

Korinna Eckstein: Interaktion von Syntax und Prosodie beim Sprachverstehen. Leipzig: Max Planck Institute for Human Cognitive and Brain Sciences, 2007 (MPI Series in Human Cognitive and Brain Sciences; 82)

Interaktion von Syntax und Prosodie beim
Sprachverstehen: Untersuchungen anhand
ereigniskorrelierter Hirnpotentiale

Interaktion von Syntax und Prosodie beim Sprachverstehen: Untersuchungen anhand ereigniskorrelierter Hirnpotentiale

Von der Fakultät für
Biowissenschaften, Pharmazie und Psychologie
der Universität Leipzig
genehmigte

DISSERTATION

zur Erlangung des akademischen Grades
doctor rerum naturalium
(Dr. rer. nat.)

vorgelegt von
Diplom-Psychologin Korinna Eckstein
geboren am 6. März 1979 in Oelsnitz/V.

Dekanin: Prof. Dr. Annette Beck-Sickinger

Gutachter: Prof. Dr. Angela D. Friederici
Prof. Dr. Erich Schröger
Prof. Dr. Kai Alter

Tag der Verteidigung: 7. Dezember 2006

Danksagung

Die vorliegende Arbeit entstand unter dem Zutun einer Vielzahl von Personen, denen ich an dieser Stelle meine Dankbarkeit zum Ausdruck bringen will. Mein besonderer Dank gilt Angela Friederici. Sie ermöglichte und betreute meine Arbeit und stand mir nicht nur mit ihrer Erfahrung stützend zur Seite, sondern bot mir auch die notwendigen Freiräume. Für anregende Diskussionen über die Inhalte dieser Arbeit und ihr Interesse möchte ich mich bei Chuck Clifton, Anne Cutler, Jack Gandour, Cheryl Frenck-Mestre und Eric Pakulak bedanken. Auch meinen Kollegen, insbesondere Beate Sabisch, Henning Holle, Silke Paulmann, Jörg Bahlmann, Anja Hahne sowie Thomas Gunter und Anna Hasting, gebührt mein Dank für ihre unermüdliche Diskussionsbereitschaft, die mich aus so mancher Sackgasse herausführte. Für ihren Rat, ihre Geduld und ihre tatkräftige Hilfe in allen praktischen Fragen möchte ich Maren Grigutsch, Sven Gutekunst, Burkhard Maess und besonders Ulrike Töpel meinen Dank aussprechen. Ulrike Barth, Ina Koch, Douglas Weinbrenner, Charlotte Wittekind, Christian Scharinger und Ulrike Schneider danke ich für ihre unentbehrliche und zuverlässige Unterstützung bei der Umsetzung der Experimente. Kerstin Flake möchte ich für ihre Hilfe bei allen Fragen des Designs und bei der Erstellung der Abbildungen danken. Frank-Michael Schleif und Felix Botner haben sich um die technische Umsetzung des Manuskripts bis zu einer druckreifen Version verdient gemacht. In diesem Zusammenhang bin ich auch Anna Hasting, Beate Sabisch und Henning Holle für ihre Hilfe beim Kampf gegen Tippfehler und argumentative Irrwege zu großem Dank verpflichtet. Bei Tobias Dörfler, Sabine Wienholz und Anja Thümmler möchte ich mich für die vielen Stunden seelisch-moralischer Aufbauarbeit herzlich bedanken. Meiner Familie danke ich für ihren nie endenden Zuspruch, ihre unentwegte Aufmunterung und ihr Verständnis.

Inhaltsverzeichnis

Einleitung	1
I Theoretischer Teil	3
1 Theoretischer Hintergrund	5
1.1 Syntax	6
1.2 Prosodie	8
1.3 Behaviorale Befunde zum Verhältnis von Syntax und Prosodie	15
1.4 Theoretische Überlegungen zur Schnittstelle von Prosodie und Syntax	22
1.5 Zusammenfassung	26
2 Ereigniskorrelierte Potentiale in der Psycholinguistik	29
2.1 Methodische Grundlagen zu EKPs	30
2.2 EKPs bei syntaktischer Verarbeitung	32
2.3 EKPs bei prosodischer Verarbeitung	37
2.4 Exkurs I: Musikverarbeitung	45
2.5 Exkurs II: Evidenzen aus Bildgebung und Läsionsstudien	49
2.6 Psychophysiologische Modelle zur Sprachverarbeitung	52
2.7 Zusammenfassung	55

