im Infinitiv versus Nomen ohne Markierung) verhalten, kann nicht ausgeschlossen werden, dass Argumentstruktur und Morphologie ebenso einen Einfluss auf den Nomen/Verb Unterschied haben.

Hinsichtlich der Störungsursachen für ein Verbdefizit kann aus der funktionell-bildgebenden Studie abgeleitet werden, dass zwei potentielle Läsionsmuster denkbar sind. Bei Störungen der Bewegungsmerkmale und spezifischer semantischer Aspekte von Verben (Wissen über Verben, Wissen über assoziierte Bewegungen, Bewegungsvorstellung etc.) sollten eher Läsionen im okzipito-temporalen Bereich auftreten, während bei morphosyntaktischen Störungen oder Defiziten aufgrund der Vorstellbarkeit eher Läsionen im LIPC erwartbar sind. Evidenzen für unterschiedliche Läsionsschwerpunkte bei Verbdefiziten erbrachten unlängst Aggujaro et al. (2006, MRT/CT). Sie untersuchten 20 italienische Aphasiepatienten mit disproportionalen Nomen- oder Verbdefizit beim Benennen. Während die meisten Patienten mit Nomendefiziten Läsionen im medialen und

inferioren Teil des Temporallappens aufwiesen, kristallisierten sich bei Patienten mit Verbstörungen zwei große Submuster heraus, entweder mit Schwerpunkt im linken posterioren Temporallappen und der inferior parietalen Regionen (eher flüssige Patienten), oder in der fronto-temporalen Region (eher agrammatische Patienten). Die Autoren sehen den Läsionsschwerpunkt im temporo-parietalen Bereich im Zusammenhang mit Prozessen der komplexen Handlungsplanung (vgl. Rumiati et al. 2004).

Die häufig vertretene These einer anterior-posterior Dissoziation für die Nomen/Verb Verarbeitung kann durch die Daten nicht belegt werden. Im Gegenteil, sowohl Nomen als auch Verben haben anscheinend neurofunktionelle Korrelate in anterioren *und* posterioren kortikalen Regionen. Dies gilt insbesondere für das Verbennen, wofür robuste Aktivierungsschwerpunkte im Temporallappen nachgewiesen wurden. So muss angenommen werden, dass das Nomen- und Verbennen auf den gleichen neurofunktionellen Mechanismen basiert. Stärkere Aktivierungen für Verben werden vor diesem Hintergrund als Aktivierungsspitzen in einem gemeinsamen System interpretiert. Diese Aktivierungsspitzen könnten dadurch entstehen, dass bestimmte linguistische Eigenschaften von Verben oder kognitive Anforderungen an das Verbennen stärker ausgeprägt sind.

Die Daten sprechen ferner gegen die Annahme, dass ein Unterschied in der Verarbeitung der Wortkategorien beim Bildbenennen auf nur eine Ursache (Vorstellbarkeit oder Argumentstruktur etc.) zurückzuführen ist. Sowohl die Verhaltensdaten als auch die funktionell-bildgebenden Daten weisen darauf hin, dass die Nomen/Verb Differenz aufgrund mehrerer unterschiedlicher Ursachen besteht. Diese Ursachen sind in den linguistischen Eigenschaften der Wortkategorien, in den wortkategorie-spezifischen psycholinguistischen Einflussfaktoren und in den spezifischen Anforderungen beim Bildbenennen begründet.

Insgesamt kann festgestellt werden, dass die hier präsentierten Daten ein selektives Verbdefizit schlüssig erklären, wobei mehrere Störungsursachen denkbar wären. Es finden sich jedoch keine Hinweise auf neurofunktionelle Korrelate, die selektive Defizite bei Nomen erklären könnten. Die Annahme einer neurofunktionellen Dissoziation für die Nomen/Verbverarbeitung muss abgelehnt werden.

Hinsichtlich der psycholinguistischen Einflussfaktoren haben die hier vorgelegten Studien ergeben, dass das Erwerbsalter und die lexikalische Frequenz sowohl beim stillen als auch beim lauten Benennen die Reaktionszeit der Nomenproduktion beeinflusst. Das Benennen von Handlungen dagegen wurde stärker vom Parameter Benennübereinstimmung bestimmt. In der fMRT Untersuchung konnte ein Effekt des Erwerbsalters auf Nomen und Verben festgestellt werden. Die getrennte Analyse der Wortkategorien erbrachte aber keine signifikanten Ergebnisse.

Orientiert an den Reaktionszeiten könnte zunächst geschlussfolgert werden, dass aphasische Personen, die besondere Probleme mit der Verarbeitung von Bildmaterial haben, schlechter im Benennen von Handlungsabbildungen abschneiden. Patienten hingegen, die Items mit spätem Erwerbsalter nicht aktivieren können, fallen besonders beim Objektbenennen auf. Diese Schlussfolgerung ist so jedoch nicht haltbar. Angenommen, die Erwerbseffekte beim Benennen von Handlungen sind vorhanden, werden jedoch durch bildspezifische Effekte derart überlagert, dass sie nicht mehr signifikant würden, so hätte ein Patient mit guten Leistungen in der Bildverarbeitung und Einschränkungen in der Aktivierung spät erworbener Wörter wahrscheinlich eine beeinträchtigte Leistung für beide Wortkategorien. Gesehen den Fall, dass ein starker Effekt des Erwerbseffekts im Rahmen einer Aphasie auch aufgrund gestörter semantischer Verarbeitungsprozesse entsteht, sollte der Patient jedoch eher schlechtere Leistungen für Verben zeigen, da die Verbsemantik insgesamt komplexer ist als die Semantik von Nomen. Der Hintergrund dieser Störungsmuster bleibt jedoch Spekulation und ist durch die vorgelegten Daten nicht eindeutig zu belegen.

Bei der Ableitung von Schlussfolgerungen aus den vorgestellten Studien muss beachtet werden, dass ein Rückschluss von Reaktionszeit- und bildgebenden Daten gesunder Studienteilnehmer auf aphasische Muster nicht ganz unbedenklich ist. Sörös et al. (2003) präsentierten MEG Daten, die ein ähnliches Aktivierungsmuster hervorriefen, wie auch hier gefunden wurde. Das Benennen von Objekt- und Handlungsbildern führte über eine Gruppe von gesunden Teilnehmern zu vergleichbaren Aktivierungsmustern für die Nomen- und Verbbedingung. Sogar im direkten Kontrast zeigten sich keine Differenzen in der Aktivierungsstärke. Das Aktivierungsmuster bei der untersuchten aphasischen Person (JP) erwies sich jedoch als abweichend im Vergleich zur Kontrollgruppe. Es zeigte sich eine Differenz zwischen den Mustern für den Nomen- und Verbabruf. Offensichtlich ist es in der funktionellen Bildgebung nur eingeschränkt möglich, Rückschlüsse von gesunden auf gestörte Sprachverarbeitungsprozesse zu ziehen. Die Daten von Sörös et al. deuten sogar in die Richtung, dass normale Aktivierungsmuster die neurofunktionellen Abläufe bei einer aphasischen Beeinträchtigung nicht repräsentieren. Es ist denkbar, dass im Falle von kortikalen Läsionen Kompensationsmechanismen einsetzen, die das normale Aktivierungsmuster völlig verändern. Um Aufschluss darüber zu erhalten, ob sich das Aktivierungsmuster der vorliegenden Untersuchung im Falle einer aphasischen Störung verändert, ist die Durchführung des Experimentes mit Personen erforderlich, die ein selektives Nomen bzw. Verbdefizit aufweisen. Mit Vorsicht müssen auch Schlussfolgerungen von Reaktionszeitdaten auf bildgebende Daten betrachtet werden. Verschiedene Studien zeigen, dass zwischen der Reaktionszeit und der Hirnaktivierung kein fester Zusammenhang besteht. Sörös et al. zum Beispiel fand in den Reaktionszeitdaten einen Verbvorteil, jedoch keinen Unterschied in der Hirnaktivierung, Tyler et al. (2001) entdeckten keinen Unterschied in den Aktivierungsdaten,

jedoch einen Nomenvorteil in den Reaktionszeitdaten. Perani et al. (1999a) wiederum identifizierten ein ähnliches neurofunktionelles Set mit spezifischen Verbaktivierungen, konnten aber keinen Reaktionszeitunterschied finden. Inwieweit Reaktionsdaten von gesunden Personen Rückschlüsse auf das sprachliche Verhalten aphasischer Personen zulassen kann für diese Studie nicht eindeutig geklärt werden. Um dieses Problem zu lösen, sollte in einer weiteren Studie die Benennlatenz für die hier verwendeten Objekt- und Handlungsbilder auch für eine Gruppe aphasischer Personen ermittelt werden.

9.2 Übereinstimmung mit neurofunktionellen und kognitiven Modellen des Bildbenennens

Die Ergebnisse der bildgebenden Studie konnten die aktuellen neurofunktionellen Annahmen zum Bildbenennen weitestgehend bestätigen (vgl. Price 2000). Wie erwartet wurden für das Sehen von Bildern der bilaterale G. fusiformis und G. lingualis (letzterer innerhalb der ausgedehnten Kluster im okzipito-temporalen Bereich) aktiv. Regionen im posterioren inferioren Temporalgebiet (temporo-okzipitale Verbindungstelle/MT/MST) repräsentierten den semantischen Zugriff. Der phonologische Abruf beim Benennen aktivierte die BTLA und (zumindest) für artikulatorische Planungsprozesse konnten Aktivierungen im LIPC beobachtet werden.

Vor dem Hintergrund kognitiver Modellvorstellungen zum Bildbenennen müssen unabhängig vom jeweiligen Modell verschiedene Komponenten beachtet werden: die Pictogen Komponente, das semantische System, das lexikalische Outputsystem, die Komponente zur artikulatorischen Planung und für das mündliche Benennen auch die artikulatorische Umsetzung. Die Befunde der hier präsentierten Studien haben gezeigt, dass der Verbabruf grundsätzlich mehr Zeit in Anspruch nimmt als der Nomenabruf. Der Weg von der Identifikation des Bildes bzw. der Bildkomponenten bis zur artikulatorischen Planung und ggf. Umsetzung dauert beim Benennen von Handlungsbildern offensichtlich länger. Die Reaktionszeitanalysen weisen darauf hin, dass die Identifikation der Bildelemente, die Zuordnung der Bedeutung zu Bestandteilen einer Zeichnung, die Erfassung des kognitiven Konzeptes und die verbale Zuordnung eine Ursache für den Reaktionszeitnachteil beim Verbabruf sind.

Welche modelltheoretischen Aussagen können nun von den hier präsentierten Daten abgeleitet werden? Die vorgelegten Aktivierungsdaten unterstützen die Annahmen des Logogenmodells, insofern, als dass die wesentlichen Verarbeitungsebenen des Modells (Semantik, phonologischer Abruf, artikulatorische Planung) durch Aktivierungen in spezifischen kortikalen Regionen reflektiert werden (vgl. Abschnitt 2.2.2; vgl. Price 2000: 354). Grammatische Kategorien werden im Logogenmodell in den modalitätsspezifischen Lexika gespeichert. Wie in Abschnitt 3.3.2 beschrieben wurde, sind Nomen und Verben auf dieser Ebene selektiv störbar. Die vorliegenden

Daten weisen nicht auf separate Regionen für den lexikalischen Abruf der Wortkategorien hin, weil keine neurofunktionellen Dissoziationen aufgetreten sind, die mit Prozessen des lexikalischen Abrufes in Verbindung gebracht werden. Selektive Defizite auf der Grundlage einer Störung im semantischen System könnten hingegen erklärt werden, weil Hinweise auf eine stärkere Aktivierung verbrelationierter semantischer Merkmale gefunden wurden.

Die beobachteten Aktivierungsmuster unterstützen weiterhin das Lemma Modell. Auch hier können allen relevanten Verarbeitungsebenen bestimmte Aktivierungsorte zugeordnet werden (Konzeptebene = temporo-okzipitaler Kortex/MT/MST/LIPC, Lexikon mit Lemmata = LIPC & Lexemen = BTLA, phonologische und phonetische Enkodierung = BTLA/LIPC). Die vorliegenden Daten weisen darüber hinaus auf eine Verknüpfung von syntaktischer Komplexität und Vorstellbarkeit hin. Solange ein Lemma syntaktische und semantische Eigenschaften trägt, könnte die Aktivierung im LIPC tatsächlich für die Lemma Ebene stehen.

Caramazza (1997), der sich gegen eine supramodale Lemma Ebene aussprach, schrieb über das IN Modell:

"... lexical-semantic and grammatical information are independent since we can damage one without affecting the other; and syntactic and word form information are also independent of each other for the same reason." (Caramazza 1997: 203)

„We must assume either that syntactic information about different grammatical classes is represented in different areas of the brain or that lexeme representations are organised by grammatical class in different parts of the brain. We could, then, explain the patterns of selective damage to either one of the spatially segregated networks." (Caramazza 1997: 199)

Die Daten dieser Studie sprechen gegen Caramazzas Annahme, denn es wurden keine Aktivierungsmuster für eine der Wortkategorien gefunden, die wirklich spezifisch waren. Caramazzas Modellvorstellung stimmt nicht mit einem gemeinsamen neurofunktionellen Netzwerk überein, in dem Verben stärkere Aktivierungen auslösen.

Insgesamt unterstützen die Daten eine Modellvorstellung, in der Nomen und Verben nicht per se als separate Wortkategorien gespeichert sind, sondern sie sprechen für ein flexibles System mit graduellen Merkmalen in syntaktischer, konzeptuell-semantischer, phonologischer oder morphologischer Dimension auf einer Skala mit den Polen nomenhaft und verbhaft (vgl. Ross 1973; Walter 1981; für einen Überblick: Sasse 1993; vgl. Abschnitt 3.1.1). Die Gesamtheit aller Merkmale formt ein spezifisches Merkmalsbündel, aus dem sich ein Nomen oder Verb ergibt. Im Falle einer neurogenen Sprachstörung könnten Merkmale selektiv oder parallel gestört sein. Diese konnektionistisch anmutende Modellvorstellung, könnte vielleicht die vielen unterschiedlichen aphasischen Leistungsmuster und Störungslokalisationen erklären. Beispielhaft für einen solchen

Ansatz ist das SICI-Modell von Maguire et al. (2006), die den Verberwerb im Kindesalter untersuchten. Besonders im Bezug auf die konzeptuell-semantische Ebene sprechen sich die Autoren gegen ein dichotomes kategorielles System aus und favorisieren stattdessen ein Kontinuum an Merkmalen, auf denen die Verarbeitung von Nomen und Verben beruht. Vier Faktoren spannen den Merkmalsraum auf: Form, Individuation, Konkretheit und Vorstellbarkeit. In diesem Kontinuum lassen sich Nomen und Verben abbilden, die relativ nah an den Polen der Merkmalsskalen liegen, aber auch Items, bei denen die Grenze zwischen den Wortkategorien verschwimmt. Das Modell erklärt daher sowohl categoriespezifische als auch überlappende Effekte in der Verarbeitung von Nomen und Verben. Weitere Forschung ist jedoch notwendig, um diese Annahme zu verifizieren bzw. auf andere Merkmalsebenen zu übertragen.

9.3 Schlussfolgerungen und Ausblick

Dieses Dissertationsprojekt hatte zum Ziel, einen Beitrag zur Diskussion um neurofunktionelle und kognitive Modelle zur Verarbeitung von Nomen und Verben zu leisten. Mit Hilfe von Vorstudien zur Validierung des Stimulusmaterials, Reaktionszeitstudien und bildgebenden Verfahren können folgende Schlußfolgerungen gezogen werden:

- Die Produktion von Nomen und Verben beim Bildbenennen basiert auf einem gemeinsamen neuronalen Netzwerk, das sich aus kortikalen Strukturen im Frontal-, Parietal- und Temporallappen zusammensetzt. Eine besondere Bedeutung kommt dabei dem linken inferioren präfrontalen Kortex (LIPC), der bilateralen temporo-okzipitalen Schnittstelle (einschließlich des mittleren und unteren Temporallappens sowie MT) und linksbetont dem inferioren parietalen Kortex zu.
- Die Produktion von Verben führt zu einer stärkeren Aktivierung des gemeinsamen neuronalen Netzwerkes im LIPC und der bilateralen temporo-okzipitalen Schnittstelle (einschließlich des mittleren und unteren Temporallappens sowie MT).
- Es besteht keine anterior-posterior Dissoziation für die Produktion von Nomen und Verben. Die Produktion von Verben beruht nicht ausschließlich auf Aktivierungen im Frontallappen. Die Produktion von Nomen steht nicht ausschließlich im Zusammenhang mit Aktivierungen im Temporallappen.
- Der Unterschied in der Aktivierungsstärke von Nomen und Verben ist multifaktoriell.
- Stärkere LIPC Aktivierung für Verben sind mindestens auf die Faktoren Vorstellbarkeit und Wortlänge zurückzuführen. Ein Beitrag morphologischer und syntaktischer Faktoren kann jedoch nicht ausgeschlossen werden.
- Stärkere Aktivierung in der bilateralen temporo-okzipitalen Schnittstelle (einschließlich des mittleren und unteren Temporallappens sowie MT) für die Produktion von Verben sind auf

semantische und perzeptive Faktoren (z.B. Wissen über Handlungen/Verben, Bewegungsmerkmale, Bewegungsvorstellung) zurückzuführen.

- Das Erwerbsalter (Alter der spontanen Produktion) moduliert die Hirnaktivierung bei der Produktion von Nomen und Verben. Spät erworbene Wörter führen zu Aktivierungen im linken inferioren Frontallappen und im basal-temporalen Sprachareal. Früh erworbene Wörter führen zu einer Aktivierung im bilateralen Präcuneus.
- Aktivierungen im linken inferioren Frontallappen und im basal-temporalen Sprachareal bei spät erworbenen Wörtern reflektieren semantisch-phonologische Abrufprozesse.
- Objektbilder werden konsistent schneller benannt als Abbildungen von Handlungen.
- Die Ursache dieser Reaktionszeitdifferenz ist multifaktoriell. Der Reaktionszeitnachteil für das Benennen von Handlungsbildern hat vielfältige Ursachen und wird durch konzeptuelle (komplexere Verbkonzepte), linguistische (Vorstellbarkeit, Wortlänge, Morphologie, Syntax) und aufgabenspezifische Parameter („scene parsing“) hervorgerufen.
- Das Benennen von Nomen und Verben wird von unterschiedlichen psycholinguistischen Faktoren beeinflusst. Dabei werden die Reaktionszeiten beim Objektbenennen am stärksten durch das Erwerbsalter (Alter der spontanen Produktion) und die lexikalische Frequenz beeinflusst. Das Benennen von Handlungen hingegen wird am stärksten von der Benennübereinstimmung beeinflusst.
- Die gängigen Datenerhebungen zur Feststellung des Erwerbsalters (Elternbefragung, subjektive Schätzung, Bildbenennen bei Kindern) korrelieren für Nomen hoch signifikant miteinander. Dies trifft für Verben nicht immer zu.

Im Bezug auf die neurofunktionellen Modellvorstellungen zum Benennen kann aus den Daten abgeleitet werden, dass spezifische linguistische Verarbeitungsmechanismen Aktivierungen in spezifischen Kortexarealen zugeordnet werden können und diese Zuordnung in Übereinstimmung mit aktuellen neurofunktionellen Modellvorstellungen (z.B. Price 2000) steht. Jedoch zeigt sich ganz klar, dass diese Zuordnung *nicht eineindeutig* ist, d.h. ein spezifisches Kortexareal kann auch für unterschiedliche linguistische Verarbeitungsmechanismen stehen. Die Zusammenhänge zwischen spezifischen Kortexarealen und linguistischen Verarbeitungsmechanismen können bislang weder durch die vorliegende noch durch andere Untersuchungen eindeutig geklärt werden. Ein interessanter neuer Aspekt, der durch diese Untersuchung deutlich geworden ist, ist die Tatsache, dass das Erwerbsalter die Hirnaktivierung beim Wortabruf modulieren kann. Zukünftige Studien müssen nun evaluieren, welcher kognitive Mechanismus diesem Phänomen zugrunde liegt. Hinsichtlich der kognitiven Modellvorstellungen zum Benennen von Objekt- und Handlungsbildern kann geschlussfolgert werden, dass im Gegensatz zum Logogen- und Lemma-Modell die neuroanatomischen Vorhersagen des IN Modells von Caramazza (1997) nicht zutreffend sind. Die Daten unterstützen hingegen eine Modellvorstellung, bei der Nomen und

Verben in einem flexiblen System mit graduellen Merkmalen in syntaktischer, semantischer, phonologischer etc. Dimension gespeichert sind (vgl. Maguire 2006). Ein lexikalisches Item wäre demnach ein Merkmalsbündel, das sich aus verschiedenen stark ausgeprägten Merkmalen in unterschiedlichen linguistischen Dimensionen zusammensetzt. Solch ein Modell ist am besten vor dem Hintergrund konnektionistischer Sichtweisen konstruierbar.

Abschließend muss festgestellt werden, dass funktionell-bildgebende Methoden zwar einen bedeutenden Beitrag zur Erforschung der Arbeitsweise des Gehirns leisten können, jedoch relativ grobe Instrumente der neurolinguistischen Forschung sind. Sie liefern keine klaren Hinweise auf feine Unterscheidungen in kognitiven Modellen der Wortverarbeitung. Bei der Ableitung modelltheoretischer Annahmen aus bildgebenden Daten ist Vorsicht geboten, denn hochinteressante Aktivierungsmuster lassen häufig die Art und Weise ihrer Entstehung vergessen. Bei der Interpretation von fMRT Daten sollte stets berücksichtigt werden, dass das Verfahren zum einen nicht auf synaptischer Aktivität, sondern auf Blutfluss- und Blutvolumenänderungen beruht. Zum anderen werden weit überwiegend Gruppenstudien durchgeführt. Dabei durchlaufen die individuellen Rohdaten verschiedenste mathematische Routinen und erfahren komplexe Transformationen, bevor sie als Aktivierungsdaten ausgewertet werden können. Das individuelle Aktivierungsmuster, der sogenannte Einzelfall, bleibt unbeachtet. Aus diesen Gründen kann resümiert werden, dass funktionell-bildgebende Daten noch zu undifferenziert sind, um feine modelltheoretische Unterschiede erfassen zu können. Multiple Einzelfallstudien des sprachlichen Verhaltens von aphasischen Personen können durch funktionell-bildgebende Studien derzeit nicht ersetzt werden.

Um mit funktionell-bildgebenden Verfahren dennoch einen differenzierten Einblick in die menschliche Kognition zu erhalten, ist es notwendig, Methoden der Hirnforschung miteinander zu kombinieren, wobei diese Methoden verstärkt auch bei aphasischen Personen zum Einsatz kommen sollten. In der Kombination von neuropsychologischen Verhaltensexperimenten, struktureller und funktioneller Bildgebung zeigt sich die Stärke der fMRT. Ergebnisse aus Verhaltensstudien können mit Hilfe der Methode relativiert bzw. korrigiert werden. Dies zeigt sich eindrucksvoll auch an den vorliegenden Daten. So weisen die Ergebnisse der fMRT Studie darauf hin, dass die aus Verhaltensstudien stammende Annahme einer doppelten Dissoziation für die Nomen/Verbverarbeitung mangels neurofunktioneller Evidenz kritisch überdacht werden muss (vgl. Diskussion über doppelte Dissoziationen in *Cortex* 2003, 39).

Die Aufgabe der zukünftigen Forschung auf dem Gebiet der Wortkategorien und des mentalen Lexikons wird es sein, Evidenzen aus neuropsychologischen Verhaltensstudien und Studien mit modernen Verfahren der Hirnforschung zusammenzubringen. Nur die kumulative Evidenz aus verschiedenen Verfahren wird Aufschluss über die komplexe Architektur des menschlichen Sprachsystems erbringen können.

Literaturverzeichnis

- Aertsen A & Preissl H (1991). Dynamics of activity and connectivity in physiological neuronal networks. In: H.G. Schuster (Ed.), *Non Linear Dynamics and Neuronal Networks*. New York: VCH.
- Aggujaro S, Crepaldi D, Pistarini C, Taricco M & Luzzatti C (2006). Neuro-anatomical correlates of impaired retrieval of verbs and nouns: interaction of grammatical class, imageability and actionality. *Journal of Neurolinguistics*, 19, 175-194.
- Aguirre GK & D'Esposito M (1999). Experimental design for brain fMRI. In: C.T.W. Moonen & P.A. Bandettini (Eds.), *Functional MRI* (pp. 369-380). Berlin: Springer Verlag.
- Alexander MP, Hiltbrunner B & Fischer RS (1989). Distributed anatomy of transcortical sensory aphasia. *Archives of Neurology*, 46, 885-892.
- Attwell D & Iadecola C (2002). The neural basis of functional brain imaging signals. *Trends in Neurosciences*, 25, 621-625.
- Au R, Joung P, Nickolas M, Obler LK, Kass, R & Albert ML (1995). Naming ability across the adult life span. *Aging and Cognition*, 2, 300-311.
- Baayen RH, Piepenbrock R, & Gulikers L (1995). *The CELEX Lexical Database (Release 2)* [CD-ROM]. Philadelphia, PA, Linguistic Data Consortium, University of Pennsylvania.
- Bak T & Hodges JR (1997). Noun-verb dissociation in three patients with motor neuron disease and aphasia. *Brain and Language*, 60, 38-41.
- Bak T, O'Donovan D, Xuereb J, Boniface S & Hodges J (2001). Selective impairment of verb processing associated with pathological changes in Brodmann areas 44 and 45 in the motor neurone disease-dementia-aphasia syndrome. *Brain*, 124, 103-120.
- Baker AT, Jalinous R & Freeston IL (1985). Non-invasive magnetic stimulation of human motor cortex [letter]. *Lancet*, 1, 1106-7.
- Barde LH & Thompson-Schill SL (2002). Models of functional organization of lateral prefrontal cortex in verbal working memory: evidence in favour of the process model. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 14, 1054-1063.
- Barresi B, Nicholas M., Connor LT, Obler LK & Albert ML (2000). Semantic degradation and lexical access in age-related naming failures. *Aging, Neuropsychology, and Cognition*, 7, 169-178.
- Barry C & Gerhand S (2003). Both concreteness and age-of-acquisition affect reading accuracy but only concreteness affects comprehension in a deep dyslexic patient. *Brain and Language*, 84, 84-104.
- Barry C, Morrison C, Ellis A (1997). Naming the Snodgrass and Vanderwart pictures: effects of age of acquisition, frequency, and name agreement. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 50A, 560-585.
- Bassano D (2000). Early development of nouns and verbs in French, exploring the interface between lexicon and grammar. *Journal of Child Language*, 27, 521-559.
- Basso A, Razzano C, Faglioni P & Zanobio E (1990). Confrontation naming, picture description and action naming in aphasic patients. *Aphasiology*, 4, 185-195.
- Bastiaanse R & Jonkers R (1998). Verb retrieval in action naming and spontaneous speech in agrammatic and anomia aphasia. *Aphasiology*, 12, 951-969.
- Bastiaanse R, Rispens J, Ruigendijk E, Rabadán OJ & Thompson CK (2002). Verbs: some properties and their consequences for agrammatic Broca's aphasia. *Journal of Neurolinguistics*, 15, 239-264.
- Bates E, Burani C, D'Amico S & Barca L (2001). Word reading and picture naming in Italian. *Memory & Cognition*, 29, 986-999.
- Bates E, Chen S, Tzeng O, Li P & Opie M (1991). The noun-verb problem in Chinese. *Brain and Language*, 41, 203-233.
- Bates E, Marchman V, Thal D, Fenson L, Dale P, Reznick J, Reilly J & Hartung J (1994). Developmental and stylistic variation in the composition of early vocabulary. *Journal of Child Language*, 21, 85-123.
- Bates E, D'Amico S, Jacobsen T, Székely A, Andonova E, Devescovi A, Herron D, Lu CC, Pechmann T, Pléh C, Wicha N, Federmeier K, Gerdjikova I, Gutierrez G, Hung D, Hsu J, Iyer G, Kohnert K, Mehotcheva T, Orozco-Figueroa A, Tzeng A & Tzeng O (2003). Timed picture naming in seven languages. *Psychological Bulletin & Review*, 10, 344-380.

- Baumgärtner A & Postler J (2003). Neuroimaging und Aphasieforschung: Methode, Interpretation, Implikation. Workshop auf der Tagung der Gesellschaft für Aphasieforschung- und Behandlung (GAB), Leipzig.
- Baumgärtner A & Tompkins CA (1998). Beyond frequency: predicting auditory word recognition in normal elderly adults. *Aphasiology*, 12, 601-617.
- Baumgärtner A, Weiller C & Büchel C (2002). Event-related fMRI reveals cortical sites involved in contextual sentence integration. *NeuroImage*, 16, 736-745.
- Baxter DM & Warrington EK (1985). Category-specific phonological dysgraphia. *Neuropsychologia*, 23, 653-666.
- Beauchamp MS (2005). See me, hear me, touch me: multisensory integration in lateral occipital-temporal cortex. *Current Opinion in Neurobiology*, 15, 145-153.
- Behrens H (1999). Was macht Verben zu einer besonderen Kategorie im Spracherwerb? In: J. Meibauer & M. Rothweiler, *Das Lexikon im Spracherwerb* (pp. 32-59). UTB.
- Bell B, Davies K, Hermann B & Walters G (2000). Confrontation naming after anterior temporal lobectomy is related to age of acquisition of the object names. *Neuropsychologia*, 38, 83-92.
- Ben-Shachar M, Hendler T, Kahn I, Ben-Bashat D & Grodzinsky Y (2003). The neural reality of syntactic transformations: evidence from fMRI. *Psychological Science*, 14, 433-440.
- Ben-Shachar M, Palti D, Grodzinsky Y (2004). Neural correlates of syntactic movement: converging evidence from two fMRI experiments. *NeuroImage* 21, 1320-1336.
- Berndt R, Mitchum C, Haendiges A. & Sandson J (1997a). Verb retrieval in aphasia. *Brain and Language*, 56, 68-106.
- Berndt R, Haendiges AN & Wozniak MA (1997b). Verb retrieval and sentence processing, dissociation of an established symptom association. *Cortex*, 33, 99-114.
- Berndt RS, Haendiges AN, Burton NW & Mitchum CC (2002). Grammatical class and imageability in aphasic word production: their effects are independent. *Journal of Neurolinguistics*, 15, 353- 371.
- Binder J, Frost J, Hammeke P, Bellgowan P, Rao S & Cox R (1999). Conceptual processing during the conscious resting state. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 11, 80-93.
- Binder J, Frost J, Hammeke T, Cox R, Rao S & Prieto T (1997). Human brain language areas identified by functional magnetic resonance imaging. *Journal of Neuroscience*, 17, 353-362.
- Binkofski F, Amunts K, Stephan K, Posse S, Schormann T, Freund H, Zilles K & Seitz R (2000). Broca's region subserves imagery of motion, a combined cytoarchitectonic and fMRI study. *Human Brain Mapping*, 11, 273-285.
- Bird H, Howard D & Franklin S (2000a). Why is a verb like an inanimate object? Grammatical category and semantic category deficits. *Brain and Language*, 72, 246-309.
- Bird H, Lambon Ralph M, Patterson K & Hodges J (2000b). The rise and fall of frequency and imageability: noun and verb production in semantic dementia. *Brain and Language*, 73, 17-49.
- Bird H, Howard D & Franklin S (2001). Noun-verb differences? A question of semantics: a response to Shapiro and Caramazza. *Brain and Language*, 76, 213-222.
- Black M & Chiat S (2000). Putting thoughts into verbs: Developmental and acquired impairments. In: W. Best, K. Bryan, & J. Maxim (Eds.), *Semantic Processing, Theory and Practice* (pp. 52-79). London: Whurr Publishers.
- Black M & Chiat S (2003). Noun-verb dissociations: A multifaceted phenomenon. *Journal of Neurolinguistics*, 16, 231-250.
- Blanken G (1996). Psycholinguistische Modelle der Sprachproduktion und neurolinguistische Diagnostik. *Neurolinguistik*, 10, 29-62.
- Bloom L, Tinker E & Margulis C (1993). The words children learn, evidence against a noun bias in early vocabularies. *Cognitive Development*, 8, 431-450.
- Bogka N, Masterson J, Druks J, Fragkioudaki M, Chatziprokopiou ES & Economou K (2003). Object and action picture naming in English and Greek. *European Journal of Cognitive Psychology*, 15 (3), 371-403.
- Bonin P, Chalard M, Méot A & Fayol M (2002). The determiners of spoken and written picture naming latencies. *British Journal of Psychology*, 93, 89-114.
- Bookheimer SY, Zeffiro TA, Blaxton T, Gaillard T, Theodore W (1995). Regional cerebral blood flow during object naming and word reading. *Human Brain Mapping*, 3, 93-106.
- Born R & Bradley D (2005). Structure and function of visual area MT. *Annual Reviews in Neuroscience*, 28, 157-189.
- Bornkessel I, Zysset S, Friederici A, von Cramon D & Schlesewsky M (2005). Who did what to whom? The neural basis of argument hierarchies during language comprehension. *NeuroImage*, 26, 221-233.
- Bortz J & Döring N (1995). *Forschungsmethoden und Evaluation für Sozialwissenschaftler* (2. Auflage). Berlin, Heidelberg: Springer.

- Bortz J (1993). *Statistik für Sozialwissenschaftler* (4. Auflage). Berlin: Springer.
- Brandt S, Ploner C & Meyer B (1997). Repetitive transkranielle Magnetstimulation. *Nervenarzt*, 68, 778-784.
- Breedin S & Martin R (1996). Patterns of verb impairment in aphasia: an analysis of four cases. *Cognitive Neuropsychology*, 13, 51-91.
- Breedin S, Saffran E & Coslett H (1994). Reversal of the concreteness effect in a patient with semantic dementia. *Cognitive Neuropsychology*, 11, 617-660.
- Breedin SD, Saffran EM & Schwartz MF (1998). Semantic factors in verb retrieval: an effect of complexity. *Brain and Language*, 63, 1-31.
- Broca P (1861). Remarques sur le siège de la faculté du langage articulé; suivies d'une observation d'aphemie. *Bulletin de la Société Anatomique de Paris*, 6, 330-357.
- Brodman K (1909). Vergleichende Lokalisationslehre der Grosshirnrinde in ihren Prinzipien dargestellt auf Grund des Zellenbaumes. Leipzig: Barth.
- Brown GD & Watson FL (1987). First in, first out: word learning age and spoken word frequency as predictors of word familiarity and word naming latency. *Memory & Cognition*, 15, 208-216.
- Brown P (1998). Children's first verbs in Tzeltal: evidence for an early verb category. In: E.V.M. Lieven (Ed.), Special Issue: Developing a Verb Category: Cross-Linguistic Perspectives. *Linguistics*, 36-4, 713-755.
- Brown W, Lehmann D & Marsh J (1980). Linguistic meaning related differences in evoked potential topography, English, Swiss-German, and imagined. *Brain and Language*, 11, 340-353.
- Brown W, Marsh J & Smith J (1976). Evoked potential waveform differences produced by the perception of different meanings of an ambiguous phrase. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 41, 113-123.
- Brown W, Marsh J & Smith J (1979). Principal component analysis of ERP differences related to meaning of an ambiguous word. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 46, 709-714.
- Brysbaert M, Wijnendaele IV & De Deyne S (2000). Age-of-acquisition effects in semantic processing tasks. *Acta Psychologica*, 104, 215-226.
- Buckner RL & Braver TS (1999). Event-related functional MRI. In: C.T.W. Moonen & P.A. Bandettini (Eds.), *Functional MRI* (pp. 441-452). Berlin: Springer Verlag.
- Buckner RL, Raichle ME & Petersen, SE (1995). Dissociation of human prefrontal cortical areas across different speech production tasks and gender groups. *Journal of Neurophysiology*, 74, 2163-2173.
- Burnstine T, Lesser R, Hart Jr. J, Uematsu S, Zinreich S, Krauss G, Fisher R, Vining E & Gordon B (1990). Characterization of the basal temporal language area in patients with left temporal lobe epilepsy. *Neurology*, 40, 966-970.
- Bußmann H (1990). *Lexikon der Sprachwissenschaft*. Stuttgart: Kröner.
- Butterworth BL, Howard D & McLoughlin PJ (1984). The semantic deficit in aphasia: the relationship between semantic errors in auditory comprehension and picture naming. *Neuropsychologia*, 22, 409-426.
- Capitani E, Laiacona M, Mahon B & Caramazza A (2003). What are the facts of semantic category-specific deficits? A critical review of the clinical evidence. *Neuropsychology*, 20, 213-261.
- Caplan D, Alpert N, Waters G & Olivieri A (2000). Activation of Broca's area by syntactic processing under conditions of concurrent articulation. *Human Brain Mapping*, 9, 65-71.
- Caplan D, Gow D, Makris N (1995). Analysis of lesions by MRI in stroke patients with acoustic-phonetic processing deficits. *Neurology*, 45, 293-298.
- Cappa S, Perani D, Schnur T, Tettamanti M & Fazio F (1998). The effects of semantic category and knowledge type on lexical-semantic access: a PET study. *NeuroImage*, 8, 350-359.
- Cappa SF & Perani D (2003). The neural correlates of noun and verb processing. *Journal of Neurolinguistics*, 16, 183-189.
- Cappa SF, Sandrini M, Rossini PM, Sosta K & Miniussi C (2002). The role of the left frontal lobe in action naming: rTMS evidence. *Neurology*, 59, 720-723.
- Caramazza A (1997). How many levels of processing are there in lexical access? *Cognitive Neuropsychology*, 14, 177-208.
- Caramazza A & Berndt RS (1985). A multicomponent deficit view of agrammatic Broca's aphasia. In: M.-L. Kean (Ed.), *Agrammatism*. Orlando, FL: Academic Press.
- Caramazza A & Hillis A (1991). Lexical organization of nouns and verbs in the brain. *Nature*, 349, 788-790.
- Caramazza A & Miozzo M (1997). The relationship between syntactic and phonological knowledge in lexical access: evidence from the "tip-of-the-tongue" phenomenon. *Cognition*, 64, 309-343.
- Caramazza A & Shelton J (1998). Domain-specific knowledge systems in the brain: the animate-inanimate distinction. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 10, 1-34.
- Caramazza A, Hillis A, Rapp B & Romani C (1990). The multiple semantics hypothesis: multiple confusions? *Cognitive Neuropsychology*, 7, 161-189.

- Carroll J & White M (1973a). Age of acquisition norms for 220 pictureable nouns. *Journal of Verbal Learning & Verbal Behavior*, 12, 563-576.
- Carroll J & White M (1973b). Word frequency and age of acquisition as determiners of picture-naming latency. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 25, 85-95.
- Caselli MC, Bates E, Casadio P, Fenson J, Sanderl L & Weir J (1995). A cross-linguistic study of early lexical development. *Cognitive Development*, 10, 59-199.
- Charcot JB (1883a). Des différentes formes de l'aphasie. I. De la cécité verbale. *Progrès Médicale*, 11, 441-469.
- Charcot, J.B. (1883b). Un cas de suppression brusque et isolée de la vision mentale des signes et des objets (formes et couleurs). *Progrès Médicale*, 11, 568-571.
- Chen S & Bates E (1998). The dissociation between nouns and verbs in Broca's and Wernicke's aphasia: Findings from Chinese. *Aphasiology*, 12, 5-36.
- Chertkow H, Bub D, Deaudon C & Whitehead V (1997). On the status of object concepts in aphasia. *Brain and Language*, 58, 203-232.
- Chiarello C, Liu S, Shears C & Kacirik N (2002). Differential asymmetries for recognizing nouns and verbs: where are they? *Neuropsychology*, 16, 35-48.
- Choi S (1998). Verbs in early lexical and syntactic development in Korean. *Linguistics*, 36, 755-781.
- Cholewa J & De Bleser R (1995). Neurolinguistische Evidenz für die Unterscheidung morphologischer Wortbildungsprozesse: Dissoziation zwischen Flexion, Derivation und Komposition. *Linguistische Berichte*, 158, 259-297.
- Chung GH, Han YM, Jeong SH & Clifford RJ Jr. (2005). *American Society of Neuroradiology*, 26, 1819-1823.
- Cohen L, Dehaene S, Chochon F, Lehéricy S & Naccache L (2000). Language and calculation within the parietal lobe: a combined cognitive, anatomical and fMRI study. *Neuropsychologia*, 38, 1426-1440.
- Collina S, Marangolo P & Tabossi P (2001). The role of argument structure in the production of nouns and verbs. *Neuropsychologia*, 39, 1125-1137.
- Colombo L & Burani C (2002). The influence of age of acquisition, root frequency, and context availability in processing nouns and verbs. *Brain and Language*, 81, 398-411.
- Coltheart M (1978). Lexical access in simple reading tasks. In: G. Underwood (Ed.), *Strategies of Information Processing* (pp. 151-216). London: Academic Press.
- Connolly JF & Phillips NA (1994). Event-related potential components reflect phonological and semantic processing of the terminal word of spoken sentences. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 6, 256-266.
- Corina P, Gibson E, Martin R, Poliakov A, Brinkley J & Ojemann A (2005). Dissociation of action and Object naming: evidence from cortical stimulation mapping. *Human Brain Mapping*, 24, 1-10.
- Crepaldi D, Aggajaro S, Arduino L, Zonca G, Ghirardi G, Inzaghi M, Colombo M, Chierchia G & Luzzatti C (2006). Noun-verb dissociation in aphasia: the role of imageability and functional locus of the lesion. *Neuropsychologia*, 44, 73-89.
- Cuetos F & Alija M (2003). Normative data and naming times for action pictures. *Behavior Research Measures, Instruments, and Computers*, 35(1), 168-177.
- Cuetos F, Ellis AW & Alvarez B (1999). Naming times for the Snodgrass and Vanderwart pictures in Spanish. *Behavior Research and Methods, Instruments, and Computers*, 31, 650-658.
- D'Amico S, Bentrovato S, Gasparini M, Costabile D & Bates E (2002). *Timed picture naming in Italian speaking children and adults: differences between nouns and verbs*. Vortrag auf der International Association for the Study of Child Language Conference. Madison, Wisconsin.
- D'Amico S, Devescovi A & Bates E (2001). Picture naming and lexical access in Italian children and adults. *Journal of Cognition & Development*, 2, 71-105.
- D'Oroldico L, Carubbi S, Salerni N & Calvo V (2001). Vocabulary development in Italian children: a longitudinal evaluation of quantitative and qualitative aspects. *Journal of Child Language*, 28, 351-372.
- Damasio A & Tranel D (1993). Nouns and verbs are retrieved with differently distributed neural systems. *Proceedings of the National Academy of Science of the USA*, 90, 4957-4960.
- Damasio H, Grabowski T, Tranel D, Hichwa R & Damasio A (1996). A neural basis for lexical retrieval. *Nature*, 380, 499-505.
- Damasio H, Grabowski T, Tranel D, Ponto L, Hichwa R & Damasio A (2001). Neural correlates of naming actions and of naming spatial relations. *NeuroImage*, 13, 1053-1064.
- Damasio H, Tranel D, Grabowski TJ, Adolphs R & Damasio AR (2004). Neural systems behind word and concept retrieval. *Cognition*, 92, 179-229.
- Daniele A, Giustolisi L, Silveri M, Colosimo C & Gainotti G (1994). Evidence for a possible neuroanatomical basis for lexical processing of nouns and verbs. *Neuropsychologia*, 32, 1325-1341.

- Daniele A, Silveri M, Giustolisi L & Gainotti G (1993). Category-specific deficits for grammatical classes of words: evidence for possible anatomical correlates. *Italian Journal of Neurological Sciences*, 14, 87-94.
- Davidoff J & Masterson J (1996). The development of picture naming: differences between verbs and nouns. *Journal of Neurolinguistics*, 9, 69-83.
- De Bleser R (1997a). Modality-specific lexical dissociations. In: H. Goodglass & A. Wingfield (Hrsg.), *Anomia: Neuroanatomical and Cognitive Correlates* (pp. 93-114). New York: Academic Press.
- De Bleser R. (1997b). Neuere Vorschläge und Kontroversen zur Modellierung des mentalen Lexikons. In: W. Widding, T. Pollow, I. Ohlendorf & J. Malin (Hrsg.), *Aphasiologie in den Neunzigern. Therapie und Diagnostik im Spannungsfeld von Neurolinguistik, Pragmatik und Gesundheitspolitik* (pp. 63-79). Freiburg: Hochschul Verlag.
- De Bleser R & Bayer J (1988). Morphological reading errors in a German case of deep dyslexia. In: J. Nespoulous & P. Villiard (Eds.), *Morphology, Phonology and Aphasia* (pp. 32-59). New York: Springer.
- De Bleser R & Kauschke C (2003). Acquisition and loss of nouns and verbs. parallel or divergent patterns? *Journal of Neurolinguistics*, 16, 213-229.
- De Bleser R, Cholewa J, Stadie N & Tabatabaie S (1997c). LeMo: an expert system for single case assessment of word processing impairments in aphasic patients. *Neuropsychological Rehabilitation*, 7, 339-365.
- De Renzi E & di Pellegrino G (1995). Sparing of verbs and preserved, but ineffectual reading in a patient with impaired word production. *Cortex*, 31, 619-636.
- De Renzi E & Lucchelli F (1994). Are semantic systems separately represented in the brain? The case of living category impairment. *Cortex*, 30, 3-25.
- Dehaene S (1995). Electrophysiological evidence for category-specific word processing in the normal human brain. *Neuroreport*, 6, 2153-2157.
- Dehaene S, Le Clec'H G, Poline JB, Bihan DL & Cohen L (2002). The visual word form area: a prelexic representation of visual words in the fusiform gyrus. *NeuroReport*, 13, 321-325.
- Déjerine J (1891). Sur en cas de cécité verbale avec agraphie, suivi d'autopsie. Compte rendu des séances de la société de biologie. *Mémoires Société Biologique*, 3, 197-201.
- Déjerine J (1892). Contribution à l'étude anatomique et clinique des différentes variétés de cécité verbal. *Mémoires de la Société de Biologie*, 4, 61-90.
- Dell GS (1986). A spreading activation theory of retrieval in sentence production. *Psychological Review*, 93, 283-321.
- Dell GS (1988). The retrieval of phonological forms in production: test of predictions from a connectionist model. *Journal of Memory and Language*, 27, 124-142.
- Demb J, Desmond J, Wagner A, Vaidya C, Glover G & Gabrieli J (1995). Semantic encoding and retrieval in the left inferior prefrontal cortex: a functional MRI study of task difficulty and process specificity. *Journal of Neuroscience*, 15, 5870-5878.
- Demonet J, Chollet F, Ramsay S, Cardebat D, Nespoulous J, Wise R, Rascol A & Frackowiak R (1992). The anatomy of phonological and semantic processing in normal subjects. *Brain*, 115, 1753-1768.
- Demonet J, Price C, Wise R & Frackowiak R (1994). A PET study of cognitive strategies in normal subjects during language tasks: influence of phonetic ambiguity and sequence processing on phoneme monitoring. *Brain*, 117, 671-682.
- Denes G & Dalla Barba G (1998). G.B. Vico, precursor of cognitive neuropsychology? The first reported case of noun-verb dissociation following brain damage. *Brain and Language*, 62, 29-33.
- Desmond J, Gabrieli J, Wagner A, Ginier B & Glover G (1997). Lobular patterns of cerebellar activation in verbal working-memory and finger-tapping tasks as revealed by functional MRI. *Journal of Neuroscience*, 17, 9675-9685.
- D'Esposito M, Detre J, Aguirre G, Stallcup M, Alsop D, Tippet L & Farah M (1997). A functional MRI study of mental image generation. *Neuropsychologia*, 35, 725-730.
- Devlin J, Matthews P & Rushworth M (2003). Semantic processing in the left inferior prefrontal cortex: a combined functional magnetic resonance imaging and transcranial magnetic stimulation study. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 15, 71-84.
- Devlin J, Moore CJ, Mummery CJ, Gorno-Tempini ML, Phillips J, Noppeney U, Frackowiack RS, Friston KJ & Price CJ (2002b). Anatomic constraints on cognitive theories of category specificity. *NeuroImage*, 15, 675-685.
- Devlin J, Russel R, Davis M, Price C, Moss H, Fadili M & Tyler L (2002a). Is there an anatomical basis for category-specificity? Semantic memory studies in PET and fMRI. *Neuropsychologia*, 40, 54-75.
- Dromi E (1987). *Early lexical development*. Cambridge: CUP.

- Druks J & Froud K (2000). The syntax of single words, evidence from a patient with a selective function word reading deficit. *Cognitive Neuropsychology*, 32, 1325-1341.
- Druks J & Masterson J (2000). *An object and action naming battery*. Hove, UK, Psychology Press.
- Druks J (2002). Verbs and nouns – a review of the literature. *Journal of Neurolinguistics*, 15, 289-315.
- Duden in 12 Bänden (1995). *Die Grammatik*. Bibliographisches Institut & F.A. Brockhaus AG.
- Duden in 12 Bänden (1998). *Das Aussprachewörterbuch*. Bibliographisches Institut & F.A. Brockhaus AG.
- Ellis AW & Lambon Ralph MA (2000). Age of acquisition effects in adult lexical processing reflect loss of plasticity in maturing systems: insights from connectionist networks. *Journal of Experimental Psychology, Learning, Memory, and Cognition*, 26, 1103-1123.
- Ellis AW & Morrison CM (1998). Real age-of-acquisition effects in lexical retrieval. *Journal of Experimental Psychology, Learning, Memory, and Cognition*, 24, 515-523.
- Etard O, Mellet E, Papathanassiou D, Benali K, Houde O, Mazoyer B & Tzourio-Mazoyer N (2000). Picture naming without Broca's and Wernicke's Area. *Neuroreport*, 11, 617-622.
- Farah MJ, McMullen PA & Meyer MM (1991). Can recognition of living things be selectively impaired? *Neuropsychologia*, 29, 185-193.
- Federmeier K, Segal J, Lombrozo T & Kutas M (2000). Brain responses to nouns, verbs and class-ambiguous words in context. *Brain*, 123, 2552-2566.
- Fenson L, Dale P, Reznick S, Bates E, Thal D & Pethick Set (1994). Variability in early communicative development. *Monographs of the Society for Research in Child Development*.
- Fiebach C, Friederici A, Müller K & von Cramon D (2002a). fMRI Evidence for dual routes to the mental lexicon in visual word recognition. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 14, 11-23.
- Fiebach C, Friederici A, Müller K, von Cramon D & Hernandez A (2003). Distinct brain representations for early and late learned words. *NeuroImage*, 19, 1627-1637.
- Fiebach C, Maess B & Friederici A (2002b). Neuromagnetic evidence that differences in noun and verb processing are modulated by the presence of a syntactic context. In: J. Haueisen, H. Nowak, F. Gießler & R. Huonker (Eds.), *Proceedings in Biomagnetism 2002, 13th International Conference on Biomagnetism*. Jena: Germany.
- Fiez J (1997). Phonology, semantics, and the role of the left inferior prefrontal cortex. *Human Brain Mapping*, 5, 79-83.
- Fiez J, Raichle M, Balota D, Tallal P & Petersen S (1996). PET activation of posterior temporal regions during auditory word presentation and verb generation. *Cerebral Cortex*, 6, 1-10.
- Fodor JA (1983). *The modularity of mind*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Forde E & Humphreys G (1999). Category-specific recognition impairments: a review of important case studies and influential theories. *Aphasiology*, 13, 169-193.
- Forster KI (1976). Accessing the mental lexicon. In: R.J. Wales & E.C.T. Walker (Eds.), *New Approaches to the Language Mechanisms* (pp. 257-287). Amsterdam: North Holland.
- Foundas A, Daniels S & Vasterling J (1998). Anomia: case studies with lesion localization. *Neurocase*, 4, 35-43.
- Fox PT & Raichle ME (1986). Focal physiological uncoupling of cerebral blood flow and oxidative metabolism during somatosensory stimulation in human subjects. *Proceedings of the National Academy of Science of the USA*, 83, 1140-1144.
- Frawley W (1992). *Linguistic semantics*. New York: Erlbaum.
- Freund D (1888). Einige Grenzfälle zwischen Aphasie und Seelenblindheit. *Allgemeine Zeitschrift fuer Psychiatrie*, 44, 660-663.
- Freund D (1889). Ueber optische Aphasie und Seelenblindheit. *Archiv für Psychiatrie und Nervenkrankheiten*, 20, 276-297, 371-416.
- Freund S (1891/1935). *On aphasia*. E. Stengel, trans. London: Imago. (Originalarbeit veröffentlicht 1891).
- Friederici A (2004). Event-related brain potential studies in language. *Current Neurology and Neuroscience Reports*, 4, 466-70
- Friederici A (1997). Neurophysiological aspects of language processing. *Clinical Neuroscience*, 4, 64-72.
- Friedmann N (2000). Moving verbs in agrammatic production. In: R. Bastiaanse & Y. Grodzinsky (Eds.), *Grammatical disorders in aphasia: a neurolinguistic perspective* (pp. 152-170). London: Whurr.
- Friston K, Holmes A & Worsley K (1999a). How many subjects constitute a study? *Neuroimage*, 10, 1-5.
- Friston K, Holmes A, Price C, Büchel C & Worsley K (1999b). Multisubject fMRI studies and conjunction analyses. *Neuroimage*, 10, 385-396.
- Friston K, Holmes A, Worsley K, Poline JB, Frith CD & Frackowiak (1995). Statistical parametric maps in functional imaging: a general linear approach. *Human Brain Mapping*, 2, 189-210.
- Friston K, Price C, Fletcher P, Moore C, Frackowiak R & Dolan R (1996). The trouble with cognitive subtraction. *Neuroimage*, 4, 97-104.