II	Empirischer Teil	59
3	Fragestellungen der vorliegenden Arbeit und Überblick über die Experimente	61
4	Experiment 1: ELAN - Differentieller Einfluss von Prosodie	67
4.1	Fragestellung und Hypothesen	67
4.2	Methoden	68
4.2.1	Behavioraler Prosodievortest und Probandenselektion	68
4.2.2	Versuchsdesign und Satzmaterial	71
4.2.3	Produktion des Stimulusmaterials	72
4.2.4	Versuchsdurchführung	74
4.2.5	Datenanalyse	76
4.3	Ergebnisse	78
4.3.1	Behaviorale Daten	78
4.3.2	EKP-Daten	78
4.3.2.1	Gesamte Stichprobe	78
4.3.2.2	ELAN-Zeitfenster getrennt für die drei Prosodiegruppen	81
4.4	Diskussion	84
5	Experiment 2: RAN und P600 - Späte Interaktion (Satzende)	87
5.1	Fragestellung und Hypothesen	87
5.2	Methoden	89
5.2.1	Versuchsdesign und Satzmaterial	89
5.2.2	Produktion des Stimulusmaterials	91
5.2.3	Akustische Analysen	93
5.2.4	Versuchsdurchführung	98
5.2.5	Datenanalyse	100
5.3	Ergebnisse	101
5.3.1	Behaviorale Daten	101
5.3.2	EKP-Daten	102
5.3.2.1	Paarweise Analysen	102

5.3.2.2	Interaktivitätstest	110
5.4	Diskussion	112
6	Experiment 3: RAN und P600 - Späte Interaktion (Phrasenende)	119
6.1	Fragestellung und Hypothesen	119
6.2	Methoden	120
6.2.1	Versuchsdesign und Satzmaterial	120
6.2.2	Produktion des Stimulusmaterials	120
6.2.3	Akustische Analysen	122
6.2.4	Versuchsdurchführung	126
6.2.5	Datenanalyse	127
6.3	Ergebnisse	128
6.3.1	Behaviorale Daten	128
6.3.2	EKP-Daten	128
6.3.2.1	Paarweise Analysen	128
6.3.2.2	Interaktivitätstest	135
6.4	Diskussion	137
7	Experiment 4: RAN, ELAN und P600 - Frühe Interaktion	143
7.1	Fragestellung und Hypothesen	143
7.2	Methoden	146
7.2.1	Versuchsdesign und Satzmaterial	146
7.2.2	Produktion des Stimulusmaterials	147
7.2.3	Akustische Analysen	149
7.2.4	Versuchsdurchführung	152
7.2.5	Datenanalyse	153
7.3	Ergebnisse	155
7.3.1	Behaviorale Ergebnisse	155
7.3.2	EKPs	156
7.3.2.1	Mittelungsepoche I: Wortbeginn	156

7.3.2.2	Mittelungsepoche II: Wortendung	159
7.3.2.3	Interaktivitätstest	163
7.4	Diskussion	167
8	Allgemeine Diskussion und Ausblick	173
	Literatur	191
A	Anhang	211
A.1	Stimulusmaterial Experiment 2	211
A.2	Stimulusmaterial Experiment 3	214
A.3	Stimulusmaterial Experiment 4	218
	Abbildungsverzeichnis	221
	Tabellenverzeichnis	222
	Curriculum Vitae	225
	Bibliographische Daten	226

Einleitung

Noch bis zur Mitte des vorigen Jahrhunderts war die Vorstellung weit verbreitet, dass Sprache ein lineares System sei, in dem Wörter wie an einer Perlenschnur sequentiell produziert werden. Eine der ersten Beschreibungen von Sprache als hierarchisches System stammt von Lashley (1951). Die Annahme, dass Sprache in hierarchischen linguistischen Repräsentationen organisiert ist, setzte sich in den folgenden Jahren zunehmend durch, und gilt heute unumstritten. So basiert auch das wohl einflussreichste linguistische Modell, die Generative Grammatik, auf der Grundannahme, dass Sprache hierarchisch und rekursiv aufgebaut ist (N. Chomsky, 1957) und sprachliche Informationen auf verschiedenen Ebenen wie Phonologie, Prosodie, Syntax, Semantik und Pragmatik enthält. Um Sprachverstehensprozesse adäquat abbilden zu können, müssen psycholinguistische Modelle daher die Verarbeitung und Integration dieser Einzelinformationen beschreiben. Wie aber gelingt es dem menschlichen Sprachverarbeitungssystem, die vielfältigen und hochkomplexen Einzelinformationen so effektiv zu nutzen?