- Friston K, Zarahn E, Josephs O, Henson RNH & Dale AM (1999c). Stochastic designs in event-related fMRI. *NeuroImage*, 10, 607-619.
- Frith C, Friston K, Liddle P & Frackowiak R (1991). A willed action and the prefrontal cortex in man: a study with PET. *Proceedings of the Royal Society of London, B*, 244, 241-246.
- Gabrieli J, Desmond J, Domb J, Wagner A, Stone M, Vaidya C & Glover G (1996). Functional magnetic resonance imaging of semantic memory processes in the frontal lobes. *Psychological Science*, 7, 278-283.
- Gabrieli J, Poldrack R & Desmond J (1998). The role of left prefrontal cortex in language and memory. *Proceedings of the National Academy of Science of the USA*, 99, 906-913.
- Gainotti G (1998). Category-specific disorders for nouns and verbs. A very old and very new problem. In: Stemmer B, Whitaker H (Hrsg.), *Handbook of Neurolinguistics (pp. 3-11)*. San Diego, London, Academic Press.
- 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, 539-559.
- Gainotti G, Silveri M, Daniele A, Giustolisi L (1995). Neuroanatomical correlates of category-specific semantic disorders: a critical survey. *Memory*, 3/4, 247-264.
- Gentner D & Boroditsky L (2000). Individuation, relativity, and early word learning. In: M. Bowerman & S.C. Levinson (Eds.), *Language Acquisition and Conceptual Development (pp. 215-256)*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Gentner D (1981). Some interesting differences between verbs and nouns. *Cognition and Brain Theory*, 4, 161-178.
- Gentner D (1982). Why nouns are learned before verbs: linguistic relativity versus natural partitioning. In S. Kuczaj (Ed.), *Language Development, Vol. 2, Language, Thought and Culture (pp.301-334)*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Gerhand S & Barry C (1998). Word frequency effects in oral reading are not merely age-of-acquisition effects in disguise. *Journal of Experimental Psychology, Learning, Memory, and Cognition*. 24, 267-283.
- Gerhand S & Barry C (1999). Age of acquisition and the role of phonology in the lexical decision task. *Memory & Cognition*, 17, 592-602.
- Gerhand S & Barry C (1999a). Age-of-acquisition and frequency effects in speeded word naming. *Cognition*, 73, B27-B36.
- Geschwind N (1965). The organization of language in the brain. *Science*, 170, 940-944.
- Ghyselinck M, Lewis MB, Brysbaert M (2004a). Age of acquisition and the cumulative-frequency hypothesis: a review of the literature and a new multi-task investigation. *Acta Psychologica*, 115, 43-67.
- Ghyselinck M, Custers R & Brysbaert M (2004b). The effect of age of acquisition in visual word processing: Further evidence for the semantic hypothesis. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 30, 550-554.
- Gilhooly KJ & Gilhooly ML (1979). Age-of-acquisition effects in lexical and episodic memory tasks. *Memory & Cognition*, 7, 214-223.
- Gilhooly KJ & Gilhooly ML (1980). The validity of age-of acquisition ratings. *British Journal of Psychology*, 71, 105-110.
- Gilhooly KJ & Hay D (1977). Imagery, concreteness, age-of-acquisition, familiarity, and meaningfulness values for 205 five-letter words having single-solution anagrams. *Behavior Research Methods and Instrumentation*, 9, 12-17.
- Gilhooly KJ & Logie RH (1980). Age of acquisition, imagery, concreteness, familiarity, and ambiguity measures for 1,944 words. *Behavior Research, Methods, and Instrumentation*, 12, 395-427.
- Gold BT & Buckner RL (2002). Common prefrontal regions co-activate with dissociable posterior regions during controlled semantic and phonological tasks. *Neuron*, 35, 803-812.
- Goldfield B (2000). Nouns before verbs in comprehension vs. production: the view from pragmatics. *Journal of Child Language*, 27, 501-520.
- Gomes H, Ritter W, Tartert V, Vaughan Jr. H, & Rosen J (1997). Lexical processing of visually and auditorily presented nouns and verbs: evidence from reaction time and N400 priming data. *Cognitive Brain Research*, 6, 121-134.
- Goodglass H (1966). Agrammatism. In: H. Whitaker & H.A. Whitaker (Eds.), *Studies in Neurolinguistics, Vol.1*. New York: Academic Press.
- Gopnik A (1988). Three types of early words: the emergence of social words, names and cognitive-relational words in the one-word stage and their relation to cognitive development. *First Language*, 8, 49-70.
- Gorno Tempini ML, Cipolotti L & Price CJ (2000). Category differences in brain activation studies: where do they come from? *Proceedings of the Royal Society London, B*, 267, 1253-1258.

- Gorno Tempini ML, Price C, Josephs O, Vandenberghe R, Cappa S, Kapur N & Frackowiak R (1998). The neural system sustaining face and proper-name processing. *Brain*, 121, 2103-2118.
- Gottfried M, Menn L & Holland A (1997). Verb argument structure and aphasic repetition. *Brain and Language*, 60, 36-38.
- Grimm H & Doil H (2000). *Elternfragebögen für die Früherkennung von Risikokindern (ELFRA-1, ELFRA-2)*. Göttingen: Hogrefe.
- Grodzinsky Y (2000). The neurology of syntax: language use without Broca's area. *Behavioral Brain Science*, 23, 1-71.
- Grossmann 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, 124-134.
- Haegeman L (1994). *Introduction to Government and Binding Theory*. Oxford & Cambridge: Blackwell Publishers.
- Haller S, Radue EW, Erb M, Grodd W & Kircher T (2005). Overt sentence production in event-related fMRI. *Neuropsychologia*, 43, 807-814.
- Hart J & Gordon B (1990). Delineation of single-word semantic comprehension deficits in aphasia, with anatomical correlation. *Annals of Neurology*, 27, 226-231.
- Hauk O & Pulvermüller F (2004). Neurophysiological distinction of action words in the fronto-central cortex. *Human Brain Mapping*, 21, 191-201.
- Heeger D & Ress D (2002). What does fMRI tell us about neuronal activity? *Nature*, 3, 142-151.
- Henning J (1998). Funktionelle MRT. *Aktuelle Neurologie*, 25, 277-287.
- Hernandez AE, Dapretto M, Mazziotta, J & Bookheimer S (2001). Language switching and language representation in Spanish-English bilinguals: an fMRI study. *NeuroImage*, 14, 510-520.
- Herwig U & Schönfeldt-Lecuona C (2000). Untersuchung zentralnervöser Informationsverarbeitung mit transkranieller Magnetstimulation. *Fortschritte in Neurologie und Psychiatrie*, 68, 289-300.
- Hiller J (1998). *Erstellung einer Testbatterie zur Untersuchung wortartenspezifischer Differenzen beim Benennen – unter besonderer Berücksichtigung verbspezifischer Aspekte*. Universität Potsdam: unveröffentlichte Diplomarbeit.
- Hillis A & Caramazza A. (1991a). Category-specific naming and comprehension impairment: a double dissociation. *Brain*, 114, 2081-2094.
- Hillis A & Caramazza A (1991b). Mechanisms for accessing lexical representations for output: evidence from a category-specific semantic deficit. *Brain and Language*, 40, 106-144.
- Hillis A & Caramazza A (1995). Representation of grammatical categories of words in the brain. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 7, 396-407.
- Hillis A, Rapp B, Romani C & Caramazza A (1990). Selective impairment of semantics in lexical processing. *Cognitive Neuropsychology*, 7, 191-243.
- Hillis A, Tuffiash E, Wityk R & Barker P (2002). Regions of neural dysfunction associated with impaired naming of actions and objects in acute stroke. *Cognitive Neuropsychology*, 19, 523-534.
- Hillis A, Wang P, Barker P, Beauchamp N, Gordon B & Wityk R (2000). Magnetic Resonance Perfusion Imaging: a new method for localizing regions of brain dysfunction associated with specific lexical impairments? *Aphasiology*, 14, 471-483.
- Hillis AE (2000). The organization of the lexical system. In: B. Rapp (Ed.), *The Handbook of Cognitive Neuropsychology* (pp 185-210). Psychological Press.
- Hillis AE, Rapp B & Caramazza A (1995). Constraining claims about theories of semantic memory: more on unitary versus multiple semantics. *Cognitive Neuropsychology*, 12, 175-186.
- Hirsh KW & Ellis AW (1994). Age of acquisition and lexical processing in aphasia: a case study. *Cognitive Neuropsychology*, 11, 435-458.
- Hirsh KW & Funnell E (1995). Those old, familiar things: age of acquisition, familiarity and lexical access in progressive aphasia. *Journal of Neurolinguistics*, 9, 23-32.
- Hodges J, Patterson K, Oxbury S & Funnell E (1992). Semantic dementia: Progressive fluent aphasia with temporal lobe atrophy. *Brain*, 115, 1783-1806.
- Hodges JR & Patterson K (1996). Nonfluent progressive aphasia and semantic dementia: a comparative neuropsychological study. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 2, 511-524.
- Hodgson C & Ellis AW (1998). Last in, first to go: age of acquisition and naming in elderly. *Brain and Language*, 64, 146-163.
- Hollstein S (1999). Verbverarbeitung bei Aphasie: Ein Literaturüberblick. *Neurolinguistik*, 13, 87-123.
- Holmes A & Friston K (1998). Generalizability, random effects, and population inference. *Neuroimage*, 7, S754.
- Hounsfield NG, Ambrose J, Perry BJ & Bridges C (1973). Computerized transverse axial scanning (tomography). *British Journal of Radiology*, 46, 1016-1051.

- Howard D & Franklin S (1987). Three ways for understanding written words and their use in two contrasting cases of surface dyslexia. In: D.A. Allport, D.G. McKay, W. Price & E. Scherrer (Eds.), *Language Perception and Production: Shared Mechanisms in Listening, Speaking, Reading and Writing* (pp. 340-366). New York: Academic Press.
- Howard D, Best W, Bruce C & Gatehouse C (1995). Operativity and animacy effects in aphasic naming. *European Journal of Disorders of Communication*, 30, 286-302.
- Howard D, Patterson KE, Franklin S, Morton J & Orchard-Lisle VM (1984). Variability and consistency in picture naming by aphasic patients. In: F.C. Rose (Ed.), *Advances in Neurology*, 42, *Progress in Aphasiology*. New York: Raven.
- Huber W, Poeck K, Weniger D, Willmes K (1983). *Der Aachener Aphasie Test*. Göttingen: Hogrefe.
- Humphreys G, Price C & Riddoch M (1999). From objects to names: a cognitive neuroscience approach. *Psychological Research*, 62, 118-130.
- Humphreys G & Riddoch M (2006). Features, objects, action: the cognitive neuropsychology of visual object processing, 1984-2004. *Cognitive Neuropsychology*, 23, 156-183.
- Humphreys G, Riddoch M & Quinlan P (1988). Cascade processes in picture identification. *Cognitive Neuropsychology*, 5, 67-103.
- Humphreys GW & Riddoch MJ (1988). On the case for multiple semantic systems: a reply to Shallice. *Cognitive Neuropsychology*, 5, 143-150.
- Ilmberger J, Rau S, Noachtar S, Arnold S & Winkler P (2002). Naming tools and animals: asymmetries observed during direct electrical cortical stimulation. *Neuropsychologia*, 40, 695-700.
- Indefrey P, Brown CM, Hellwig F, Amunts K, Herzog H, Seitz RJ & Hagoort P (2001b). A neural correlate of syntactic encoding during speech production. *Proceedings of the National Academy of Science of the USA*, 98, 5933-5936.
- Indefrey P, Hagoort P, Herzog H, Seitz RJ & Brown CM (2001a). Syntactic processing in left prefrontal cortex is independent of lexical meaning. *NeuroImage*, 14, 546-555.
- Ishai A, Haxby JV & Ungerleider LG (2002). Visual imagery of famous faces: effects of memory and attention revealed by fMRI. *Neuroimage*, 17, 1729-1741.
- Jonkers R & Bastiaanse R (1996). The influence of instrumentality and transitivity on action naming in Broca's and anomic aphasia. *Brain and Language*, 55, 37-39.
- Jonkers R & Bastiaanse R (1998). How selective are selective word class deficits? Two case studies of action and object naming. *Aphasiology*, 12, 245-256.
- Jonkers R (1998). *Comprehension and Production of verbs in aphasic speakers*. Groningen Dissertations in Linguistics 25.
- Jonkers R. (1999). Verb-finding problems in Broca's aphasics: the influence of transitivity. In: R. Bastiaanse & Y. Grodzinsky (Eds.), *Grammatical Disorders in Aphasia: a Neurolinguistic Perspective* (pp. 105-122). London: Whurr.
- Jorm AF (1991). The validity of word age-of-acquisition ratings: a longitudinal study of a child's word knowledge. *British Journal of Psychology*, 9, 437-444.
- Josephs O & Henson R (1999). Event-related functional magnetic resonance imaging: modelling, inference and optimization. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological sciences*, 354, 1215-1228.
- Jueptner M & Weiller C (1995). Review, does measurement of regional cerebral blood flow reflect synaptic activity? Implications for PET and fMRI. *Neuroimage*, 2, 148-156.
- Jung W (1984). *Grammatik der Deutschen Sprache*. Leipzig: Bibliographisches Institut.
- Kaan E & Swaab TY (2002). The brain circuitry of syntactic comprehension. *Trends in Cognitive Science*, 8, 350-356.
- Kable JW, Lease-Spellmeyer J & Chatterjee A (2002). Neural substrates of action event knowledge. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 14, 795-805.
- Kacirik N & Chiarello C (2002). Predicting noun and verb latencies, Influential variables and task effects. Abstract, Proceedings of the 24th Cognitive Science Society Conference (pp.524-529), Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Kaplan E, Goodglass H & Weintraub S (1976). *Boston Naming Test (Experimental Edition)*. Boston, Aphasia Research Center, Boston University.
- Kapur S, Rose R, Liddle P, Zipursky R, Brown G, Stuss D, Houle S & Tulving E (1994). The role of the left prefrontal cortex in verbal processing: semantic processing or willed action? *Neuroreport*, 5, 2193-2196.
- Kauschke C (2003). Der Erwerb der Kategorien Nomen und Verb im Deutschen und Koreanischen – eine sprachvergleichende Untersuchung. In : S. Haberzettl & H. Wegner, *Konzeptualisierung und Spracherwerb* (pp. 15-33). Peter Lang.

- Kauschke C (1999). Früher Wortschatzerwerb im Deutschen: Eine empirische Studie zum Entwicklungsverlauf und zur Komposition des kindlichen Lexikons. In: J. Meibauer & M. Rothweiler, *Das Lexikon im Spracherwerb* (pp. 128-156). UTB.
- Kauschke C (2000). *Der Erwerb des frühkindlichen Lexikons: Eine empirische Studie zur Entwicklung des Wortschatzes im Deutschen*. Tübingen: Narr.
- Kauschke C & Postler J (eingereicht Journal of Neurolinguistics). The differential influence of lexical variables on naming latencies in German. A study on noun and verb picture naming.
- Kemmerer D & Tranel D (2000). Verb retrieval in brain-damaged subjects: 1. Analysis of stimulus, lexical, and conceptual factors. *Brain and Language*, 73, 347-392.
- Kent R (1998). Neuroimaging studies of brain activation for language, with an emphasis on functional magnetic resonance imaging: a review. *Folia Phonoatrica et Logopaedica*, 50, 291-304.
- Khader P & Rösler F (2004). EEG power coherence analysis of visually presented nouns and verbs reveals left frontal processing differences. *Neuroscience Letters*, 354, 111-114.
- Khader P, Scherag A, Streb J & Rösler F (2003). Differences between noun and verb processing in a minimal phrase context: a semantic priming study using event-related brain potentials. *Cognitive Brain Research*, 17, 293-313.
- Kiefer M (2001). Perceptual and semantic sources of category-specific effects: event-related potentials during picture and word categorization. *Memory & Cognition*, 29, 100-116.
- Kim M & Thompson C (2000). Patterns of comprehension and production of nouns and verbs in agrammatism: implications for lexical organization. *Brain and Language*, 74, 1-25.
- Kischka U, Wallesch CW & Wolf G (1997). *Methoden der Hirnforschung: Eine Einführung*. Heidelberg, Berlin: Spektrum Akademischer Verlag.
- Kleinschmidt A (1999). Funktionelle Magnetresonanztomographie. *Nervenheilkunde*, 18, 75-78.
- Koenig T & Lehmann D (1996). Microstates in language-related brain potential maps show noun-verb differences. *Brain and Language*, 53, 169-182.
- Kourtzi Z & Kanwisher N (2000). Activation in human MT/MST by static images with implied motion. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 12, 48-55.
- Krauss G, Fisher R, Plate C, Hart J, Uematsu S, Gordon B & Lesser R (1996). Cognitive effects of resection basal temporal language areas. *Epilepsia*, 37, 476-483.
- Kremin H (1986). Spared naming without comprehension. *Journal of Neurolinguistics*, 2, 131-150.
- Kremin H (1994). Selective impairments of action naming: arguments and a case study. *Linguistische Berichte*, 6, 62-82.
- Kremin H, Hamerel M, Dordain M, De Wilde M & Perrier D (1999). Age of acquisition and name agreement as predictors of mean response latencies in picture naming of French adults. *Brain and Cognition*, 41, 396-401.
- Kremin H, Perrier D, De Wilde M, Dordain M, Le Bayon A, Gatignol P, Rabine C, Corbineau M, Lehoux E & Arabia C (2001). Factors predicting success in picture naming in Alzheimer's disease and primary progressive aphasia. *Brain and Cognition*, 46, 180-254.
- Kretschmann HJ & Weinrich W (2003). *Klinische Neuroanatomie und kraniale Bilddiagnostik*. Stuttgart: Thieme.
- Kürschner W (1993). *Grammatisches Kompendium*. UTB
- Kussmaul A (1877). *Die Störungen der Sprache*. Leipzig: Vogel.
- Kutas M & van Petten CK (1994). Event-related brain potential investigations. In: M.A. Gernsbacher (Ed.), *Handbook of Psycholinguistics* (pp. 83-143). California, San Diego: Academic Press.
- Kwong KK, Belliveau JW, Chesler DA, Goldberg IE, Wesskoff RM, Poncelet BP, Kennedy DN, Hoppel BE, Cohen MS, Turner R, Cheng H, Brady TJ & Rosen BR (1992). Dynamic magnetic resonance imaging of human brain activity during primary sensory stimulation. *Proceedings of the National Academy of Science of the USA*, 89, 5675-5679.
- Laiacina M & Caramazza A (2004). The noun/verb dissociation in language production: varieties of causes. *Cognitive Neuropsychology*, 21, 103-123.
- Laiacina M, Luzzatti C, Zonca G, Guarnaschelli C & Capitani E (2001). Lexical and semantic factors influencing picture naming in aphasia. *Brain and Cognition*, 46, 184-187.
- Lambon Ralph M, Graham K, Ellis AW & Hodges J (1998). Naming in semantic dementia - what matters? *Neuropsychologia*, 36, 775-784.
- Langacker RW (1987). Nouns and Verbs. *Language*, 63, 53-94.
- Laudanna A, Voghera M & Gazzetti S (2002). Lexical representations of written nouns and verbs in Italian. *Brain and Language*, 81, 250-263.
- Lauterbur PC (1974). Magnetic resonance zeugmatography. *Pure and Applied Chemistry*, 40, 149-157.

- Lee CY, Tzeng OJ, Hung DL, Fuh JL & Wang SJ (1998). Object and action naming in two types of Chinese brain damaged patients: Alzheimer's disease and frontal lesion. Poster, Advanced Study Institute: *Theoretical issues and cognitive neuroscience research of the Chinese Language*, Hong Kong University.
- Levelt WJ (1989). *Speaking, From intention to articulation*. Cambridge, MA: M.I.T. Press.
- Levelt WJ (1999). Models of word production. *Trends in Cognitive Sciences*, 3, 223-232.
- Levelt WJ, Roelofs A & Meyer AS (1999). A theory of lexical access in speech production. *Behavioral and Brain Sciences*, 22, 1-75.
- Lewis M (1999). Are age-of-acquisition effects cumulative-frequency effects in disguise? A reply to Moore, Valentine and Turner (1999). *Cognition*, 72, 311-316.
- Lewis M, Gerhand S, Ellis H (2001). Re-evaluating age-of-acquisition effects: are they simply cumulative-frequency effects? *Cognition*, 78, 189-205.
- Li P, Jin Z, Tan LH (2004). Neural representations of nouns and verbs in Chinese: an fMRI study. *NeuroImage*, 21, 1533-1541.
- Lichtheim L (1885). Ueber Aphasie. Aus der medicinischen Klinik in Bern. *Deutsches Archiv für klinische Medizin*, 36, 204-268.
- Lloyd-Jones T & Humphreys GW (1997). Perceptual differentiation as so source of category effects in object Processing: evidence from naming and object decision. *Memory & Cognition*, 25, 18-35.
- Logothetis N, Pauls J, Augath M, Trinath T & Oeltermann A (2001). Neurophysiological investigation of the basis of the fMRI signal. *Nature*, 412, 140-157.
- Longworth CE, Marlsen-Wilson WD & Tyler LK (2002). Non-fluent aphasics show an abnormal time course of semantic activation from the regular past tense. *Journal of Cognitive Neuroscience*, B55 (Suppl. S).
- Lüders H, Lesser R, Hahn J, Dinner D, Morris H & Resor S (1986). Basal temporal language area demonstrated by electrical stimulation. *Neurology*, 36, 505-510.
- Lüders H, Lesser R, Hahn J, Dinner D, Morris H, Wyllie E & Godoy J (1991). Basal temporal language Area. *Brain*, 114, 743-754.
- Luzzatti C, Raggi R, Zonca G, Pistarini C, Contardi A & Pinna GD (2002). Verb-noun double dissociation in aphasic lexical impairments: the role of word frequency and imageability. *Brain and Language*, 81, 432-444.
- Lyer G, Saccuman C, Bates E & Wulfeck B (2001). A study of age-of-acquisition (AoA) ratings in adults. *The Newsletter of the Center of Research in Language*. University of California, San Diego.
- Lyons AW, Teer P & Rubenstein H (1978). Age-of-acquisition and word recognition. *Journal of Psycholinguistic Research*, 7, 179-187.
- Lyons J (1995). *Eine Einführung in die moderne Linguistik*. 8. Auflage, München: Beck.
- Mackay A, Connor L, Albert M & Obler L (2002). Noun and verb retrieval in healthy aging. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 8, 764-770.
- Maeder PP, Meulli RA, Adriani M, Bellmann A, Fornari E, Thiran JP, Pittet A & Clarke S (2001). Distinct pathways involved in sound recognition and localization: a human fMRI study. *NeuroImage* 14, 802-816.
- Maguire M, Hirsh-Pasek K & Michnik Golinkoff R (2006). A unified theory of word learning: Putting verb acquisition in context. In: K. Hirsh-Pasek & R. Michnick Golinkoff (Eds.), *Action meets word. How children learn verbs* (pp. 364-391). Oxford: University Press.
- Mansfield P (1977). Multi-planar image formation using NMR spin echoes. *Journal of Physics C: Solid State Physics*, 10, L55-58.
- Maratsos M (1990). Are actions to verbs as objects are to nouns? On the differential semantic bases of form, class, category. *Linguistics* 28, 1351-1379.
- Marshall J (2003). Noun-verb dissociations – evidence from acquisition and developmental and acquired impairments. *Journal of Neurolinguistics*, 16, 67-84.
- Marshall J, Chiat S, Robson J & Pring T (1996a). Calling a salad a federation: an investigation of semantic jargon. Part II. Verbs. *Journal of Neurolinguistics*, 9, 251-260.
- Marshall J, Pring T & Chiat S (1998). Verb retrieval and sentence production in aphasia. *Brain and Language*, 63, 159-183.
- Marshall J, Pring T, Chiat S & Robson J (1996b). Calling a salad a federation: an investigation of semantic jargon. Part I. nouns. *Journal of Neurolinguistics*, 9, 237-250.
- Martin A, Haxby J, Lalonde F, Wiggs C & Ungerleider L (1995). Discrete cortical regions associated with knowledge of colour and knowledge of action. *Science*, 270, 102-105.
- Martin A, Wiggs C, Ungerleider L & Haxby J (1996). Neural correlates of category-specific knowledge. *Nature*, 379, 649-652.

- Martín-Loeches M, Hinojosa J, Fernández-Frías C & Rubia F (2001). Functional differences in the semantic processing of concrete and abstract words. *Neuropsychologia*, 39, 1086-1096.
- McCarthy R & Warrington E (1985). Category specificity in an agrammatic patient: the relative impairment of verb retrieval and comprehension. *Neuropsychologia*, 23, 709-727.
- McCarthy R & Warrington E (1988). Evidence for the modality-specific meaning systems in the brain. *Nature*, 334, 428-430.
- McCarthy R & Warrington E (1990). *Cognitive Neuropsychology*. New York: Academic Press.
- McKenna P & Warrington EK (1978). Category specific preservation: a single case study. *Journal of Neurology, Neurosurgery and Psychiatry*, 43, 571-574.
- Miceli G, Giustolisi L & Caramazza A (1991). The interaction of lexical and nonlexical processing mechanisms: evidence from aphasia. *Cortex*, 27, 57-80.
- Miceli G, Silveri M, Nocentini O & Caramazza A (1988). Patterns of dissociation in comprehension and production of nouns and verbs. *Aphasiology*, 2, 351-358.
- Miceli G, Silveri M, Villa G & Caramazza A (1984). On the basis for the agrammatic's difficulty in producing main verbs. *Cortex*, 20, 207-220.
- Miceli G, Turriziani P, Caltagirone C, Capasso R, Tomaiuolo F & Caramazza A (2002). The neural correlates of grammatical gender: an fMRI investigation. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 14, 618-628.
- Miozzo A, Soardi M & Cappa S (1994). Pure anomia with spared action naming due to a left temporal lesion. *Neuropsychologia*, 32, 1101-1109.
- Miozzo M & Caramazza A (1997a). Retrieval of lexical-syntactic features in tip-of-the-tongue states. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 23, 1410-1423.
- Miozzo M & Caramazza A (1997b). On knowing the auxiliary verb that cannot be named: evidence for the independence of grammatical and phonological aspects of lexical knowledge. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 9, 160-166.
- Molfese D, Burger-Judisch L, Gill L, Golinkoff R & Hirsch-Pasek K (1996). Electrophysiological correlates of noun-verb processing in adults. *Brain and Language*, 54, 388-413.
- Monaghan P, Chater N, & Christiansen MH (2003). Inequality between the classes: phonological and distributional typicality as predictors of lexical processing. *Proceedings of the 25th Annual Conference of the Cognitive Science Society*, 810-815.
- Moonen CTW & Bandettini PA (1999). *Functional MRI*. Berlin: Springer.
- Moore CJ & Price CJ (1999a). A functional neuroimaging study of the variables that generate category-specific object processing differences. *Brain*, 122, 943-962.
- Moore CJ & Price CJ (1999b). Three distinct ventral occipitotemporal regions for reading and object naming. *NeuroImage*, 10, 181-192.
- Morrison CM & Ellis AW (1995). Roles of word frequency and age of acquisition in word naming and lexical decision. *Journal of Experimental Psychology, Learning, Memory, and Cognition*, 21, 116-131.
- Morrison CM & Ellis AW (2000). Real age of acquisition effects in word naming and lexical decision. *British Journal of Psychology*, 91, 167-180.
- Morrison CM, Champell TD & Ellis AW (1997). Age of acquisition norms for a large set of object names and their relation to adult estimates and other variables. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 50A, 528-559.
- Morrison CM, Ellis AW & Quinlan PT (1992). Age of acquisition, not word frequency, affects object naming, not object recognition. *Memory & Cognition*, 20, 705-714.
- Morrison CV & Ellis AW (1999). Age of acquisition, lexical processing and aging: changes across the lifespan. In: *Proceedings of the 21st Annual Meeting of the Cognitive Science Society* (pp. 444-449). Hillsdale NJ: Erlbaum.
- Morton J & Patterson KE (1980). A new attempt at an interpretation, or, an attempt at a new interpretation. in: M. Coltheart, K.E. Patterson & J.C. Marshall (Eds.), *Deep Dyslexia* (pp. 91-118). London: Routledge & Kegan Paul.
- Morton J (1970). A functional model for memory. In: D.A. Norman (Ed.), *Models of Human Memory* (pp. 203-248). New York: Academic Press.
- Morton J (1979a). Facilitation in word-recognition experiments causing changes in the logogen model. In: P.A. Kollers, M.E. Wrolstad, H. Bouma (Eds.), *Processing of Visible Language (Vol.1)* (259-268), New York: Plenum Press.
- Morton J (1979b). Word recognition. In: J. Morton & J.C. Marshall (Eds.), *Psycholinguistics (Series 2)* (pp. 109-151). London: Elek Science.
- Morton J (1980a). The logogen model and orthographic structure. In: U. Frith (Ed.), *Cognitive Approaches in Spelling* (pp. 117-134). London: Academic Press.

- Morton J (1980b). Two auditory parallels to deep dyslexia. In: M. Coltheart, K.E. Patterson & J.C. Marshall (Eds.), *Deep dyslexia* (pp. 189-196). London: Routledge & Kegan Paul.
- Morton J (1985). Naming. In: S. Newman & R. Epstein (Eds.), *Current perspectives in dysphasia* (pp. 217-230). Edinburgh: Churchill Livingstone.
- Müller HM & Kutas M (1997). Die Verarbeitung von Eigennamen und Gattungsbezeichnungen. Eine elektrophysiologische Studie. In: G. Rickheit (Eds.), *Studien zur Klinischen Linguistik: Methoden, Modelle, Intervention* (pp. 147-169). Opladen: Westdeutscher Verlag,.
- Müller RA, Kleinhans N & Courchesne E (2003). Linguistic theory and neuroimaging evidence: an fMRI study of Broca's area in lexical semantics. *Neuropsychologia*, 41, 1199-1207.
- Mummery CJ, Patterson K, Hodges JR & Price CJ (1998). Functional neuroanatomy of the semantic system: divisible by what? *Journal of Cognitive Neuroscience*, 10, 766-777.
- Mummery CJ, Patterson K, Hodges JR & Wise R (1996). Retrieving "tiger" as an animal name or a word beginning with T: differences in brain activation. *Proceedings of the Royal Society London, B*, 263, 989-995.
- Mummery CJ, Patterson K, Wise R, Vandenberghe R, Price CJ & Hodges J (1999). Disrupted temporal lobe connections in semantic dementia. *Brain*, 122, 61-73.
- Murtha S, Chertkow H, Beauregard M & Evans A (1999). The neural substrate of picture naming. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 11, 399-423.
- Myerson R & Goodglass H (1972). Transformational grammars of three aphasic patients. *Language and Speech*, 15, 40-50.
- Nakamura K, Kawashima R, Sugiura M, Kato M, 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, 1047-1054.
- Neumann S (1998). *Erstellung einer Testbatterie zur Untersuchung wortartenspezifischer Differenzen beim Benennen – unter besonderer Berücksichtigung nominaler Subkategorien*. Universität Potsdam: unveröffentlichte Diplomarbeit.
- Nickels L & Howard D (1995). Aphasic naming: what matters? *Neuropsychologia*, 33, 1281-1301.
- Nickels L (2000). Spoken word production. In: B. Rapp (Ed.), *The Handbook of Cognitive Neuropsychology* (pp. 291-320). Psychology Press.
- Nickolas M, Obler LK, Albert M. & Goodglass H (1985). Lexical retrieval in healthy aging. *Cortex*, 21, 595-606.
- Nielsen JM (1946). *Agnosia, apraxia, aphasia, their value in cerebral localisation*. 2nd Ed. New York: Hoeber.
- Noppeney U, Josephs O, Kiebel S, Friston KJ & Price CJ (2005). Action selectivity in parietal and temporal cortex. *Cognitive Brain Research*, 25, 641-649.
- Obler LK & Albert ML (1979). *The action naming test (Experimental edition)*. Boston, VA Medical Center.
- Ogawa S, Lee TM, Kay AR & Tank DW (1990). Brain magnetic resonance imaging with contrast dependent on blood oxygenation. *Proceedings of the National Academy of Science of the USA*, 87, 9868-9872.
- Ogawa S, Tank D, Menon R, Ellermann J, Kim S, Merkle H & Ugurbil K (1992). Intrinsic signal changes accompanying sensory stimulation: functional brain mapping with magnetic resonance imaging. *Proceedings the National Academy of Science of the USA*, 89, 5951-5955.
- Ojemann GA & Whitaker HA (1978). The Bilingual brain. *Archives of Neurology*, 35, 409-412.
- Ojemann GA (1983). Brain organization for language from the perspective of electrical stimulation mapping. *Behavioral and Brain Science*, 2, 189-230.
- Ojemann GA, Ojemann J, Lettich E, Berger M (1989). Cortical language localization in left, dominant hemisphere. An electrical stimulation mapping investigation in 117 patients. *Journal of Neurosurgery*, 71, 316-326.
- Oldfield RC & Wingfield A (1965). Response latencies in naming objects. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 17, 273-281.
- Oldfield RC (1971). The assessment and analysis of handedness: the Edinburgh inventory. *Neuropsychologia*, 9, 97-113.
- Orpwood L & Warrington EK (1995). Word specific impairments in naming and spelling but not reading. *Cortex*, 31, 239-265.
- Osmán-Sági J (1987). Action naming in Hungarian aphasic patients. Abstract of the Second World Congress of Neuroscience IBRO. *Neuroscience Supplement to Vol. 22*, p. S509.
- Östberg P (2003). 18th century of noun-verb dissociation: the contribution of Carl Linnaeus. *Brain and Language*, 84, 448-450.
- Papanicolaou AC (1998). *Fundamentals of Functional Brain Imaging: A Guide to the Methods and their Applications to Psychology and Behavioral Neuroscience*. Netherlands: Swets & Zeitlinger.

- Patterson K & Shewell C (1987). Speak and spell: dissociations of word-class effects. In: M. Coltheart, G. Sartori & R. Job (Eds.), *The Cognitive Neuropsychology of Language* (pp.273-294). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Patterson KE (1988). Acquired disorders of spelling. In: G. Denes, C. Semenza & P. Bisiacchi (Eds.), *Perspectives on Cognitive Neuropsychology* (pp. 213-228). London: Erlbaum.
- Paulesu E, Frith C & Frackowiak R (1993). The neural correlates of the verbal component of working memory. *Nature*, 363, 583-584.
- Pauling L & Coryell CD (1936) The magnetic properties and structure of haemoglobin, oxyhemoglobin and carbon monooxyhemoglobin. *Proceedings of the National Academy of Science of the USA*, 22, 210-216.
- Penfield W & Roberts L (1959). *Speech and brain mechanisms*. University Press: Princeton.
- Perani D, Cappa S, Bettinardi V, Bressi S, Gorno Tempini M, Matarrese M & Fazio F (1995). Different neural networks for the recognition of biological and man-made entities. *NeuroReport*, 6, 1637-1641.
- Perani D, Cappa S, Schnur T, Tettamanti M, Collina S, Rosa MM & Fazio F (1999a). The neural correlates of verb and noun processing. A PET study. *Brain*, 122, 2337-2344.
- Perani D, Schnur T, Tettamanti M, Gorno-Tempini M, Cappa S & Fazio F (1999b). Word and picture matching: a PET study of semantic category effects. *Neuropsychologia*, 37, 293-306.
- Petersen S, Fox P, Posner M, Mintun M & Raichle M (1988). Positron emission tomographic studies of the cortical anatomy of single-word processing. *Nature*, 331, 585-589.
- Petersen SE (1989). Positron emission tomography studies of the processing of single words. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 1, 153-170.
- Petrek J (2004). ERP's to subclasses of nouns and verbs. *Biomedical Papers*, 148, 157-160.
- Phillips JA, Noppeney U, Humphreys GW & Price CJ (2002). Can segregation within the semantic system account for category-specific deficits? *Brain*, 125, 2067-2080.
- Pind J & Tryggvadottir HB (2002). Determinants of picture naming times in Icelandic. *Scandinavian Journal of Psychology*, 43, 221-226.
- Plaut DC & Shallice T (1993). Deep dyslexia: a case study of connectionist neuropsychology. *Cognitive Neuropsychology*, 10, 377-500.
- Poeck K (1994). *Neurologie*. Berlin: Springer Verlag.
- Poldrack R, Wagner A, Prull M, Desmond J, Glover G & Gabrieli J (1999). Functional specialization for semantic and phonological processing in the left inferior prefrontal cortex. *NeuroImage*, 10, 15-35.
- Postler J, De Bleser R, Cholewa J, Glauche V, Hamzei F & Weiller C (2003). Neuroimaging the semantic system(s). *Aphasiology*, 17, 799-814.
- Preissl H, Pulvermüller F, Lutzenberger W & Birbaumer N. (1995). Evoked potentials distinguish between nouns and verbs. *Neuroscience Letters*, 197, 81-83.
- Price CJ (1998). The functional anatomy of word comprehension and production. *Trends in Cognitive Sciences*, 2, 281-288.
- Price CJ (2000). The anatomy of language: contributions from functional neuroimaging. *Journal of Anatomy*, 197, 335-359.
- Price CJ & Devlin TD (2003). The myth of the visual word form area. *NeuroImage*, 19, 473-481.
- Price CJ & Friston K (1997). Cognitive conjunction: a new approach to brain activation experiments. *NeuroImage*, 5, 261-270.
- Price CJ & Friston KJ (2002). Degeneracy and cognitive anatomy. *Trends in Cognitive Science*, 6, 416-421.
- Price CJ, Devlin JT, Moore CJ, Morton C & Laird AR (2005). Meta-analyses of object naming: effect of baseline. *Human Brain Mapping*, 25, 70-82.
- Price CJ, Gorno-Tempini ML, Graham KS, Biggio N, Mechelli A, Patterson K & Noppeney U (2003). Normal and pathological reading: converging data from lesion and imaging studies. *NeuroImage*, 20, S30-S41.
- Price CJ, Moore C, Humphreys G & Wise R (1997). Segregating semantic from phonological processes during reading. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 9, 727-733.
- Prosiegel M, Paulig M, Böttger S, Radau J & Winkler PA (2002). *Klinische Hirnanatomie*. München: Pflaum.
- Pulvermüller F (1999). Words in the brain's language. *Behavioral and Brain Sciences*, 22, 253-336.
- Pulvermüller F, Harle M & Hummel F (2000). Neurophysiological distinction of verb categories. *NeuroReport*, 21, 2789-2793.
- Pulvermüller F, Härle M & Hummel F (2001). Walking or talking? Behavioral and neurophysiological correlates of action verb processing. *Brain and Language*, 78, 143-168.
- Pulvermüller F, Lutzenberger W & Preissl H (1999a). Nouns and verbs in the intact brain: evidence from event-related potentials and high-frequency cortical responses. *Cerebral Cortex*, 9, 497-506.

- Pulvermüller F, Mohr B & Schleicher H (1999b). Semantic or lexico-syntactic factors: what determines word-class specific activity in the human brain? *Neuroscience Letters*, 275, 81-84.
- Pulvermüller F, Preissl H, Lutzenberger W, Birnbaumer N (1996). Brain rhythms of language: nouns versus verbs. *European Journal of Neuroscience*, 8, 937-941.
- Raichle M (1994). An Interview with Marcus E. Raichle, M.D. In: M.S. Gazzaniga, R.B. Ivry & G.R. Mangun (Eds.), *Cognitive Neuroscience. The Biology of Mind* (pp.140-141). New York: Norton & Company.
- Ramsay CB, Nickolas M, Au R, Obler LK & Albert ML (1999). Verb naming in normal aging. *Applied Neuropsychology*, 6, 57-67.
- Rapp B & Caramazza A (1997). The modality-specific organization of grammatical categories: evidence from impaired spoken and written sentence production. *Brain and Language*, 56, 248-286.
- Rapp B & Caramazza A (1998). A case of selective difficulty in writing verbs. *Neurocase*, 4, 127-140.
- Rapp BC, Hillis AE & Caramazza A (1993). The role of representations in cognitive theory: more on multiple semantics and the agnosias. *Cognitive Neuropsychology*, 10, 235-249.
- Ratcliff R (1993). Methods for dealing with reaction time outliers. *Psychological Bulletin*, 114, 510-532.
- Raymer A, Foundas A, Maher L, Greenwald M, Morris M, Rothi L & Heilman K (1997). Cognitive neuropsychological analysis and neuroanatomic correlates in a case of acute anomia. *Brain and Language*, 58, 137-156.
- Rescorla L (1991). Identifying expressive language delay at age two. *Topics in Language Disorders*, 11, 14-20.
- Ricci P, Zekowicz B, Nebes R, Meltzer C, Mintun M & Becker J (1999). Functional neuroanatomy of semantic memory: recognition of semantic associations. *Neuroimage*, 9, 88-96.
- Riddoch M, Humphreys G, Coltheart M & Funnell E (1988). Semantic system or systems? Neuropsychological evidence re-examined. *Cognitive Neuropsychology*, 5, 3-25.
- Riddoch MJ & Humphreys GW (1987). Picture naming. In: G.W. Humphreys & M.J. Riddoch (Eds.), *Visual Object Processing: a Cognitive Neuropsychological Account* (pp. 107-143). London: Lawrence Erlbaum.
- Rizzolatti G, Fadiga L, Fogassi L & Gallese V (1999). Resonance behaviors and mirror neurons. *Archives Italiennes de Biologie*, 137, 85-100.
- Robinson KM, Grossman M, White-Devine T & D'Esposito M (1996). Category-specific difficulty with naming verbs in Alzheimer's disease. *Neurology*, 47, 178-182.
- Röder B, Stock O, Neville H, Bien S & Rösler F (2002). Brain activation modulated by the comprehension of normal and pseudo-word sentences of different processing demands: a functional magnetic resonance imaging study. *NeuroImage*, 15, 1003-1014.
- Roelofs A, Meyer A & Levelt W (1998). A case for the lemma/lexeme distinction in models of speaking, comment on Caramazza and Miozzo (1997). *Cognition*, 69, 219-230.
- Rösler F, Streb J & Haan H (2001). Event-related brain potential evoked by verbs and nouns in a priming lexical decision task. *Psychophysiology*, 38, 694-703.
- Ross JR (1973). Nouniness. Three dimensions of linguistic theory. In: O. Fujimura (Ed.), *Three Dimensions of Linguistic Theory*. Tokyo: Tokyo Institute for Advanced Studies of Language.
- Roy C & Sherrington C (1890). *On the regulation of the blood supply of the brain*. *Journal of Physiology*, 11, 85-108.
- Ruby P & Decety J (2001). Effect of subjective perspective taking during simulation of action: a PET investigation of agency. *Nature Neuroscience*, 4, 546-550.
- Rugg MD & Henson RN (2002). Episodic memory retrieval: an (event-related) functional neuroimaging perspective. In: A. Parker, E. Wilding & T. Bussey (Eds.), *The Cognitive Neuroscience of Memory: Encoding and Retrieval* (pp. 3-37). Hove: Psychology Press.
- Sacchett C & Humphreys G (1992). Calling a squirrel but a canoe a wigwam, a category-specific deficit for artefactual objects and body parts. *Cognitive Neuropsychology*, 9, 73-86.
- Saffran EM (1982). Neuropsychological approaches to the study of language. *British Journal of Psychology*, 73, 317-337.
- Saffran EM, Schwartz MF & Marin O (1980). Evidence from aphasia: isolating the components of a production model. In: B. Butterworth (Ed.), *Language Production: Speech and Talk* (pp. 221-241). New York: Academic Press.
- Sartori G & Job R (1988). The oyster with four legs: a neuropsychological study on the interaction of visual and semantic information. *Cognitive Neuropsychology*, 5, 105-132.
- Sartori G, Miozzo M & Job R (1993). Category-specific naming impairments? Yes. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 46A, 489-504.
- Sasse HJ (1993). Syntactic categories and subcategories. In: J. Jacobs, A. Stechow & W. Sternberg (Hrsg.), *Syntax. Ein internationales Handbuch zeitgenössischer Forschung* (pp. 646-686). Berlin: de Gruyter.

- Schäffler L, Lüders HO & Beck (1996). Quantitative comparison of language deficits produced by extraoperative electrical stimulation of Broca's, Wernicke's, and basal temporal language areas. *Epilepsia*, 37, 463-475.
- Schild H (1990). *MRI made easy*. Schering Diagnostika. Schering Aktiengesellschaft.
- Schröder A, Kauschke C & De Bleser R (2003). Messungen des Erwerbalters für konkrete Nomina. *Neurolinguistik*, 17, 83-114.
- Schubotz RI & von Cramon DY (2002). A blueprint for target motion: fMRI reveals perceived sequential complexity to modulate premotor cortex. *NeuroImage*, 16, 920-935.
- Schubotz RI & von Cramon DY (2003). Functional-anatomical concepts of human premotor cortex: evidence from fMRI and PET studies. *NeuroImage*, 20 (Suppl.), 120-131.
- Schwartz A, Kischka U & Rihs F (1997). Funktionelle bildgebende Verfahren. In: U. Kischka, C.-W. Wallesch & G. Wolf (Hrsg.), *Methoden der Hirnforschung, Eine Einführung* (pp. 296-317). Heidelberg, Berlin: Spektrum Akademischer Verlag.
- Schwartz MF, Saffran EM & Marin OS (1980). Fractionating the reading process in dementia, evidence for word-specific print-to-sound associations. In: M. Coltheart, K.E. Patterson & J.C. Marshall (Eds.), *Deep dyslexia*. London: Routledge and Keagan Paul.
- Semenza C & Zettin M (1988). Generating proper names: a case of selective inability. *Cognitive Neuropsychology*, 5, 711-21.
- Semenza C & Zettin M (1989). Evidence from aphasia for the role of proper names as pure referring expressions. *Nature*, 342, 678-679.
- Sereno J (1999). Hemispheric differences in grammatical class. *Brain and Language*, 70, 13-28.
- Seymour PH (1979). *Human visual cognition*. London: Collier Macmillan.
- Shallice, T (1987). Impairments of semantic processing: multiple dissociations. In: M. Coltheart, G. Sartori, R. & Job (Eds.), *The Cognitive Neuropsychology of Language* (pp. 111-129). London: Lawrence Erlbaum.
- Shallice T (1988a). *From neuropsychology to mental structure*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Shallice T (1988b). Specialisation within the semantic system. *Cognitive Neuropsychology*, 5, 133-142.
- Shallice T (1993). Multiple semantics, whose confusions? *Cognitive Neuropsychology*, 10, 251-261.
- Shallice T & Kartsounis L (1993). Selective impairment of retrieving people's names: a category specific disorders? *Cortex*, 29, 281-291.
- Shapiro KA & Caramazza A (2001a). Language is more than its parts, a reply to Bird, Howard, and Franklin (2001). *Brain and Language*, 0, 1-5.
- Shapiro KA & Caramazza A (2001b). Sometimes a noun is just a noun: comments on Bird, Howard, and Franklin (2000). *Brain and Language*, 76, 202-212.
- Shapiro L & Levin B (1990). Verb processing during sentence comprehension in aphasia. *Brain and Language*, 38, 21-47.
- Shapiro KA, Mottaghy FM, Schiller NO, Poeppel TD, Flüß MO, Müller HW, Caramazza A & Krause B (2005). Dissociating neural correlates for nouns and verbs. *NeuroImage*, 24, 1058-1067.
- Shapiro KA, Pascual-Leone A, Mottaghy FM, Gangitano M & Caramazza A (2001). Grammatical distinctions in the left frontal cortex. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 13, 713-720.
- Shapiro KA, Shelton J & Caramazza A (2000). Grammatical class in lexical production and morphological processing, evidence from a case of fluent aphasia. *Cognitive Neuropsychology*, 17, 665-682.
- Sharp DJ, Scott S & Wise JS (2004). Retrieving meaning after temporal lobe infarction: the role of the basal language area. *Annals in Neurology*, 56, 836-846.
- Sheridan J & Humphreys G (1993). A verbal-semantic category-specific recognition impairment. *Cognitive Neuropsychology*, 10, 143-184.
- Shuren J, Geldmacher D & Heilman KM (1993). Nonoptic aphasia: aphasia with preserved confrontation naming in Alzheimer's disease. *Neurology*, 43, 1900-1007.
- Silveri M & Di Betta A (1997). Noun-verb dissociations in brain-damaged patients: further evidence. *Neurocase*, 3, 477-488.
- Silveri M & Gainotti G (1988). Interaction between vision and language in category-specific semantic impairment. *Cognitive Neuropsychology*, 5, 677-709.
- Silveri MC, Daniele A, Giustolisi L & Gainotti G (1991). Dissociation between knowledge of living and nonliving things in dementia of the Alzheimer's type. *Neurology*, 41, 545-546.
- Silveri MC, Perri R & Cappa A (2003). Grammatical class effects in brain-damaged patients: functional locus of noun and verb deficit. *Brain and Language*, 85, 49-66.
- Snodgrass J & McCullough B (1986). The role of visual similarity in picture categorization. *Journal of Experimental Psychology, Learning, Memory, and Cognition*, 12, 147-154.

- Snodgrass J & Vanderwart M (1980). A standardized set of 260 pictures, Norms for name agreement, image agreement, familiarity, and visual complexity. *Journal of Experimental Psychology, Human Learning and Memory*, 6, 174-215.
- Snodgrass JG & Yuditsky T (1996). Naming times for the Snodgrass and Vanderwart pictures. *Behavioral Research Methods, Instruments, and Computers*, 28, 516-536.
- Sörös P, Cornelissen K, Laine M & Salmelin R (2003). Naming actions and objects: cortical dynamics in healthy adults and in anomic patient with a dissociation in action/object naming. *Neuroimage*, 19, 1787-1801.
- Stadie N, Cholewa J, De Bleser R & Tabatabaie S (1994). Das neurolinguistische Expertensystem LeMo. I. Theoretischer Rahmen und Konstruktionsmerkmale des Testteils Lexikon. *Neurolinguistik*, 8 (1), 1-25.
- Steinitz R (1997). Lexikalische Kategorisierung: Ein Vorschlag zur Revision. In: E. Löbel & G. Rauh (Hrsg.), *Lexikalische Kategorien und Merkmale* (pp. 1-26). Tübingen: Niemeier.
- Steinmetz H & Seitz RJ (1991). Functional anatomy of language processing: neuroimaging and the problem of individual variability. *Neuropsychologia*, 29, 1159-1161.
- Stemmer B & Whitaker H. (1998). *Handbook of Neurolinguistics*. San Diego, London: Academic Press.
- Stenzel A (1997). *Die Entwicklung der syntaktischen Kategorien Nomen und Verb bei ein- und zweisprachigen Kindern*. Tübingen: Narr.
- Stern C & Stern W (1907). Die Kindersprache. Eine psychologische und sprachtheoretische Untersuchung. Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft 1987.
- Szekely A, D'Amico S, Devescovi A, Federmeier K, Herron D, Iyer G, Jacobsen T & Bates E (2005). Timed action and object naming. *Cortex*, 41 (1), 7-26.
- Taft M & Forster KI (1975). Lexical storage and retrieval of prefixed words. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 14, 638-647.
- Taft M (1981). Prefix stripping revised. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 18, 757-767.
- Tainturier MJ, Johnson E, Tamminen J & Thierry G (2003). An ERP investigation of age-of-acquisition effects in spoken word recognition. *Brain and Language*, 87, 15-16.
- Talairach J & Tournoux P (1988). *Co-planar stereotaxic atlas of the human brain*. Stuttgart, New York: Georg Thieme Verlag.
- Tardif T (1996). Nouns are not always learned before verbs: evidence from Mandarin speakers' early vocabularies. *Developmental Psychology*, 32, 492-504.
- Tardif T, Shatz M & Naigles L (1997). Caregiver speech and children's use of nouns and verbs: a comparison of English, Italian and Mandarin. *Journal of Child Language*, 24, 535-565.
- Teixeira Ferreira C, Giusiano B & Poncet M. (1997). Category-specific anomia: implication of different neural networks in naming. *Neuroreport*, 8, 1595-1602.
- Teyler TJ, Roemer RA & Harrison TF (1973). Human scalp-recorded evoked-potential correlates of linguistic stimuli. *Bulletin of the Psychonomic Society*, 1, 333-334.
- Thompson CK, Lange KL, Schneider SL & Shapiro LP (1997). Agrammatic and non-brain-damaged subjects verb and verb argument structure production. *Aphasiology*, 11, 473-490.
- Thompson-Schill S, Aguirre G, D'Esposito M & Farah M (1999). A neural basis for category and modality specificity of semantic knowledge. *Neuropsychologia*, 37, 671-676.
- Thompson-Schill S, D'Esposito M, Aguirre G & Farah M. (1997). Role of left inferior prefrontal cortex in retrieval of semantic knowledge, a reevaluation. *Proceedings of the National Academy of Science of the USA*, 94, 14792-14797.
- Tippett L, Glosser G & Farah M. (1996). A category-specific naming impairment after temporal lobectomy. *Neuropsychologia*, 34, 139-146.
- Tranel D, Adolphs R, Damasio H & Damasio AR (2001). A neural basis for the retrieval of words for actions. *Cognitive Neuropsychology*, 18, 655-670.
- Tranel D, Damasio H & Damasio A (1997). On the neurology of naming. In: H. Goodglass & A. Wingfield (Hrsg.), *Anomia, Neuroanatomical and Cognitive Correlates* (pp. 65-90). Academic Press.
- Tranel D, Martin C, Damasio H, Grabowski T & Hichwa R (2005). Effects of noun-verb homonymy on the neural correlates of naming concrete entities and actions. *Brain and Language*, 92, 288-299.
- Trepel M (1999). *Neuroanatomie, Struktur und Funktion*. München, Jena: Urban & Fischer.
- Tsapkini K, Jarema G & Kehayia E (2002). Regularity revised: evidence from lexical access of verbs and nouns in Greek. *Brain and Language*, 81, 103-119.
- Turner JE, Valentine T & Ellis AW (1998). Contrasting effects of age of acquisition and word frequency on auditory and visual lexical decision. *Memory & Cognition*, 26, 1282-1291.
- Turner R, Howseman A, Rees GJ & Friston K (1998). Functional magnetic resonance imaging of the human brain, data acquisition and analysis. *Experimental Brain Research*, 123, 5-12.

- Tyler LK (1992). *Spoken Language Comprehension: an experimental approach to normal and disordered processing*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Tyler LK, Bright P, Fletcher P & Stamatakis EA (2004). Neural processing of nouns and verbs: the role of inflectional morphology. *Neuropsychologia*, 42, 512-523.
- Tyler LK, de Mornay Davies P, Longworth C, Randall B & Marlsen-Wilsen (2002). Dissociations in processing past tense morphology: neuropathology and behavioral studies. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 14, 79-95.
- Tyler LK, Russel R, Fadili J & Moss HE (2001). The neural representation of nouns and verbs: PET studies. *Brain*, 124, 1619-1634.
- Tyler LK, Stamatakis EA, Dick E, Bright P, Fletcher P & Moss H (2003). Objects and their actions: evidence for a neurally distributed semantic system. *NeuroImage*, 18, 542-557.
- Ukita H, Abe K, Yamada J (1999). Late acquired words in childhood are lost earlier in primary progressive aphasia. *Brain and Language*, 70, 205-219.
- Usui K, Ikeda A, Takayama M, Matsushashi M, Yamamoto JI, Satoh T, Begum T, Mikuni N, Takahashi JB, Miyamoto S, Hashimoto N & Shibasaki H (2003). Conversion of semantic information into phonological representation: a function in left posterior basal temporal area. *Brain*, 126, 632-641.
- Vandenberghe R, Price C, Wise R, Josephs O & Frackowiak R (1996). Functional anatomy of a common semantic system for words and pictures. *Nature*, 383, 254-256.
- Vigliocco G, Vinson D, Damian M & Levelt W (2002). Semantic distance effects on object and action naming. *Cognition*, 85, B61-B69.
- Vigliocco G, Vinson DP, Lewis W & Garrett MF (2004). Representing the meanings of object and action words: The featural and unitary semantic space hypothesis. *Cognitive Psychology*, 48, 422-488.
- Vigliocco G, Vinson DP & Siri S (2005). Semantic and grammatical class effects in naming actions. *Cognition*, 94, B91-100.
- Vigliocco G, Warren J, Siri S, Arciuli J, Scott S & Wise R (2006). The role of semantics and grammatical class in the neural representation of words. *Cerebral Cortex*, 25.
- Villringer A (1999). Physiological changes during brain activation. In: C.T.W. Moonen & P.A. Bandettini (Eds.), *Functional MRI* (pp. 3-13). Berlin: Springer Verlag.
- Vinson D & Vigliocco G (2002). A semantic analysis of grammatical class impairments: semantic representations of object nouns, action nouns and action verbs. *Journal of Neurolinguistics*, 15, 317-351.
- Wagner A (1999). Working memory contributions to human learning and remembering. *Neuron*, 22, 19-22.
- Wagner A, Desmond J, Demb J, Glover G & Gabrieli J (1997). Semantic repetition priming for verbal and pictorial knowledge: an functional MRI study of the left inferior prefrontal cortex. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 9, 714-726.
- Wallentin M, Lund TE, Ostergaard S, Ostergard L & Roepstorff A (2005). Motion verb sentences activate left posterior middle temporal cortex despite static context. *NeuroReport*, 16, 649- 652.
- Walter H (1981). *Studien zur Nomen-Verb-Distinktion aus typologischer Sicht*. München: Fink.
- Warburton E, Wise RJ, Price CJ, Weiller C, Hadar U, Ramsay S & Frackowiak RS (1996). Noun and verb retrieval by normal subjects. Studies with PET. *Brain*, 119, 159-179.
- Warrington E (1975). The selective impairment of semantic Memory. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 27, 635-657.
- Warrington E (1981). Concrete word dyslexia. *British Journal of Psychology*, 72, 175-196.
- Warrington E & McCarthy R (1983). Category specific access dysphasia. *Brain*, 106, 859-878.
- Warrington E & McCarthy R (1987). Categories of knowledge. Further fractionations and an attempted integration. *Brain*, 110, 1273-1296.
- Warrington E & Shallice T (1984). Category specific semantic impairments. *Brain*, 107, 829-854.
- Wernicke C (1874). *Der aphasische Symptomenkomplex*. Breslau: Cohn & Weigart.
- Wernicke C (1886). Die neueren Arbeiten über Aphasie. *Fortschritte der Medizin*, 4, 371-377.
- Wernicke C (1906). Der aphasische Symptomenkomplex. In: E. von Leuden, & F. Klemperer (Hrsg.), *Die deutsche Klinik am Eingange des zwanzigsten Jahrhunderts., Bd. VI* (pp.487-556). Berlin/Wien: Urban & Schwarzenberg.
- Whatmouth C, Chertkow H, Murtha, S & Hanratty K (2001). Dissociable brain regions process object meaning and object structure during picture naming. *Neuropsychologia*, 40, 174-186.
- Williams S & Canter C (1987). Action-naming performance in four syndromes of aphasia. *Brain and Language*, 32, 124-136.
- Wise R, Chollet F, Hadar U, Friston K, Hoffner E & Frackowiak R (1991). Distribution of cortical neural networks involved in word comprehension and word retrieval. *Brain*, 114, 1803-1817.
- Wise R, Howard D, Mummery C, Fletcher P, Leff A, Büchel C & Scott S (2000). Noun imageability and the temporal lobes. *Neuropsychologia*, 38, 985-994.

- Wolff G (1904). *Klinische und kritische Beiträge zur Lehre von den Sprachstörungen*. Leipzig: Veit.
- Worsley K & Friston K (1995). Analysis of fMRI time-series revisited-again. *Neuroimage*, 2, 173-181.
- Worsley KJ, Marrett S, Neelin P, Vandal AC, Friston KJ & Evans AC (1996). A unified statistical approach for determining significant signals in images of cerebral activation. *Human Brain Mapping*, 4, 58-73.
- Zeki S, Watson JD, Lueck CJ, Friston K, Kennard C & Frackowiak RS (1991). A direct demonstration of functional specialization in human visual cortex. *Journal of Neuroscience*, 11, 641-649.
- Zingeser L & Berndt R (1988). Grammatical class and context effects in a case of pure anomia: implications for models of language production. *Cognitive Neuropsychology*, 5, 473-516.
- Zingeser L & Berndt R (1990). Retrieval of nouns and verbs in agrammatism and anomia. *Brain and Language*, 39, 14-32.

ANHANG

Anlage 1: Einschätzung des Erwerbsalters – Instruktion

Erhebung des geschätzten Erwerbsalters (Age-of-Acquisition)

Bitte schätzen Sie so genau wie möglich ein, in welchem Lebensjahr Sie die unten aufgeführten Wörter zusammen mit ihrer Bedeutung erstmalig selbst in der gesprochenen Form verwendet haben. Es ist dabei nicht von Bedeutung, ob die Aussprache des Wortes zum Erwerbszeitpunkt vollkommen fehlerfrei war oder das Wort grammatikalisch adäquat verwendet wurde. Kreuzen Sie das Kästchen an, daß Ihrer Meinung nach dem eigenen produktiven Erwerbsalter am besten entspricht.

Wenn Sie glauben, daß Sie ein Wort im dritten Lebensjahr, also zwischen dem 2. und 3. Geburtstag erstmals produziert haben, kreuzen Sie das Kästchen "2.-3. Geburtstag" an. Vermuten Sie, daß Sie ein Wort erst nach dem 7. Geburtstag produktiv verwendet haben, kreuzen Sie bitte das Kästchen "7.+ Geburtstag" an. Beispiele finden Sie in den ersten drei Zeilen der Tabelle. Bitte kreuzen Sie für jedes Wort nur ein Kästchen an.

Beispiele:

	0-2.	2.-3.	3.-4.	4.-5.	5.-6.	6.-7.	7.+
Item	Geburtstag						
Ball	X						
Richter				X			
graben		X					

Anlage 2: Einschätzung der Vorstellbarkeit – Instruktion

Einschätzung der Vorstellbarkeit

Wörter unterscheiden sich in ihrer Eigenschaft, eine innere Vorstellung von Objekten oder Ereignissen erzeugen zu können. Einige Wörter erwecken innere Vorstellungen, wie z.B. eine bildliche Vorstellung der Wortbedeutung, schneller und leichter als andere Wörter.

Auf den folgenden zwei Seiten finden Sie verschiedene Wörter. Neben jedem Wort befindet sich eine Skala von 1-7. Ihre Aufgabe besteht darin, den Grad der Vorstellbarkeit mit Hilfe der Skala einzuschätzen. Wörter, die leicht und schnell eine innere Vorstellung hervorrufen, werden mit einer hohen Ziffer bewertet. Schlecht vorstellbare Wörter hingegen erhalten eine niedrige Ziffer. Wählen Sie die Ziffer, die ihr Urteil am besten widerspiegelt. Bitte entscheiden Sie sich pro Wort für eine Ziffer und kreisen diese mit einem Stift ein.

1 = schwer vorstellbar

7 = leicht vorstellbar

Beispiele:

Blume	schwer	1	2	3	4	5	6	7 leicht
Aspekt	schwer	1	2	3	4	5	6	7 leicht
trinken	schwer	1	2	3	4	5	6	7 leicht

Anlage 3: Einschätzung der visuellen Komplexität

Einschätzung der visuellen Komplexität

Strichzeichnungen können sich in ihrer graphischen Struktur stark voneinander unterscheiden. Einige Zeichnungen bestehen aus vielen und kompliziert verlaufenden Linien und einer großen Anzahl an Details. Diese Zeichnungen nennen wir visuell komplex. Andere Bilder zeichnen sich durch eine einfache Linienführung aus, die Anzahl der Linien ist gering und es werden nur wenige Details dargestellt. Diese Zeichnungen nennen wir visuell einfach.

Sie werden nun verschiedene Strichzeichnungen sehen. Ihre Aufgabe ist es, die visuelle Komplexität dieser Abbildungen einzuschätzen. Beurteilen Sie bitte die Anzahl und Kompliziertheit der Linien sowie die Menge der Details auf einer Skala von 1-7. Bewerten Sie bitte nur die visuelle Komplexität der Zeichnung selbst, nicht die Komplexität der realen Objekte oder Szenen, die dargestellt werden. Markieren Sie ihre Bewertung durch einen Kreis um die entsprechende Zahl. Bitte entscheiden Sie sich jeweils für genau eine Zahl.

1 = sehr einfach

7 = sehr komplex

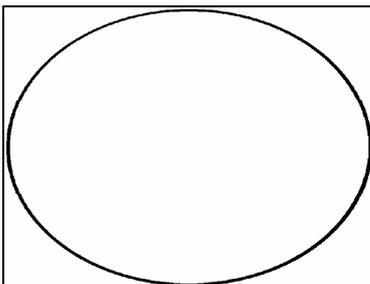
Beispiel 1: ein hoch komplexes Bild

sehr einfach 1 – 2 – 3 – 4 – 5 – 6 – **7** sehr komplex



Beispiel 2: ein wenig komplexes Bild

sehr einfach **1** – 2 – 3 – 4 – 5 – 6 – 7 sehr komplex



Anlage 4: Mittelwerte geschätztes Erwerbssalter, potentielles Stimulusset: Nomen

Nummer	Item	Mittelwert*	Minimum	Maximum	Stdabw.
1	Apfel	30,07	24,00	60,00	8,25
2	Auto	27,90	24,00	48,00	6,25
3	Bank	41,93	24,00	72,00	12,62
4	Baum	31,02	24,00	48,00	8,42
5	Besen	40,48	24,00	72,00	13,48
6	Birne	37,59	24,00	84,00	12,26
7	Brille	40,34	24,00	84,00	14,83
8	Brunnen	51,80	24,00	96,00	14,59
9	Bürste	49,16	24,00	96,00	16,72
10	Drachen	46,24	24,00	84,00	15,56
11	Ente	30,59	24,00	48,00	7,34
12	Fahne	49,45	24,00	96,00	16,59
13	Fisch	34,10	24,00	60,00	9,13
14	Flasche	35,71	24,00	72,00	12,43
15	Flöte	53,06	24,00	96,00	15,58
16	Fuchs	42,80	24,00	96,00	13,41
17	Glocke	48,43	24,00	96,00	15,28
18	Gürtel	52,77	24,00	96,00	14,99
19	Hahn	35,56	24,00	60,00	10,57
20	Hammer	39,33	24,00	72,00	13,42
21	Hase	31,08	24,00	60,00	8,18
22	Hund	30,07	24,00	72,00	9,06
23	Hut	38,17	24,00	84,00	13,79
24	Igel	38,60	24,00	84,00	12,15
25	Insel	53,35	36,00	96,00	14,18
26	Kasse	54,94	24,00	96,00	17,89
27	Katze	31,02	24,00	60,00	8,83
28	Kirche	51,22	24,00	96,00	16,44
29	Kleid	38,46	24,00	72,00	12,25
30	Koffer	45,69	24,00	96,00	14,93
31	Korb	43,37	24,00	96,00	14,97
32	Krebs	54,65	24,00	84,00	15,25
33	Kreuz	51,51	24,00	72,00	12,29
34	Krone	46,54	24,00	96,00	13,52
35	Leiter	42,53	24,00	72,00	13,42
36	Mond	33,11	24,00	60,00	10,02
37	Pfanne	52,05	24,00	96,00	16,04
38	Pfau	57,11	24,00	96,00	17,84
39	Pferd	37,32	24,00	72,00	10,67
40	Pilz	41,64	24,00	84,00	12,19
41	Ratte	52,48	24,00	96,00	15,53
42	Raupe	45,33	24,00	96,00	17,18
43	Schlange	43,23	24,00	84,00	12,98
44	Schlitten	38,93	24,00	72,00	11,71
45	Schlüssel	41,49	24,00	84,00	14,19
46	Schnecke	37,16	24,00	84,00	12,52
47	Schrank	40,98	24,00	72,00	11,46
48	Schürze	50,31	24,00	96,00	15,28
49	Schwan	44,67	24,00	84,00	13,68
50	Sessel	43,66	24,00	84,00	14,83
51	Sonne	29,20	24,00	48,00	6,81
52	Spinne	39,51	24,00	60,00	10,75
53	Stern	39,76	24,00	84,00	12,70
54	Storch	46,12	24,00	96,00	13,58
55	Uhr	39,18	24,00	84,00	15,91

Nummer	Item	Mittelwert*	Minimum	Maximum	Stdabw.
56	Zaun	44,34	24,00	72,00	12,61
57	Zebra	50,02	24,00	84,00	14,74
58	Zelt	48,72	24,00	96,00	13,82
59	Ziege	42,80	24,00	84,00	12,46
60	Zopf	44,63	24,00	72,00	12,69
61	Zwiebel	50,17	24,00	84,00	13,66

Anlage 5: Mittelwerte geschätztes Erwerbsalter, potentielles Stimulusset: Verben

Nummer	Item	Mittelwert*	Minimum	Maximum	Stdabw.
1	bellen	38,89	24,00	84,00	12,79
2	betteln	63,76	24,00	96,00	17,97
3	füttern	39,66	24,00	72,00	13,42
4	gähnen	53,64	24,00	96,00	19,95
5	gießen	45,11	24,00	96,00	14,35
6	grüßen	60,00	24,00	96,00	18,46
7	kämpfen	55,23	24,00	96,00	15,67
8	kaufen	43,08	24,00	84,00	13,39
9	kitzeln	40,92	24,00	96,00	13,39
10	klettern	44,39	24,00	84,00	13,61
11	kneifen	47,86	24,00	96,00	15,62
12	krabbeln	43,52	24,00	84,00	16,09
13	küssen	44,24	24,00	96,00	16,96
14	lachen	36,58	24,00	72,00	12,42
15	löschen	58,12	24,00	96,00	16,39
16	messen	63,90	36,00	96,00	17,59
17	niesen	47,13	24,00	96,00	16,95
18	öffnen	47,42	24,00	96,00	18,73
19	pflücken	46,55	24,00	84,00	15,50
20	retten	63,47	24,00	96,00	15,29
21	rutschen	38,60	24,00	72,00	11,09
22	schieben	48,43	24,00	96,00	16,60
23	schlafen	30,36	24,00	60,00	8,86
24	schneiden	45,25	24,00	84,00	12,89
25	schubsen	47,28	24,00	84,00	15,83
26	schwimmen	45,51	24,00	84,00	12,75
27	sitzen	33,83	24,00	60,00	10,46
28	springen	39,90	24,00	72,00	12,02
29	spucken	46,99	24,00	84,00	14,05
30	tanzen	42,80	24,00	84,00	14,54
31	tauchen	54,22	24,00	96,00	17,11
32	tragen	41,41	24,00	72,00	13,22
33	wandern	55,23	24,00	96,00	14,14
34	weinen	33,98	24,00	60,00	10,57
35	werfen	42,88	24,00	72,00	12,93
36	wiegen	56,67	24,00	84,00	15,03
37	zaubern	52,92	24,00	96,00	15,11
38	ziehen	42,07	24,00	72,00	12,20

* Mittelwert in Monaten

Anlage 6: Mittelwerte Vorstellbarkeit, potentielles Stimulusset: Nomen

Nummer	Item	Mittelwert	Minimum	Maximum	Stdabw.
1	Apfel	6,83	6,00	7,00	0,38
2	Auto	6,57	4,00	7,00	0,81
3	Bank	5,57	1,00	7,00	1,39
4	Baum	6,75	5,00	7,00	0,57
5	Besen	6,23	3,00	7,00	1,00
6	Birne	6,35	2,00	7,00	1,05
7	Brille	6,40	4,00	7,00	0,81
8	Brunnen	5,27	2,00	7,00	1,46
9	Bürste	5,48	2,00	7,00	1,28
10	Drachen	5,42	1,00	7,00	1,43
11	Ente	6,13	4,00	7,00	0,91
12	Fahne	5,82	2,00	7,00	1,33
13	Fisch	6,35	4,00	7,00	0,82
14	Flasche	6,46	5,00	7,00	0,75
15	Flöte	5,57	1,00	7,00	1,60
16	Fuchs	5,98	2,00	7,00	1,16
17	Glocke	5,87	2,00	7,00	1,27
18	Gürtel	5,57	2,00	7,00	1,32
19	Hahn	5,93	3,00	7,00	1,21
20	Hammer	6,52	3,00	7,00	0,83
21	Hase	6,45	4,00	7,00	0,75
22	Hund	6,55	5,00	7,00	0,65
23	Hut	6,27	5,00	7,00	0,78
24	Igel	6,15	3,00	7,00	1,01
25	Insel	5,08	1,00	7,00	1,60
26	Kasse	5,00	2,00	7,00	1,50
27	Katze	6,63	5,00	7,00	0,61
28	Kirche	5,47	1,00	7,00	1,42
29	Kleid	5,93	3,00	7,00	1,02
30	Koffer	6,13	4,00	7,00	0,93
31	Korb	5,62	2,00	7,00	1,38
32	Krebs	5,02	1,00	7,00	1,55
33	Kreuz	5,72	1,00	7,00	1,62
34	Krone	5,55	1,00	7,00	1,49
35	Leiter	6,46	4,00	7,00	0,88
36	Mond	6,62	3,00	7,00	0,83
37	Pfanne	5,65	1,00	7,00	1,46
38	Pfau	5,20	1,00	7,00	1,76
39	Pferd	6,42	4,00	7,00	0,77
40	Pilz	6,25	4,00	7,00	0,88
41	Ratte	5,35	1,00	7,00	1,48
42	Raupe	5,38	1,00	7,00	1,55
43	Schlange	6,15	3,00	7,00	1,04
44	Schlitten	6,05	3,00	7,00	1,08
45	Schlüssel	6,00	3,00	7,00	1,12
46	Schnecke	6,25	3,00	7,00	0,91
47	Schrank	6,13	4,00	7,00	0,93
48	Schürze	5,38	1,00	7,00	1,43
49	Schwan	5,98	4,00	7,00	1,04
50	Sessel	6,05	3,00	7,00	1,03
51	Sonne	6,67	4,00	7,00	0,73
52	Spinne	6,00	2,00	7,00	1,15
53	Stern	6,13	3,00	7,00	1,13
54	Storch	5,90	3,00	7,00	1,08
55	Uhr	6,34	4,00	7,00	0,80

Nummer	Item	Mittelwert	Minimum	Maximum	Stdabw.
56	Zaun	6,02	3,00	7,00	1,05
57	Zebra	6,00	3,00	7,00	1,05
58	Zelt	5,93	1,00	7,00	1,30
59	Ziege	5,85	4,00	7,00	1,07
60	Zopf	5,38	1,00	7,00	1,42
61	Zwiebel	6,08	4,00	7,00	0,99

Anlage 7: Mittelwerte Vorstellbarkeit, potentielles Stimulusset: Verben

Nummer	Item	Mittelwert	Minimum	Maximum	Stdabw.
1	bellen	5,48	2,00	7,00	1,58
2	betteln	4,57	1,00	7,00	1,75
3	füttern	5,60	3,00	7,00	1,24
4	gähnen	6,03	4,00	7,00	1,02
5	gießen	5,33	2,00	7,00	1,30
6	grüßen	4,72	1,00	7,00	1,71
7	kämpfen	4,63	1,00	7,00	1,73
8	kaufen	5,03	2,00	7,00	1,52
9	kitzeln	5,30	1,00	7,00	1,50
10	klettern	5,52	2,00	7,00	1,19
11	kneifen	4,97	2,00	7,00	1,57
12	krabbeln	5,37	2,00	7,00	1,35
13	küssen	6,15	3,00	7,00	0,99
14	lachen	6,47	4,00	7,00	0,81
15	löschen	4,12	1,00	7,00	1,86
16	messen	4,15	1,00	7,00	1,80
17	niesen	5,65	1,00	7,00	1,60
18	öffnen	4,80	1,00	7,00	1,58
19	pflücken	5,22	2,00	7,00	1,40
20	retten	3,53	1,00	7,00	2,00
21	rutschen	5,62	2,00	7,00	1,22
22	schieben	5,00	2,00	7,00	1,35
23	schlafen	6,30	4,00	7,00	0,94
24	schneide	5,65	3,00	7,00	1,26
25	schubsen	5,15	1,00	7,00	1,41
26	schwimme	5,95	2,00	7,00	1,20
27	sitzen	6,30	4,00	7,00	0,91
28	springen	5,80	3,00	7,00	1,15
29	spucken	5,53	2,00	7,00	1,50
30	tanzen	6,03	3,00	7,00	1,06
31	tauchen	5,38	2,00	7,00	1,47
32	tragen	5,55	2,00	7,00	1,21
33	wandern	5,43	1,00	7,00	1,41
34	weinen	6,23	4,00	7,00	1,01
35	werfen	5,67	3,00	7,00	1,11
36	wiegen	4,53	1,00	7,00	1,75
37	zaubern	4,15	1,00	7,00	1,61
38	ziehen	5,27	2,00	7,00	1,36

Anlage 8: Mittelwerte visuelle Komplexität, potentiell Stimulusset: Nomen

Nummer	Item	Mittelwert	Minimum	Maximum	Stdabw.
1	Apfel	1,98	1	3	0,62
2	Auto	4,35	3	7	0,95
3	Bank	3,08	2	5	0,69
4	Baum	3,00	1	5	0,78
5	Besen	3,15	1	5	0,95
6	Birne	1,70	1	4	0,65
7	Brille	3,25	2	6	1,06
8	Brunnen	4,08	2	6	0,86
9	Bürste	3,70	2	6	1,16
10	Drachen	3,70	2	6	1,02
11	Ente	3,23	1	6	0,95
12	Fahne	2,08	1	4	0,62
13	Fisch	3,73	2	6	0,99
14	Flasche	2,35	1	4	0,66
15	Flöte	3,53	1	5	1,01
16	Fuchs	3,41	2	6	0,85
17	Glocke	2,63	2	4	0,63
18	Gürtel	3,28	1	6	0,93
19	Hahn	3,88	3	5	0,65
20	Hammer	2,05	1	3	0,64
21	Hase	2,98	2	5	0,77
22	Hundneue	3,86	3	6	0,83
23	Hut	3,25	1	6	1,13
24	Igel	5,00	2	7	1,38
25	Insel	6,49	5	7	0,56
26	Kasse	4,03	2	6	0,92
27	Katze	2,98	2	5	0,83
28	Kirche	4,23	3	7	1,00
29	Kleid	2,78	1	4	0,77
30	Koffer	3,30	2	5	0,85
31	Korb	5,58	3	7	1,11
32	Krebs	3,75	2	6	0,98
33	Kreuz	1,20	1	2	0,41
34	Krone	3,38	2	6	1,05
35	Leiter	2,98	2	5	0,73
36	Mond	2,38	1	5	0,81
37	Pfanne	2,40	1	5	0,96
38	Pfau	4,08	3	7	0,89
39	Pferd	3,55	1	6	1,04
40	Pilz	3,48	2	6	0,91
41	Ratte	3,95	2	6	1,04
42	Raupe	3,80	2	6	0,97
43	Schlange	2,20	1	4	0,61
44	Schlitte	3,03	1	4	0,71
45	Schlüssel	3,08	2	5	0,81
46	Schnecke	2,98	1	5	0,95
47	Schrank	3,13	2	5	0,65
48	Schürze	4,70	3	6	0,91
49	Schwan	3,68	2	6	0,94
50	Sessel	3,13	1	6	0,99
51	Sonne	3,45	2	6	1,11
52	Spinne	4,45	2	7	1,75
53	Stern	1,28	1	2	0,45
54	Storch	4,00	2	7	1,13
55	Uhr	3,70	1	7	1,22

Nummer	Item	Mittelwert	Minimum	Maximum	Stdabw.
56	Zaun 1	3,43	2	6	0,87
57	Zaun 2	4,95	2	7	1,15
58	Zebra	5,53	2	7	1,20
59	Zelt	3,48	1	5	0,91
60	Ziege	3,88	2	6	0,76
61	Zopf	3,82	2	5	0,91
62	Zwiebel	4,48	2	7	1,30

Anlage 9: Mittelwerte visuelle Komplexität, potentiell Stimulusset: Verben

Nummer	Item	Mittelwert	Minimum	Maximum	Stdabw.
1	bellen	3,48	1	6	1,01
2	betteln	4,28	2	7	0,93
3	füttern	3,70	2	6	0,94
4	gähnen	3,45	1	6	1,11
5	gießen	3,40	2	4	0,55
6	grüßen	4,15	2	6	0,95
7	kämpfen	4,35	2	7	0,95
8	kaufen	4,68	2	7	1,02
9	kitzeln	4,45	3	6	0,88
10	klettern	4,48	2	6	1,04
11	kneifen	3,75	2	5	0,81
12	krabbeln	3,83	2	6	0,96
13	küssen	2,83	1	5	1,06
14	lachen	4,90	2	7	1,15
15	löschen	3,60	2	5	0,87
16	messen	3,63	2	5	0,95
17	niesen	4,95	3	7	1,08
18	öffnen	3,72	3	6	0,79
19	pflücken	4,53	3	6	0,91
20	retten	4,78	2	7	0,92
21	rutschen	4,15	2	6	0,89
22	schieben	3,40	2	6	0,90
23	schlafen	3,48	2	6	0,78
24	schneide	4,10	3	6	0,87
25	schubsen	4,35	3	6	0,74
26	schwimme	3,48	2	6	1,06
27	sitzen	4,63	3	7	0,87
28	springen	4,15	2	6	0,86
29	spucken	3,65	2	6	0,80
30	tanzen (Ballett)	3,65	2	6	0,86
31	tanzen (Paar)	4,23	3	7	0,89
32	tauchen	3,80	2	6	1,02
33	tragen	5,08	3	7	1,05
34	wandern	4,73	3	7	0,96
35	weinen	4,85	2	7	1,08
36	werfen	3,75	2	6	0,81
37	wiegen	4,28	2	6	0,91
38	zaubern	5,25	3	7	0,90
39	ziehen	3,83	3	6	0,84

Anlage 10: Mittelwerte Benennübereinstimmung, potentielles Stimulusset: Nomen

Nummer	Item	Mittelwert	Summe	Minimum	Maximum	Stdabw.
1	Apfel	1,00	60	1	1	0,00
2	Auto	0,95	57	0	1	0,22
3	Bank	0,97	58	0	1	0,18
4	Baum	1,00	60	1	1	0,00
5	Besen	0,98	59	0	1	0,13
6	Birne	1,00	60	1	1	0,00
7	Brille	1,00	60	1	1	0,00
8	Brunnen	0,97	58	0	1	0,18
9	Bürste	0,90	54	0	1	0,30
10	Drachen	1,00	60	1	1	0,00
11	Ente	0,98	59	0	1	0,13
12	Fahne	0,87	52	0	1	0,34
13	Fisch	1,00	60	1	1	0,00
14	Flasche	0,98	59	0	1	0,13
15	Flöte	0,87	52	0	1	0,34
16	Fuchs	1,00	60	1	1	0,00
17	Glocke	0,97	58	0	1	0,18
18	Gürtel	0,98	59	0	1	0,13
19	Hahn	1,00	60	1	1	0,00
20	Hammer	1,00	60	1	1	0,00
21	Hase	1,00	60	1	1	0,00
22	Hund	0,98	59	0	1	0,13
23	Hund	1,00	60	1	1	0,00
24	Hut	0,98	59	0	1	0,13
25	Igel	1,00	60	1	1	0,00
26	Insel	0,98	59	0	1	0,13
27	Kasse	1,00	60	1	1	0,00
28	Katze	1,00	60	1	1	0,00
29	Kirche	0,97	58	0	1	0,18
30	Kleid	1,00	60	1	1	0,00
31	Koffer	1,00	60	1	1	0,00
32	Korb	1,00	60	1	1	0,00
33	Krebs	1,00	60	1	1	0,00
34	Kreuz	0,98	59	0	1	0,13
35	Krone	1,00	60	1	1	0,00
36	Leiter	1,00	60	1	1	0,00
37	Mond	0,88	53	0	1	0,32
38	Pfanne	0,93	56	0	1	0,25
39	Pfau	0,93	56	0	1	0,25
40	Pferd	1,00	60	1	1	0,00
41	Pilz	1,00	60	1	1	0,00
42	Ratte	0,82	49	0	1	0,39
43	Raupe	0,92	55	0	1	0,28
44	Schlange	1,00	60	1	1	0,00
45	Schlitten	0,98	59	0	1	0,13
46	Schlüssel	1,00	60	1	1	0,00
47	Schnecke	1,00	60	1	1	0,00
48	Schrank	0,97	58	0	1	0,18
49	Schürze	0,97	58	0	1	0,18
50	Schwan	1,00	60	1	1	0,00
51	Sessel	1,00	60	1	1	0,00
52	Sonne	1,00	60	1	1	0,00
53	Spinne	0,98	59	0	1	0,13
54	Stern	1,00	60	1	1	0,00
55	Storch	1,00	60	1	1	0,00

Nummer	Item	Mittelwert	Summe	Minimum	Maximum	Stdabw.
56	Uhr	0,98	59	0	1	0,13
57	Zaun 1	0,83	50	0	1	0,38
58	Zaun 2	0,90	54	0	1	0,30
59	Zebra	1,00	60	1	1	0,00
60	Zelt	0,97	58	0	1	0,18
61	Ziege	0,97	58	0	1	0,18
62	Zopf	0,97	58	0	1	0,18
63	Zwiebel	1,00	60	1	1	0,00

Anlage 11: Mittelwerte Benennübereinstimmung, potentielles Stimulusset: Verben

Nr.	Item	Mittelw.	Summe	Minimum	Maximum	Stdabw.
1	bellen	1,00	60	1	1	0,00
2	betteln	0,95	57	0	1	0,22
3	füttern	1,00	60	1	1	0,00
4	gähnen	1,00	60	1	1	0,00
5	gießen	1,00	60	1	1	0,00
6	grüßen	0,97	58	0	1	0,18
7	kämpfen	0,93	56	0	1	0,25
8	kaufen	0,83	50	0	1	0,38
9	kitzeln	0,98	59	0	1	0,13
10	klettern	1,00	60	1	1	0,00
11	kneifen	1,00	60	1	1	0,00
12	krabbeln	0,98	59	0	1	0,13
13	küssen	0,98	59	0	1	0,13
14	lachen	1,00	60	1	1	0,00
15	löschen	1,00	60	1	1	0,00
16	messen	0,90	54	0	1	0,30
17	niesen	0,97	58	0	1	0,18
18	öffnen	0,97	58	0	1	0,18
19	pflücken	0,98	59	0	1	0,13
20	retten	0,75	45	0	1	0,44
21	rutschen	1,00	60	1	1	0,00
22	schieben	1,00	60	1	1	0,00
23	schlafen	0,98	59	0	1	0,13
24	schneiden	0,98	59	0	1	0,13
25	schubsen	0,87	52	0	1	0,34
26	schwimmen	1,00	60	1	1	0,00
27	sitzen	1,00	60	1	1	0,00
28	springen	0,95	57	0	1	0,22
29	spucken	0,92	55	0	1	0,28
30	tanzen (Ballett)	1,00	60	1	1	0,00
31	tanzen (Paar)	1,00	60	1	1	0,00
32	tauchen	0,98	59	0	1	0,13
33	tragen	0,82	49	0	1	0,39
34	wandern	1,00	60	1	1	0,00
35	weinen	0,93	56	0	1	0,25
36	werfen	0,98	59	0	1	0,13
37	wiegen	0,92	55	0	1	0,28
38	zaubern	0,98	59	0	1	0,13
39	ziehen	1,00	60	1	1	0,00

Anlage 12: Mittelwerte aller Stimulusparameter, potentielltes Stimulusset: Nomen

NR	ITEM	Kat	SK	AOAs	AOAe	AOAbe	BÜ	VOR	VK	FRs	FRm	SIL	WLp	WLps
1	Apfel	n	b	30,07	32,50	32,50	100	6,83	1,98	1,17	1,07	2	3	3
2	Auto	n	u	27,90	32,50	32,50	95	6,57	4,35	2,16	2,06	2	3	3
3	Bank	n	u	41,93	38,50	38,50	97	5,57	3,08	1,56	2,14	1	4	4
4	Baum	n	b	31,02	32,50	32,50	100	6,75	3,00	1,77	1,80	1	3	3
5	Besen	n	u	40,48	32,50	44,50	98	6,23	3,15	1,07	0,30	2	4	4
6	Birne	n	b	37,59	32,50	44,50	100	6,35	1,70	0,00	0,60	2	5	5
7	Brille	n	u	40,34	32,50	32,50	100	6,40	3,25	0,47	1,25	2	5	5
8	Brunnen	n	u	51,80	50,50		97	5,27	4,08	0,69	0,69	2	6	6
9	Bürste	n	u	49,16	32,50		90	5,48	3,70	0,00	0,30	2	6	6
10	Drachen	n	u	46,24	38,50	38,50	100	5,42	3,70	0,30	0,47	2	5	5
11	Ente	n	b	30,59	32,50		98	6,13	3,23	0,00	1,32	2	4	4
12	Fahne	n	u	49,45	44,50		87	5,82	2,08	1,14	1,44	2	4	4
13	Fisch	n	b	34,10	32,50	32,50	100	6,35	3,73	1,46	1,53	1	3	3
14	Flasche	n	u	35,71	32,50		98	6,46	2,35	1,34	1,55	2	5	5
15	Flöte	n	u	53,06	44,50		87	5,57	3,53	0,00	0,69	2	5	5
16	Fuchs	n	b	42,80	38,50		100	5,98	3,41	0,47	0,90	1	4	4
17	Glocke	n	u	48,43	38,50		97	5,87	2,63	0,00	0,00	2	5	5
18	Gürtel	n	u	52,77	38,50		98	5,57	3,28	0,47	0,84	2	5	4
19	Hahn	n	b	35,56	32,50	50,50	100	5,93	3,88	0,69	0,84	1	3	3
20	Hammer	n	u	39,33	32,50	44,50	100	6,52	2,05	0,30	1,07	2	4	4
21	Hase	n	b	31,08	32,50		100	6,45	2,98	1,07	1,07	2	4	4
22	Hund	n	b	30,07	32,50		100	6,55	3,86	1,81	1,78	1	4	4
23	Hut	n	u	38,17	32,50	44,50	98	6,27	3,25	1,00	1,27	1	3	3
24	Igel	n	b	38,60	32,50	38,50	100	6,15	5,00	0,69	0,77	2	3	3
25	Insel	n	u	53,35	38,50	89,50	98	5,08	6,49	2,03	1,85	2	4	4
26	Kasse	n	u	54,94	50,50		100	5,00	4,03	1,73	1,71	2	4	4
27	Katze	n	b	31,02	32,50		100	6,63	2,98	0,47	1,25	2	4	4
28	Kirche	n	u	51,22	38,50		97	5,47	4,23	2,68	1,32	2	5	5
29	Kleid	n	u	38,46	38,50	65,50	100	5,93	2,78	1,50	1,61	1	4	4
30	Koffer	n	u	45,69	32,50		100	6,13	3,30	1,23	1,32	2	4	4
31	Korb	n	u	43,37	32,50	38,50	100	5,62	5,58	0,84	1,34	1	4	4
32	Krebs	n	b	54,65	44,50	56,50	100	5,02	3,75	0,00	0,77	1	5	5
33	Kreuz	n	u	51,51	50,50	56,50	98	5,72	1,20	1,27	1,60	1	4	4
34	Krone	n	u	46,54	38,50		100	5,55	3,38	1,00	1,43	2	5	5
35	Leiter	n	u	42,53	32,50	38,50	100	6,46	2,98	1,23	1,77	2	4	4
36	Mond	n	u	33,11	32,50	32,50	88	6,62	2,38	1,72	1,88	1	4	4
37	Pfanne	n	u	52,05	32,50		93	5,65	2,40	0,30	0,30	2	4	4
38	Pfau	n	b	57,11	50,50		93	5,20	4,08	0,47	0,47	1	2	2
39	Pferd	n	b	37,32	32,50		100	6,42	3,55	1,53	1,81	1	4	4
40	Pilz	n	u	41,64	38,50	38,50	100	6,25	3,48	0,69	0,69	1	4	4
41	Ratte	n	b	52,48	50,50		82	5,35	3,95	0,84	0,84	2	4	4
42	Raupe	n	b	45,33	38,50		92	5,38	3,80	0,00	0,00	2	4	4
43	Schlange	n	b	43,23	32,50		100	6,15	2,20	0,30	1,25	2	5	5
44	Schlitten	n	u	38,93	32,50	38,50	98	6,05	3,03	0,69	0,77	2	5	5
45	Schlüssel	n	u	41,49	32,50	44,50	100	6,00	3,08	1,27	1,39	2	5	5
46	Schnecke	n	b	37,16	32,50		100	6,25	2,98	0,00	0,00	2	5	5
47	Schrank	n	u	40,98	32,50		97	6,13	3,13	1,00	1,34	1	5	5
48	Schürze	n	u	50,31	50,50	89,50	97	5,38	4,70	0,47	0,60	2	5	5
49	Schwan	n	b	44,67	38,50	56,50	100	5,98	3,68	0,47	0,90	1	4	4
50	Sessel	n	u	43,66	32,50		100	6,05	3,13	0,69	1,23	2	4	3
51	Sonne	n	u	29,20	32,50	32,50	100	6,67	3,45	1,91	1,95	2	4	4
52	Spinne	n	b	39,51	32,50	56,50	98	6,00	4,45	0,00	0,77	2	5	5
53	Stern	n	u	39,76	32,50	38,50	100	6,13	1,28	1,69	1,85	1	5	5
54	Storch	n	b	46,12	38,50		100	5,90	4,00	0,47	0,69	1	5	5
55	Uhr	n	u	39,18	32,50	32,50	98	6,34	3,70	2,20	2,86	1	2	2

NR	ITEM	Kat	SK	AOAs	AOAe	AOAbe	BÜ	VOR	VK	FRs	FRm	SIL	WLp	WLps
56	Zaun 1	n	u	44,34	38,50		83	6,02	3,43	0,69	1,14	1	3	3
57	Zaun 2	n	u			56,50	90		4,95					
58	Zebra	n	b	50,02	38,50	44,50	100	6,00	5,53	0,00	1,38	2	5	5
59	Zelt	n	u	48,72	38,50	56,50	97	5,93	3,48	0,30	1,00	1	4	4
60	Ziege	n	b	42,80	38,50		97	5,85	3,88	0,69	0,90	2	4	4
61	Zopf	n	u	44,63	44,50		97	5,38	3,82	0,00	0,84	1	3	3
62	Zwiebel	n	u	50,17	38,50	56,50	100	6,08	4,48	0,84	1,11	2	5	5
	MW			42,68	36,85	46,23	97	5,97	3,45	0,86	1,14	1,61	4	4
	Stdabw.			7,51	5,77	14,66	4	0,46	0,97	0,67	0,57	0,49	1	1
	Min.			27,90	32,50	32,50	82	5,00	1,20	0,00	0,00	1,00	2,00	2,00
	Max.			57,11	50,50	89,50	100	6,83	6,49	2,68	2,86	2,00	6,00	6,00

Legende für diese Tabellen und weitere Tabellen im Anhang:

NR	Nummer
Kat	Wortkategorie
n	Nomen
v	Verb
SK	Subkategorie
u	unbelebt
b	belebt
t	transitiv
i	intransitiv
AoAs	geschätztes Erwerbsalter
AoAe	produktives Erwerbsalter
AoAbe	Benennalter
BÜ	Benennübereinstimmung
VOR	Vorstellbarkeit
VK	visuelle Komplexität
FRs	gesprochene Frequenz
FRm	gemischte Frequenz
SIL	Silbenanzahl
WLp	Wortlänge in Phonemen
WLps	Länge des Wortstammes in Phonemen
Min.	Minimum
Max.	Maximum
MW	Mittelwert
Stdabw.	Standardabweichung

Anlage 13: Mittelwerte aller Stimulusparameter, potentiell Stimulusset: Verben

NR	ITEM	Kat	SK	AOAs	AOAe	AOAbe	NA	VOR	VK	FRs	FRm	SIL	WLp	WLps
1	bellen	v	i	38,89	32,50		100	5,48	3,48	0,00	0,47	2	5	3
2	betteln	v	i	63,76			95	4,57	4,28	1,00	0,69	2	5	4
3	füttern	v	t	39,66	38,50	65,50	100	5,60	3,70	0,84	0,95	2	5	4
4	gähnen	v	i	53,64	50,50	77,50	100	6,03	3,45	0,00	0,69	2	5	3
5	gießen	v	t	45,11	32,50	44,50	100	5,33	3,40	0,69	1,04	2	4	3
6	grüßen	v	t	60,00	50,50		97	4,72	4,15	2,00	2,01	2	5	4
7	kämpfen	v	i	55,23	38,50	65,50	93	4,63	4,35	1,64	2,01	2	5	4
8	kaufen	v	t	43,08	32,50	65,50	83	5,03	4,68	2,07	2,09	2	4	3
9	kitzeln	v	t	40,92	32,50	77,50	98	5,30	4,45	0,00	0,30	2	5	4
10	klettern	v	i	44,39	32,50	77,50	100	5,52	4,48	1,07	1,27	2	6	4
11	kneifen	v	t	47,86	38,50	65,50	100	4,97	3,75	0,00	0,47	2	5	4
12	krabbeln	v	i	43,52	38,50	65,50	98	5,37	3,83	0,47	0,00	2	6	5
13	küssen	v	t	44,24	32,50	44,50	98	6,15	2,83	0,30	1,49	2	4	3
14	lachen	v	i	36,58	32,50	38,50	100	6,47	4,90	1,78	2,03	2	4	3
15	löschen	v	t	58,12	50,50		100	4,12	3,60	0,69	1,11	2	4	3
16	messen	v	t	63,90	38,50	77,50	90	4,15	3,63	1,70	1,69	2	4	3
17	niesen	v	i	47,13	38,50		97	5,65	4,95	0,00	0,00	2	4	3
18	öffnen	v	t	47,42	38,50		97	4,80	3,72	1,55	2,01	2	5	3
19	pflücken	v	t	46,55	38,50		98	5,22	4,53	0,30	0,00	2	5	4
20	retten	v	t	63,47	44,50		75	3,53	4,78	1,68	1,85	2	4	3
21	rutschen	v	i	38,60	32,50	32,50	100	5,62	4,15	0,84	1,23	2	4	3
22	schieben	v	t	48,43	32,50	38,50	100	5,00	3,40	1,59	1,79	2	4	3
23	schlafen	v	i	30,36	32,50	38,50	98	6,30	3,48	1,59	1,82	2	5	4
24	schneiden	v	t	45,25	32,50	44,50	98	5,65	4,10	1,46	1,47	2	5	4
25	schubsen	v	t	47,28	32,50	65,50	87	5,15	4,35	0,00	0,00	2	5	3
26	schwimmen	v	i	45,51	38,50	56,50	100	5,95	3,48	1,38	1,41	2	6	4
27	sitzen	v	i	33,83	32,50	44,50	100	6,30	4,63	2,46	2,39	2	4	3
28	springen	v	i	39,90	32,50	89,50	95	5,80	4,15	1,59	1,86	2	7	5
29	spucken	v	i	46,99	32,50	65,50	92	5,53	3,65	0,00	0,84	2	5	4
30	tanzen (Paar)	v	i	42,80	32,50	56,50	100	6,03	4,23	1,14	1,50	2	5	4
31	tanzen (Ballett)	v	i				100		3,65					
32	tauchen	v	i	54,22	44,50	65,50	98	5,38	3,80	1,49	1,47	2	4	3
33	tragen	v	t	41,41	32,50	77,50	82	5,55	5,08	2,26	2,52	2	5	4
34	wandern	v	i	55,23	50,50		100	5,43	4,73	1,41	1,44	2	6	5
35	weinen	v	i	33,98	32,50	38,50	93	6,23	4,85	1,00	1,69	2	5	3
36	werfen	v	t	42,88	32,50	56,50	98	5,67	3,75	1,97	2,18	2	5	4
37	wiegen	v	t	56,67	50,50	89,50	92	4,53	4,28	0,95	1,04	2	4	3
38	zaubern	v	i	52,92	38,50	50,50	98	4,15	5,25	0,00	0,69	2	5	4
39	ziehen	v	t	42,07	32,50	44,50	100	5,27	3,83	2,18	2,45	2	4	2
	MW			46,89	37,20	59,29	96	5,32	4,09	1,08	1,31	2,00	5	4
	Stdabw.			8,45	6,35	16,29	6	0,68	0,57	0,76	0,73	0,00	1	1
	Min.			30,36	32,50	32,50	75	3,53	2,83	0,00	0,00	2,00	4	2
	Max.			63,90	50,50	89,50	100	6,47	5,25	2,46	2,52	2,00	6	5

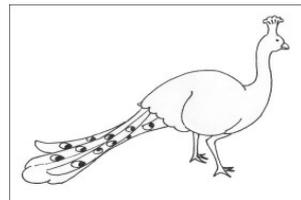
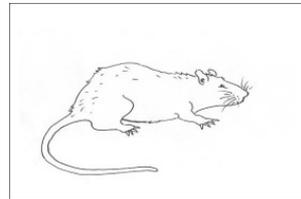
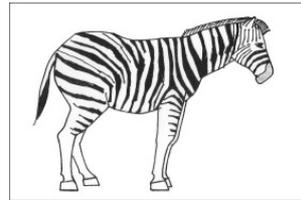
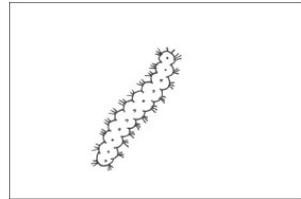
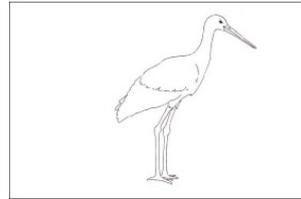
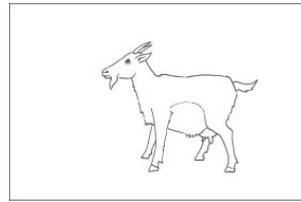
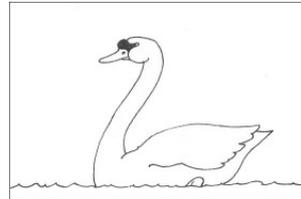
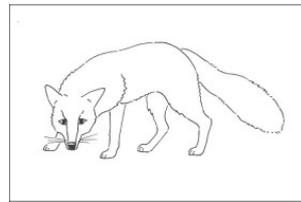
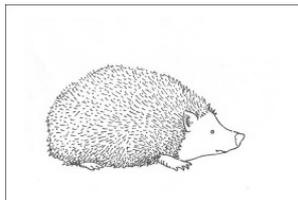
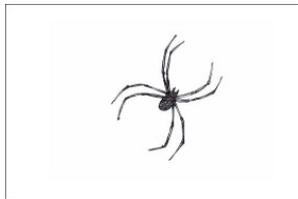
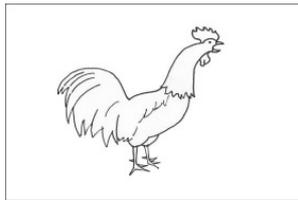
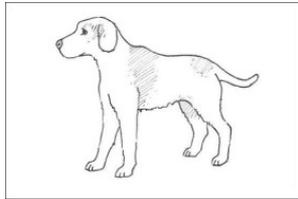
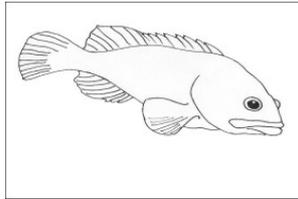
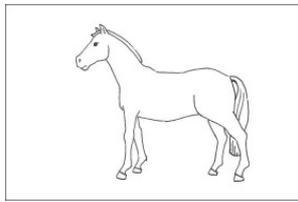
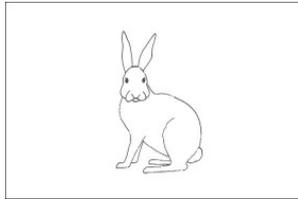
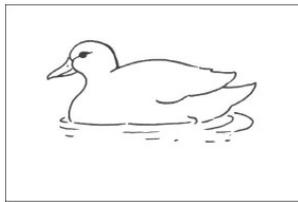
Anlage 14: Mittelwerte Stimulusparameter, finales Stimulusset: Nomen

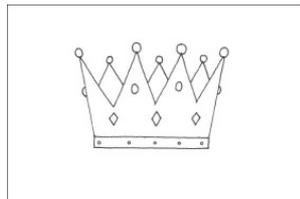
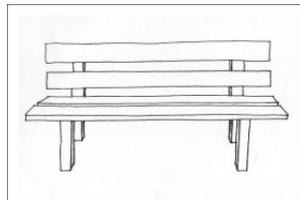
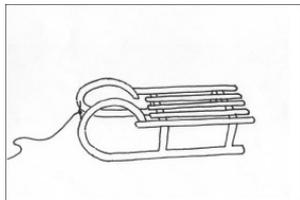
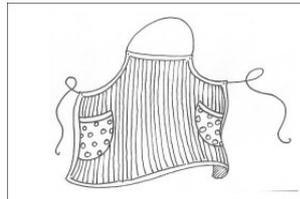
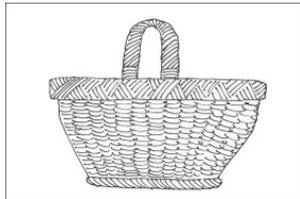
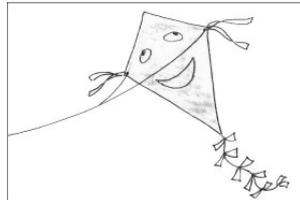
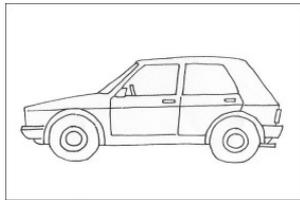
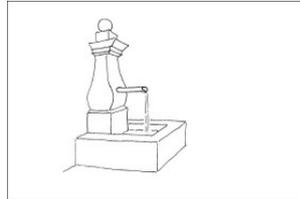
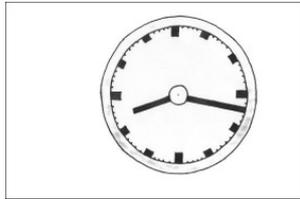
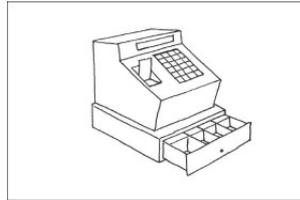
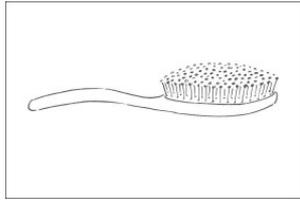
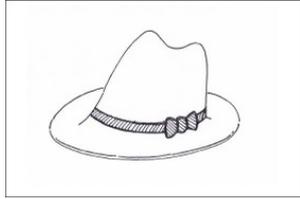
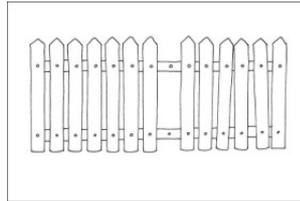
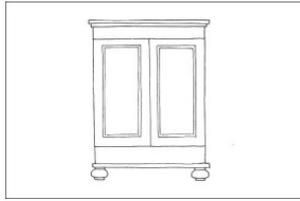
Item	Kat	SK	AoAe	BÜ	VK	FRs	VOR	WLp	WLps
Ente	Nomen	belebt	32,50	98	3,23	1,32	6,13	4	4
Fisch	Nomen	belebt	32,50	100	3,73	1,53	6,35	3	3
Fuchs	Nomen	belebt	38,50	100	3,41	0,90	5,98	4	4
Hahn	Nomen	belebt	32,50	100	3,88	0,84	5,93	3	3
Hase	Nomen	belebt	32,50	100	2,98	1,07	6,45	4	4
Hund	Nomen	belebt	32,50	100	3,86	1,78	6,55	4	4
Igel	Nomen	belebt	32,50	100	5,00	0,77	6,15	3	3
Pfau	Nomen	belebt	50,50	93	4,08	0,47	5,20	2	2
Pferd	Nomen	belebt	32,50	100	3,55	1,81	6,42	4	4
Ratte	Nomen	belebt	50,50	82	3,95	0,84	5,35	4	4
Raupe	Nomen	belebt	38,50	92	3,80	0,00	5,38	4	4
Schwan	Nomen	belebt	38,50	100	3,68	0,90	5,98	4	4
Spinne	Nomen	belebt	32,50	98	4,45	0,77	6,00	5	5
Storch	Nomen	belebt	38,50	100	4,00	0,69	5,90	5	5
Zebra	Nomen	belebt	38,50	100	5,53	1,38	6,00	5	5
Ziege	Nomen	belebt	38,50	97	3,88	0,90	5,85	4	4
Auto	Nomen	unbelebt	32,50	95	4,35	2,06	6,57	3	3
Bank	Nomen	unbelebt	38,50	97	3,08	2,14	5,57	4	4
Brunnen	Nomen	unbelebt	50,50	97	4,08	0,69	5,27	6	6
Bürste	Nomen	unbelebt	32,50	90	3,70	0,30	5,48	6	6
Drachen	Nomen	unbelebt	38,50	100	3,70	0,47	5,42	5	5
Hut	Nomen	unbelebt	32,50	98	3,25	1,27	6,27	3	3
Kasse	Nomen	unbelebt	50,50	100	4,03	1,71	5,00	4	4
Korb	Nomen	unbelebt	32,50	100	5,58	1,34	5,62	4	4
Krone	Nomen	unbelebt	38,50	100	3,38	1,43	5,55	5	5
Schlitten	Nomen	unbelebt	32,50	98	3,03	0,77	6,05	5	5
Schrank	Nomen	unbelebt	32,50	97	3,13	1,34	6,13	5	5
Schürze	Nomen	unbelebt	50,50	97	4,70	0,60	5,38	5	5
Uhr	Nomen	unbelebt	32,50	98	3,70	2,86	6,34	2	2
Zaun 1	Nomen	unbelebt	38,50	83	3,43	1,14	6,02	3	3
Zelt	Nomen	unbelebt	38,50	97	3,48	1,00	5,93	4	4
Zopf	Nomen	unbelebt	44,50	97	3,82	0,84	5,38	3	3
Mittelwert			37,75	96,98	3,86	1,12	5,86	4,03	4,03
Stdabw.			6,42	4,59	0,64	0,59	0,43	1,00	1,00
Minimum			32,50	82	2,98	0,00	5,00	2,00	2,00
Maximum			50,50	100	5,58	2,86	6,57	6,00	6,00

Anlage 15: Mittelwerte Stimulusparameter, finales Stimulusset: Verben

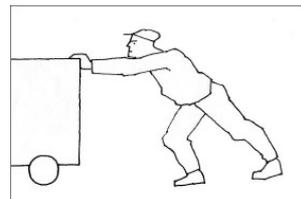
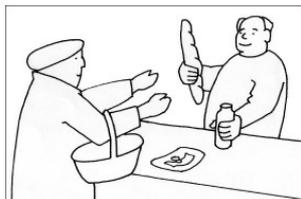
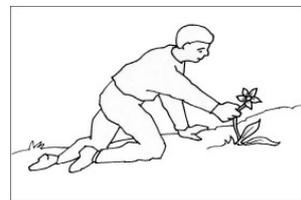
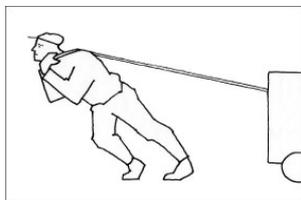
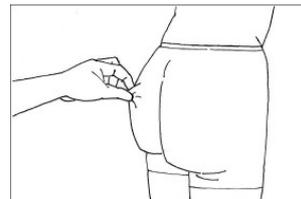
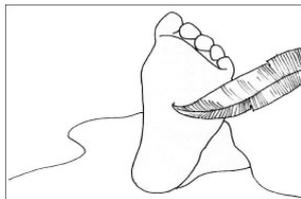
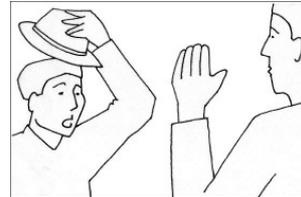
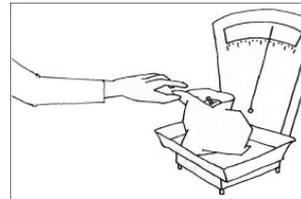
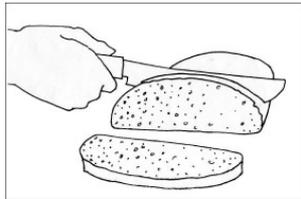
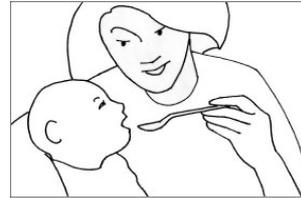
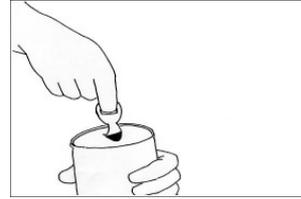
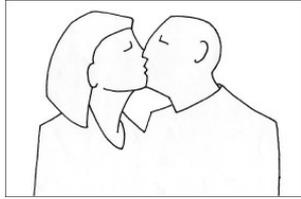
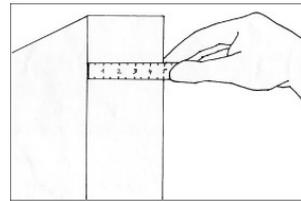
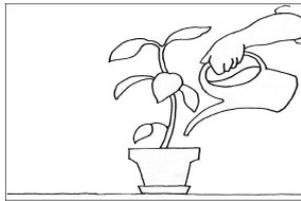
Item	Kat	SK	AoAe	BÜ	VK	FRs	VOR	WLp	WLps
bellen	Verb	intransitiv	32,50	100	3,48	0,47	5,48	5	3
gähnen	Verb	intransitiv	50,50	100	3,45	0,69	6,03	5	3
kämpfen	Verb	intransitiv	38,50	93	4,35	2,01	4,63	5	4
klettern	Verb	intransitiv	32,50	100	4,48	1,27	5,52	6	4
krabbeln	Verb	intransitiv	38,50	98	3,83	0,00	5,37	6	5
niesen	Verb	intransitiv	38,50	97	4,95	0,00	5,65	4	3
rutschen	Verb	intransitiv	32,50	100	4,15	1,23	5,62	4	3
schlafen	Verb	intransitiv	32,50	98	3,48	1,82	6,30	5	4
schwimmen	Verb	intransitiv	38,50	100	3,48	1,41	5,95	6	4
springen	Verb	intransitiv	32,50	95	4,15	1,86	5,80	7	5
spucken	Verb	intransitiv	32,50	92	3,65	0,84	5,53	5	4
tanzen (Ballett)	Verb	intransitiv	32,50	100	3,65	1,50	6,03	5	4
tauchen	Verb	intransitiv	44,50	98	3,80	1,47	5,38	4	3
wandern	Verb	intransitiv	50,50	100	4,73	1,44	5,43	6	5
weinen	Verb	intransitiv	32,50	93	4,85	1,69	6,23	5	3
zaubern	Verb	intransitiv	38,50	98	5,25	0,69	4,15	5	4
füttern	Verb	transitiv	38,50	100	3,70	0,95	5,60	5	4
gießen	Verb	transitiv	32,50	100	3,40	1,04	5,33	4	3
grüßen	Verb	transitiv	50,50	97	4,15	2,01	4,72	5	4
kaufen	Verb	transitiv	32,50	83	4,68	2,09	5,03	4	3
kitzeln	Verb	transitiv	32,50	98	4,45	0,30	5,30	5	4
kneifen	Verb	transitiv	38,50	100	3,75	0,47	4,97	5	4
küssen	Verb	transitiv	32,50	98	2,83	1,49	6,15	4	3
messen	Verb	transitiv	38,50	90	3,63	1,69	4,15	4	3
öffnen	Verb	transitiv	38,50	97	3,72	2,01	4,80	5	3
pflücken	Verb	transitiv	38,50	98	4,53	0,00	5,22	5	4
schieben	Verb	transitiv	32,50	100	3,40	1,79	5,00	4	3
schneiden	Verb	transitiv	32,50	98	4,10	1,47	5,65	5	4
schubsen	Verb	transitiv	32,50	87	4,35	0,00	5,15	5	3
werfen	Verb	transitiv	32,50	98	3,75	2,18	5,67	5	4
wiegen	Verb	transitiv	50,50	92	4,28	1,04	4,53	4	3
ziehen	Verb	transitiv	32,50	100	3,83	2,45	5,27	4	2
Mittelwert			37,00	96,88	4,01	1,23	5,36	4,88	3,59
Stdabw.			6,10	4,23	0,55	0,71	0,55	0,75	0,71
Minimum			32,50	83,00	2,83	0,00	4,15	4,00	2,00
Maximum			50,50	100,00	5,25	2,45	6,30	7,00	5,00

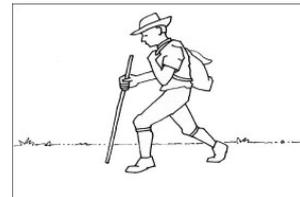
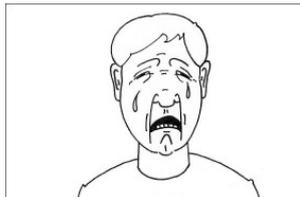
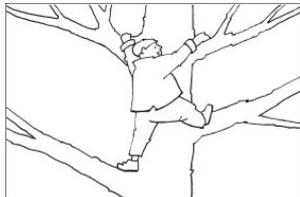
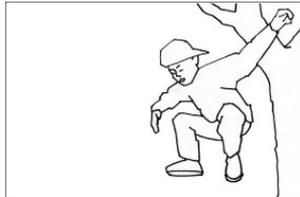
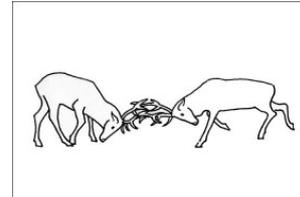
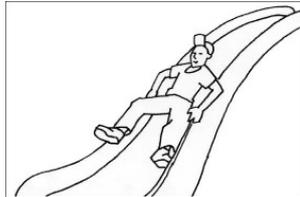
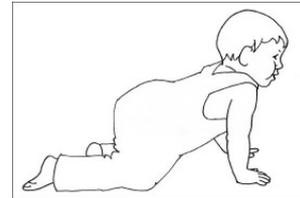
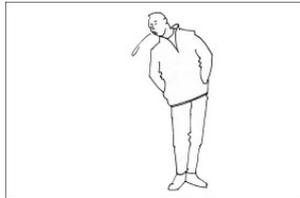
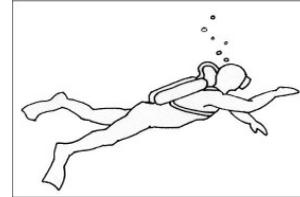
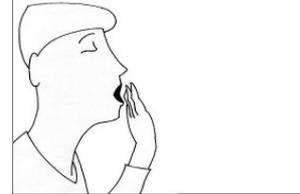
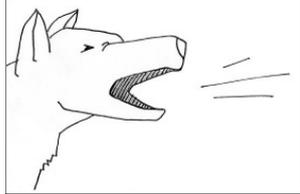
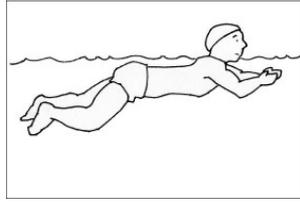
Anlage 16: Abbildungen Nomen





Anlage 17: Abbildungen Verben



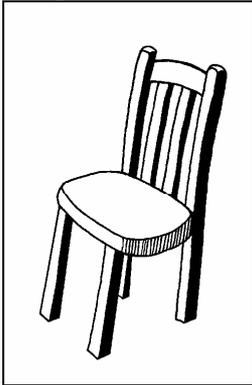


Anlage 18: Instruktion Reaktionszeitexperiment (Studie 1)

EXPERIMENT 1

Im folgenden Experiment geht es um Objektwörter (Nomen). Sie werden auf dem Monitor nacheinander verschiedene Zeichnungen von Objekten und Tieren sehen. Ihre Aufgabe besteht darin, zu sagen, **welches Objekt oder Tier abgebildet ist**. Wir werden die Zeit messen, die Sie zum Benennen der einzelnen Bilder benötigen. Bitte entscheiden Sie sich für das Wort, das Ihnen sofort in den Sinn kommt und am besten zu dem Objekt paßt. Bitte benutzen Sie jeweils nur ein Wort.

Beispiel:



Richtig:

Stuhl

Falsch:

**der Stuhl, Holzstuhl,
das ist ein Stuhl**

Bemühen Sie sich bitte direkt zu antworten und vermeiden Sie "hmm", "äh" oder ähnliche Äußerungen vor Ihrer Antwort, da diese das Meßergebnis verfälschen. Bevor das eigentliche Experiment beginnt, möchten wir mit Ihnen ein kurzes Training durchführen.

EXPERIMENT 2

Im zweiten Experiment geht es um Handlungswörter (Verben). Wir werden Ihnen Bilder von Handlungen zeigen und Sie sollen sagen, **was die Personen machen bzw. welche Handlung dargestellt wird**. Wir werden wieder die Zeit messen, die Sie zum Benennen der Handlungen benötigen. Bitte entscheiden Sie sich für das Wort, das Ihnen sofort in den Sinn kommt und am besten zu der Handlung paßt. Bitte benutzen Sie jeweils nur ein Wort.

Beispiel:



Richtig:

singen

Falsch:

**er singt, ein Lied singen,
der Mann singt ein Lied**

Bemühen Sie sich bitte direkt zu antworten und vermeiden Sie "hmm", "äh" oder ähnliche Äußerungen vor Ihrer Antwort, da diese das Meßergebnis verfälschen. Bevor das eigentliche Experiment beginnt, möchten wir mit Ihnen wieder ein kurzes Training durchführen.

Anlage 19: Mittelwerte Benennlatenz (Studie 1), potentielles Stimulusset: Nomen

NR	ITEM	Kat	SK	Mittelwert	Minimum	Maximum	Stdabw.
1	Apfel	n	b	695,79	507,00	1142,00	166,42
2	Auto	n	u	704,46	501,00	1217,00	157,66
3	Bank	n	u	799,61	456,00	1461,00	224,11
4	Baum	n	b	738,00	545,00	1208,00	154,03
5	Besen	n	u	745,53	392,00	1231,00	177,24
6	Birne	n	b	878,63	657,00	1312,00	138,68
7	Brille	n	u	854,50	663,00	1102,00	111,56
8	Brunnen	n	u	1398,79	833,00	2729,00	525,21
9	Bürste	n	u	812,76	581,00	1674,00	204,82
10	Drachen	n	u	842,81	595,00	1400,00	174,89
11	Ente	n	b	998,46	729,00	1610,00	213,90
12	Fahne	n	u	840,43	526,00	1234,00	156,22
13	Fisch	n	b	772,77	513,00	1191,00	137,15
14	Flasche	n	u	791,08	565,00	1139,00	138,58
15	Flöte	n	u	975,08	611,00	1492,00	258,74
16	Fuchs	n	b	977,56	730,00	1548,00	194,93
17	Glocke	n	u	855,38	395,00	1279,00	214,38
18	Gürtel	n	u	813,55	488,00	1447,00	193,57
19	Hahn	n	b	835,83	471,00	1485,00	213,95
20	Hammer	n	u	717,79	560,00	1114,00	131,15
21	Hase	n	b	756,62	558,00	1525,00	203,58
22	Hund	n	b	710,76	565,00	1008,00	107,04
23	Hut	n	u	651,67	440,00	1005,00	123,66
24	Igel	n	b	714,97	526,00	1176,00	136,92
25	Insel	n	u	908,75	730,00	1468,00	170,15
26	Kasse	n	u	882,22	644,00	1325,00	175,69
27	Katze	n	b	808,61	562,00	1420,00	176,68
28	Kirche	n	u	822,90	528,00	1269,00	168,60
29	Kleid	n	u	848,46	636,00	1479,00	183,43
30	Koffer	n	u	839,00	411,00	1194,00	173,38
31	Korb	n	u	808,23	616,00	1237,00	143,07
32	Krebs	n	b	1192,18	336,00	1831,00	352,30
33	Kreuz	n	u	798,13	637,00	1124,00	122,28
34	Krone	n	u	850,90	612,00	1581,00	185,01
35	Leiter	n	u	723,93	511,00	1236,00	164,24
36	Mond	n	u	769,53	461,00	1130,00	158,35
37	Pfanne	n	u	960,20	695,00	1138,00	100,69
38	Pfau	n	b	1097,95	781,00	1722,00	255,72
39	Pferd	n	b	811,28	557,00	1167,00	158,75
40	Pilz	n	u	754,93	544,00	1265,00	150,80
41	Ratte	n	b	1056,07	688,00	1546,00	271,95
42	Raupe	n	b	952,05	659,00	1502,00	221,98
43	Schlange	n	b	760,36	508,00	989,00	111,95
44	Schlitten	n	u	805,69	609,00	1249,00	151,26
45	Schlüssel	n	u	745,89	531,00	1185,00	138,68
46	Schnecke	n	b	800,17	557,00	1266,00	164,01
47	Schrank	n	u	970,96	642,00	1576,00	289,07
48	Schürze	n	u	1145,63	803,00	1932,00	287,97
49	Schwan	n	b	777,64	410,00	1315,00	195,09
50	Sessel	n	u	920,44	495,00	1477,00	240,21
51	Sonne	n	u	726,17	480,00	1054,00	132,01
52	Spinne	n	b	740,28	586,00	1090,00	103,32
53	Stern	n	u	740,71	506,00	1100,00	153,99
54	Storch	n	b	1083,00	695,00	1991,00	305,82
55	Uhr	n	u	699,48	467,00	989,00	113,06

NR	ITEM	Kat	SK	Mittelwert	Minimum	Maximum	Stdabw.
56	Zaun 1	n	u	784,67	542,00	1233,00	178,81
57	Zaun 2	n	u	724,66	523,00	1116,00	133,36
58	Zebra	n	b	789,96	578,00	1345,00	194,48
59	Zelt	n	u	701,72	580,00	1124,00	129,49
60	Ziege	n	b	959,04	721,00	1399,00	201,40
61	Zopf	n	u	1071,68	427,00	1826,00	328,41
62	Zwiebel	n	u	824,97	573,00	1178,00	152,91
Mittelwert				847,44	568,52	1351,56	185,43
Stdabw.				139,63	104,86	293,55	70,86
Minimum				651,67	336,00	989,00	100,69
Maximum				1398,79	833,00	2729,00	525,21

Anlage 20: Mittelwerte Benennlatenz (Studie 1), potentielles Stimulusset: Verben

NR	ITEM	KAT	SK	Mittelwert	Minimum	Maximum	Stdabw.
1	bellen	v	i	859,50	616,00	1531,00	216,77
2	betteln	v	i	1115,12	896,00	1549,00	178,94
3	füttern	v	t	993,27	678,00	1500,00	199,99
4	gähnen	v	i	1019,93	688,00	1645,00	281,66
5	gießen	v	t	821,61	641,00	1309,00	142,09
6	grüßen	v	t	1126,58	949,00	1573,00	143,54
7	kämpfen	v	i	1164,69	512,00	1957,00	335,79
8	kaufen	v	t	1454,00	841,00	2416,00	434,76
9	kitzeln	v	t	1091,07	807,00	1676,00	197,04
10	klettern	v	i	805,30	583,00	1167,00	141,98
11	kneifen	v	t	954,90	637,00	1610,00	241,13
12	krabbeln	v	i	923,11	586,00	1402,00	192,82
13	küssen	v	t	787,59	534,00	1355,00	158,83
14	lachen	v	i	744,04	540,00	1090,00	122,58
15	löschen	v	t	1203,43	928,00	1776,00	181,43
16	messen	v	t	940,48	736,00	1580,00	176,06
17	niesen	v	i	1092,18	753,00	1844,00	254,70
18	öffnen	v	t	1026,70	712,00	1607,00	234,87
19	pflücken	v	t	1214,59	796,00	2035,00	343,52
20	retten	v	t	1104,76	777,00	1314,00	143,21
21	rutschen	v	i	908,83	538,00	1148,00	131,54
22	schieben	v	t	870,56	586,00	1455,00	229,32
23	schlafen	v	i	842,31	666,00	1061,00	107,28
24	schneiden	v	t	920,20	670,00	1669,00	221,27
25	schubsen	v	t	1416,44	888,00	2736,00	472,62
26	schwimmen	v	i	712,28	464,00	1030,00	129,55
27	sitzen	v	i	942,90	592,00	1568,00	230,02
28	springen	v	i	1374,33	994,00	1831,00	286,32
29	spucken	v	i	1118,54	817,00	1549,00	181,06
30	tanzen (Paar)	v	i	877,72	624,00	1341,00	202,51
31	tanzen (Ballett)	v	i	1046,80	706,00	1708,00	227,31
32	tauchen	v	i	1011,00	866,00	1289,00	108,42
33	tragen	v	t	1192,00	661,00	2307,00	383,86
34	wandern	v	i	889,96	592,00	1255,00	165,35
35	weinen	v	i	795,43	556,00	1263,00	138,69
36	werfen	v	t	981,96	714,00	1369,00	171,83
37	wiegen	v	t	1173,58	855,00	1759,00	230,27
38	zaubern	v	i	905,29	598,00	1265,00	145,51
39	ziehen	v	t	911,10	658,00	1581,00	193,78
Mittelwert				1008,57	698,85	1567,18	212,26
Stdabw.				178,66	133,89	365,01	85,62
Minimum				712,28	464,00	1030,00	107,28
Maximum				1454,00	994,00	2736,00	472,62

Anlage 21: Fragebogen für die Teilnehmer der fMRT Untersuchung (Studie 2):

FRAGEBOGEN FÜR TEILNEHMER AN EINEM FMRT EXPERIMENT

Name:

Adresse:

Stadt:

Telefon:

e-mail:

Geburtsdatum:

Geschlecht: m / w

Heutiges Datum:

1. Allgemeine Fragen

Hierunter fallen Fragen zu Ihrer Ausbildung, Ihrem Beruf, und zur allgemeinen Gesundheit. Die meisten Fragen kann man mit ‚ja‘ oder ‚nein‘ beantworten (bitte jeweils ankreuzen was zutrifft). Einige Fragen lassen sich nicht einfach mit ‚ja/nein‘ beantworten. In solchen Fällen ist nach der Frage Platz für Ihre Antwort.

1. Was für eine Ausbildung haben Sie?

2. Was ist Ihr (jetziger) Beruf?

3. Sind Sie in Deutschland geboren? ja / nein

4. In welcher Region in Deutschland sind Sie aufgewachsen?

5. Ist Deutsch Ihre Muttersprache? ja / nein

6. Sind Sie mehrsprachig aufgewachsen? ja / nein

7. Sind Sie schon einmal beim Neurologen gewesen? ja / nein

Wenn ja, weshalb?

Wann?

8. Haben Sie schon einmal eine Untersuchung mit EEG / MRT bekommen? ja / nein

Wenn ja, weshalb?

Wann?

9. Haben Sie schon einmal schwere Gehirnerschütterung gehabt? ja / nein

Wenn ja, wann?

10. Leiden Sie unter Migräne? ja / nein

Wenn ja, wie häufig?

11. Nehmen Sie Medikamente? ja / nein

Wenn ja, wegen:

Schlafproblemen?	ja / nein
Epilepsie?	ja / nein
Parkinson?	ja / nein
allgemeinem Streß?	ja / nein
Depressivität?	ja / nein
Migräne?	ja / nein
etwas anderem?	ja / nein

Wenn ja, weswegen?

13. Haben Sie Sehprobleme? ja / nein

Wenn ja, was ist Ihre Korrektur? plus / minus

Tragen Sie eine Brille? ja / nein

Tragen Sie Kontaktlinsen? ja / nein

Ist Ihr Sehvermögen mit Brille oder Kontaktlinsen gut? ja / nein

14. Sind Sie farbenblind? ja / nein

15. Haben (Hatten) Sie eine Lese-Rechtschreib-Schwäche? ja / nein

16. Hatten Sie als Kind Schwierigkeiten mit dem Spracherwerb? ja / nein

Wenn ja, welche?

17. Haben (Hatten) Sie Schwierigkeiten mit dem flüssigen Sprechen (z.B. Stottern oder Poltern)? ja / nein

Wenn ja, welche?

18. Trinken Sie regelmäßig Alkohol? ja / nein

Wenn ja, wieviel etwa pro Woche?

2. Fragen zur Händigkeit

EDINBURGH HANDEDNESS INVENTORY (R.C. Oldfield, 1971)

Schätzen Sie bitte ein, welche Hand Sie beim Ausführen der folgenden Tätigkeiten bevorzugen. Markieren Sie die entsprechende Spalte mit +.

Wenn Ihre Neigung zum Benutzen einer Hand so stark ist, daß Sie niemals probieren würden, diese Tätigkeit mit der anderen Hand auszuführen, wenn Sie nicht dazu gezwungen werden, dann markieren Sie die entsprechende Spalte mit ++.

Wenn Sie sich in einigen Fällen nicht für eine Hand entscheiden können, markieren Sie beide Spalten mit einem +.

Einige der unten aufgeführten Tätigkeiten erfordern beide Hände. In diesen Fällen steht in Klammern hinter der Tätigkeit, für welche Hand Sie die Einschätzung vornehmen sollen. Versuchen Sie bitte alle Fragen zu beantworten.

		LINKS	RECHTS
1	schreiben		
2	zeichnen		
3	etwas werfen		
4	Schere benutzen		
5	Zahnbürste benutzen		
6	mit dem Messer schneiden		
7	Löffel benutzen		
8	Besen benutzen (obere Hand)		
9	Streichholz anzünden (Streichholz)		
10	den Deckel einer Dose öffnen (Deckel)		
i	mit dem Fuß einen Ball kicken		
ii	mit einem Auge sehen (offenes Auge)		

Summe LINKS		L.Q.	
Summe RECHTS		DECILE	
Summe GESAMT			

3. Fragen zur ‚Fußpräferenz‘

Bitte geben Sie an, ob Sie bei den unten genannten Tätigkeiten einen Fuß bevorzugen.

links rechts

19. auf einem Bein hüpfen -----
20. einen Schritt vorwärts machen (aus dem Stillstand) -----
21. die erste Treppenstufe steigen -----
22. mit dem Fuß einen Spaten in die Erde stechen -----

3. Abschließende Fragen zur Händigkeit

23. Würden Sie sich allgemein als rechts- oder linkshändig bezeichnen? rechts / links

24. Würden Sie sich allgemein als rechts- oder links'füßig' bezeichnen? rechts / links

25. Haben Sie jemals eine Neigung zur Linkshändigkeit gehabt? ja / nein

26. Haben Ihre Erziehungsberechtigten Sie jemals angehalten die andere (rechte) Hand zu benutzen? ja / nein

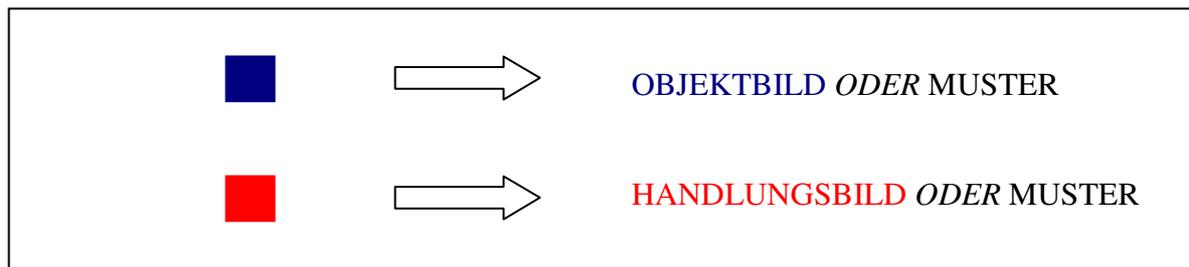
27. Ist unter Ihren Familienangehörigen (nur Blutsverwandte) ein/e Linkshänder/in?
ja / nein

Wenn ja, wer ist das (z. B. Vater, Bruder, etc.)?

Anlage 22: Instruktion für das fMRT Experiment (Studie 2):

FMRT EXPERIMENT

Im folgenden Experiment sollen Abbildungen von Objekten und Handlungen still benannt werden. Stilles Benennen bedeutet, dass ein zur Abbildung passendes Wort gedacht, aber nicht ausgesprochen werden soll. Sie werden auf dem Monitor nacheinander verschiedene Zeichnungen von Objekten oder Handlungen sehen. Außerdem werden Sie unterschiedlich gemusterte Bilder sehen. Bevor ein Bild gezeigt wird, erscheint stets ein farbiges Kästchen, das anzeigt, ob es beim nachfolgenden Bild um das Benennen eines Objektes oder einer Handlung geht, bzw. ob ein Muster erscheint:



Aufgabe:

- Wenn Sie ein **OBJEKT BILD** sehen, denken Sie bitte den Namen des abgebildeten Objekts und drücken gleichzeitig einen Knopf mit der linken Hand
- Wenn Sie ein **HANDLUNGS BILD** sehen, denken Sie bitte den Namen der Handlung und drücken gleichzeitig einen Knopf mit der linken Hand
- Wenn Sie ein **MUSTER** sehen, denken Sie bitte ok und drücken gleichzeitig einen Knopf mit der linken Hand

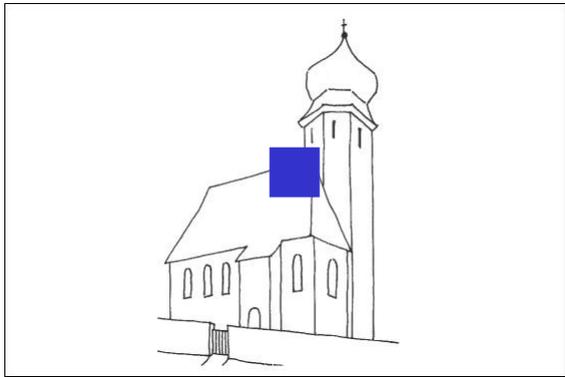
Bitte entscheiden Sie sich beim Bildbenennen stets für das Wort, das Ihnen *sofort in den Sinn* kommt und *am besten zu dem abgebildeten Objekt oder der Handlung passt*.

Vermeiden Sie bitte jegliche Artikulationsbewegungen oder Stimmeinsätze, während Sie die Begriffe denken. Fixieren Sie bitte mit den Augen immer die farbigen Kästchen bzw. das Fadenkreuz in der Mitte des Bildschirms.

BITTE UMBLÄTTERN

BEISPIELE

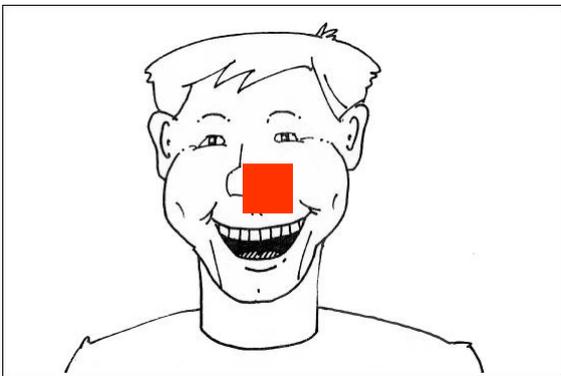
Beispiel Objektbild



Richtig: Kirche

Falsch: die Kirche, alte Kirche,
das ist eine Kirche

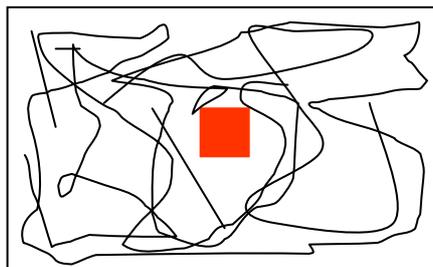
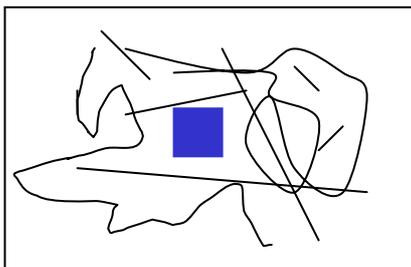
Beispiel Handlungsbild



Richtig: lachen

Falsch: der/er lacht, lustiges
Lachen, der Mann lacht

Beispiele Muster



Richtig: okay

Bevor das eigentliche Experiment beginnt, möchten wir mit Ihnen ein kurzes Training durchführen.

Viel Spaß!

Anlage 23: Mittlere Reaktionszeiten (Studie 2), finales Stimulusset: Nomen

Item	Kat	SK	Mittelwert	Minimum	Maximum	Stdabw.
Ente	Nomen	belebt	610,53	451,00	819,00	109,26
Fisch	Nomen	belebt	560,51	375,30	920,40	117,18
Fuchs	Nomen	belebt	639,40	373,80	940,30	159,42
Hahn	Nomen	belebt	608,93	309,40	1010,60	163,89
Hase	Nomen	belebt	572,55	431,70	901,20	106,09
Hund	Nomen	belebt	569,56	416,90	1032,90	114,35
Igel	Nomen	belebt	556,61	421,30	815,00	100,25
Pfau	Nomen	belebt	582,72	405,10	826,70	109,25
Pferd	Nomen	belebt	579,57	350,30	809,80	108,30
Ratte	Nomen	belebt	619,06	357,70	987,90	148,03
Raupe	Nomen	belebt	690,42	410,60	1283,20	199,56
Schwan	Nomen	belebt	620,54	346,50	968,60	129,10
Spinne	Nomen	belebt	607,39	364,10	923,40	128,17
Storch	Nomen	belebt	591,36	402,80	839,00	118,45
Zebra	Nomen	belebt	584,41	376,40	865,00	123,55
Ziege	Nomen	belebt	578,15	380,80	762,60	93,01
Auto	Nomen	unbelebt	519,57	349,20	731,90	85,06
Bank	Nomen	unbelebt	557,66	415,00	735,60	82,27
Brunnen	Nomen	unbelebt	743,68	324,90	1167,30	212,50
Bürste	Nomen	unbelebt	552,91	308,60	834,70	102,20
Drachen	Nomen	unbelebt	679,93	430,60	1019,70	151,87
Hut	Nomen	unbelebt	559,10	361,10	773,20	93,78
Kasse	Nomen	unbelebt	661,11	450,10	1043,20	167,13
Korb	Nomen	unbelebt	548,30	391,80	898,10	109,88
Krone	Nomen	unbelebt	578,15	401,00	792,10	120,33
Schlitten	Nomen	unbelebt	586,82	419,50	961,20	143,28
Schrank	Nomen	unbelebt	600,01	255,50	904,40	133,47
Schürze	Nomen	unbelebt	729,07	374,60	1378,40	232,25
Uhr	Nomen	unbelebt	562,93	338,80	963,60	136,24
Zaun 1	Nomen	unbelebt	624,20	375,40	1070,30	158,87
Zelt	Nomen	unbelebt	582,00	410,20	823,80	92,10
Zopf	Nomen	unbelebt	726,49	445,60	1246,50	193,61
Mittelwert			605,74	382,05	939,05	132,59
Stdabw.			56,09	45,18	158,54	37,78
Minimum			519,57	255,50	731,90	82,27
Maximum			743,68	451,00	1378,40	232,25

Anlage 24: Mittlere Reaktionszeiten (Studie 2), finales Stimulusset: Verben

Item	Kat	SK	Mittelwert	Minimum	Maximum	Stdabw.
bellern	Verb	intransitiv	579,99	395,00	809,80	104,87
gähnen	Verb	intransitiv	659,54	434,00	1146,80	161,70
kämpfen	Verb	intransitiv	679,92	371,90	987,90	150,96
klettern	Verb	intransitiv	651,02	430,40	1029,70	130,63
krabbeln	Verb	intransitiv	633,75	459,00	1029,10	122,49
niesen	Verb	intransitiv	727,70	520,20	1120,80	161,64
rutschen	Verb	intransitiv	661,13	410,60	1234,30	166,91
schlafen	Verb	intransitiv	626,70	368,00	1088,50	162,53
schwimmen	Verb	intransitiv	644,53	471,50	1040,20	126,73
springen	Verb	intransitiv	738,08	439,40	1088,30	189,08
spucken	Verb	intransitiv	704,42	349,00	1212,40	211,74
tanzen (Ballett)	Verb	intransitiv	618,10	478,00	994,00	126,90
tauchen	Verb	intransitiv	655,05	448,10	908,80	129,02
wandern	Verb	intransitiv	664,60	455,20	1001,90	118,21
weinen	Verb	intransitiv	621,36	418,60	1004,60	136,60
zaubern	Verb	intransitiv	668,43	420,60	1029,30	178,64
füttern	Verb	transitiv	683,35	375,20	1001,20	145,46
gießen	Verb	transitiv	670,75	389,10	983,60	149,28
grüßen	Verb	transitiv	667,03	443,80	970,50	143,94
kaufen	Verb	transitiv	793,35	411,70	1061,50	171,00
kitzeln	Verb	transitiv	717,24	451,40	1011,30	153,16
kneifen	Verb	transitiv	652,41	422,90	926,70	129,56
küssen	Verb	transitiv	576,96	355,60	789,60	96,55
messen	Verb	transitiv	780,35	531,40	1192,50	155,25
öffnen	Verb	transitiv	696,40	465,20	1112,60	152,34
pflücken	Verb	transitiv	707,88	406,20	1137,20	156,52
schieben	Verb	transitiv	549,53	386,90	805,90	98,22
schneiden	Verb	transitiv	641,25	409,70	998,10	120,19
schubsen	Verb	transitiv	694,48	444,30	1108,70	164,46
werfen	Verb	transitiv	635,24	410,90	975,00	161,30
wiegen	Verb	transitiv	718,96	450,10	1136,60	170,92
ziehen	Verb	transitiv	658,26	393,30	1259,70	162,94
Mittelwert			668,06	425,54	1037,41	147,18
Stdabw.			53,13	42,86	115,76	25,94
Minimum			549,53	349,00	789,60	96,55
Maximum			793,35	531,40	1259,70	211,74

Anlage 25: fMRT Haupteffekt Nomen

Anatomische Region	BA	k	t	Z	p korr	MNI Koordinaten		
						x	y	z
R G. okzipitalis medius	18	7164	19,58	Inf	0,000	30	-87	18
L G. okzipitalis medius	18		16,12	Inf	0,000	-30	-93	6
R G. okzipitalis medius	18		15,90	Inf	0,000	27	-57	-18
L. G. cinguli	24	235	7,28	6,24	0,000	-6	6	36
L/R G. cinguli	24		6,15	5,47	0,001	0	0	63
R G. präcentralis	4	272	7,00	6,05	0,000	51	-12	54
R G. präcentralis	6		6,66	5,82	0,000	42	-15	66
R G. präcentralis	4		6,06	5,40	0,001	30	-18	69
L G. präcentralis	6	158	6,80	5,92	0,000	-54	-3	45
L G. frontalis inferior	44		6,76	5,89	0,000	-60	6	24
L G. frontalis medius	9		6,56	5,75	0,000	-57	6	36
L Lobus parietalis inferior	40	39	6,66	5,82	0,000	-54	-21	27
L G. frontalis inferior	45	15	5,40	4,91	0,015	-48	30	12
L G. frontalis inferior	45		5,25	4,79	0,024	-45	30	12

Legende (für diese und die Anlagen 25-28): R = rechtshemisphärisch, L = linkshemisphärisch, G = Gyrus, Inf = gegen unendlich, BA = Brodmann Areal, k = räumliche Ausdehnung in Voxeln, t = T-Wert, Z = Z-Wert, MNI Koordinaten = dreidimensionale Koordinaten nach dem Montreal Neurological Institut, p korr = korrigierter p-Wert nach Bonferoni

Anlage 26: fMRT Haupteffekt Verben

Anatomische Region	BA	k	t	Z	p korr	MNI Koordinaten		
						x	y	z
R G. okzipitalis medius	19	9215	20,22	Inf	0,000	30	-87	18
L G. temporalis inferior/ G. okzipitalis medius	37/19		17,12	Inf	0,000	-45	-75	0
R G. fusiformis	37		16,44	Inf	0,000	27	-57	-15
L G. frontalis dorsalis	24	491	7,89	6,63	0,000	-6	9	36
R/L G. frontalis superior	6		7,15	6,15	0,000	0	0	63
R/L G. frontalis dorsalis	6		7,15	6,15	0,000	0	9	45
L G. frontalis inferior	44	1108	7,86	6,60	0,000	-48	12	27
L G. präcentralis	6		7,75	6,54	0,000	-51	12	6
L G. frontalis inferior	45		7,71	6,51	0,000	-45	27	9
R G. präcentralis	4	285	7,50	6,38	0,000	51	-9	54
R G. präcentralis	4		5,87	5,26	0,003	27	-18	72
R G. frontalis inferior	44		5,74	5,16	0,005	60	9	30
L G. frontalis superior	6	24	6,26	5,54	0,001	-21	0	69
R G. frontalis inferior	45	29	6,19	5,49	0,001	45	15	3
R/L G. cinguli	23	13	5,85	5,25	0,003	0	-27	24
L Lobus parietalis inferior	40	23	5,57	5,04	0,008	-51	-33	48
R Nucleus lentiformis		17	5,31	4,84	0,020	21	12	-3

Anlage 27: Haupteffekt gescrambelte Nomen

Anatomische Region	BA	k	t	Z	p korr	MNI Koordinaten		
						x	y	z
R G. okzipitalis medius	19	4925	14,59	Inf	0,000	30	-90	18
R G. lingualis	18		13,92	Inf	0,000	18	-81	-12
R G. fusiformis	37		13,71	Inf	0,000	27	-57	-15
R G. postcentralis	3	491	7,44	6,34	0,000	51	-18	51
R G. präcentralis	4		6,76	5,89	0,000	42	-15	66
R G. postcentralis			6,66	5,82	0,000	48	-12	15
L Lobus parietalis inferior	40	121	7,22	6,20	0,000	-54	-21	27
L G. cinguli	24	77	6,36	5,61	0,000	-3	3	36
R G. cinguli	24/32		6,01	5,36	0,000	3	-3	45
L G. temporalis superior	22	40	6,15	5,46	0,000	-45	-39	18
L G. präcentralis		10	5,57	5,04	0,000	-42	-3	15

Anlage 28: Haupteffekt gescrambelte Verben

Anatomische Region	BA	k	t	Z	p korr	MNI Koordinaten		
						x	y	z
R G. okzipitalis medius	19	5952	16,29	Inf	0,000	30	-90	18
R G. fusiformis	37		15,48	Inf	0,000	27	-57	-15
R G. fusiformis	19		14,60	Inf	0,000	18	-81	-12
L G. postcentralis	2	573	8,02	6,71	0,000	-57	-21	24
L G. temporalis superior	22		7,22	6,20	0,000	-45	-39	18
L G. frontalis inferior	44		6,77	5,90	0,000	-60	3	21
L G. cinguli	24	182	7,93	6,65	0,000	-6	6	36
R G. cinguli	24		7,21	6,16	0,000	3	-3	45
R G. postcentralis	1	1016	7,52	6,39	0,000	51	-18	51
R G. postcentralis			7,50	6,38	0,000	48	-12	15
R G. präcentralis	4		7,42	6,33	0,000	48	-12	57
L G. postcentralis		42	6,60	5,78	0,000	-42	-3	15
R/L G. cinguli	23	32	6,17	5,48	0,000	0	-27	24
R Thalamus		14	5,75	5,17	0,000	15	-18	3
L R Nucleus lentiformis		20	5,52	5,00	0,000	-30	0	-3
R Nucleus lentiformis			5,48	4,97	0,000	-21	-3	-3