Während ein Hauptinteresse der psycholinguistischen Forschung anfangs darin lag, wie Menschen Assoziationen zwischen Wörtern lernen, rückte zunehmend die Frage in den Fokus, welche sprachlichen Strukturen extrahiert werden und wie dies genau geschieht. Beispielsweise gelang es der Psychologie, seit den späten 60er Jahren mit Hilfe einer beeindruckenden Palette experimenteller Methoden die psychologische Realität der von der theoretischen Grammatik postulierten syntaktischen Struktur empirisch zu stützen. Einigkeit herrscht heute weitestgehend auch darin, dass Sprachverstehen nicht allein inputgetrieben (*bottom-up*) vor sich geht, sondern besonders auch erwartungsbasierte Mechanismen (*top-down*) involviert. Offen ist hingegen, wie genau die Architektur des Sprachprozessors

beschrieben werden kann, und wie syntaktische und nicht-syntaktische Informationen interagieren. Genau diesen Fragen widmet sich die vorliegende Dissertationsschrift, mit der ein Beitrag zum Verständnis des Zusammenspiels von syntaktischer und prosodischer Information bei der Sprachverarbeitung geleistet werden soll.

Im ersten, theoretischen Teil wird der Ausgangspunkt der vorliegenden Arbeit verdeutlicht, indem dargelegt wird, dass überzeugende empirische Evidenz zum Verhältnis von Prosodie und Syntax noch immer aussteht. Dabei werden die entsprechenden linguistischen Grundlagen von Syntax und Prosodie in Kapitel 1 ausführlich beleuchtet. Im Anschluss wird in Kapitel 2 die in dieser Arbeit verwendete Methode der ereigniskorrelierten Potentiale (EKPs) kurz eingeführt, bevor die im Zusammenhang mit der vorliegenden Fragestellung relevanten EKP-Befunde genauer beschrieben werden.

Im empirischen Teil gibt Kapitel 3 zunächst einen kurzen Überblick über die einzelnen Experimente der vorliegenden Arbeit, bevor in den Kapiteln 4 bis 7 die vier durchgeführten EEG-Experimente im Detail dargestellt werden. Im abschließenden Kapitel 8 werden die empirischen Befunde zusammengefasst und deren theoretische Implikationen diskutiert.

Teil I

Theoretischer Teil

Kapitel 1

Theoretischer Hintergrund

Eine der grundlegenden Fragen psycholinguistischer Forschung ist, in welcher Reihenfolge verschiedene sprachliche Informationen verarbeitet werden und wie diese miteinander interagieren. Besonders bei Annahmen zu Modularität¹ vs. Interaktivität der Verarbeitung von syntaktischen und lexikalisch-semantischen Informationen unterscheiden sich verschiedene Sprachverstehensmodelle fundamental voneinander. Andere Arten sprachlicher Informationen führten lange Zeit ein Schattendasein und fanden weitaus weniger Beachtung bei der psycholinguistischen Modellbildung. Da die zugrunde liegenden empirischen Untersuchungen lange Zeit fast ausschließlich in der visuellen Modalität durchgeführt wurden, gilt dies insbesondere für die Domäne der Prosodie, welche rhythmisch-melodische Eigenschaften einer Äußerung umfasst und damit besonders bei gesprochener Sprache zum Tragen kommt.

In den folgenden Abschnitten dieses einführenden Kapitels werde ich einen kurzen Überblick über für die Arbeit relevante grundlegende theoretische Vorstellungen zu den Bereichen Syntax und Prosodie geben. Im Anschluss werde ich eine Auswahl behavioraler Untersuchungen zur Sprachverarbeitung besprechen, welche das Verhältnis von Syntax und Prosodie beleuchten. Der letzte Abschnitt dieses Kapitels wird darauf basierende theoretische Ansätze zur Modellierung der Schnittstelle zwischen Prosodie und Syntax skizzieren.

¹Modulare Ansätze gehen davon aus, dass sich bestimmte sprachliche Subsysteme in umschriebenen neuronalen Strukturen lokalisieren lassen und auf bestimmte Typen sprachlichen Inputs spezialisiert sind, welche sie auch obligatorisch und unabhängig von anderen Informationen verarbeiten (nach J. A. Fodor, 1983).

1.1 Syntax

Beim Sprachverstehen besteht die Herausforderung des syntaktischen Sprachverarbeitungssystems (Parser) darin, aus den seriell eintreffenden Sprachreizen eine hierarchische Repräsentation des Gesagten zu extrahieren. Ausgehend von der Frage, welche sprachlichen Informationen wann verarbeitet werden, haben sich insbesondere zwei konträre Gruppen von psycholinguistischen Theorien herausgebildet: modular-strukturgetriebene und interaktive Ansätze.

Strukturgetriebene Modelle Unter den strukturbasierten Modellen möchte ich als eines der einflussreichsten das *Syntax-First*-Modell von Frazier (1987; 1995) herausgreifen. Nach Frazier lässt sich der Sprachverstehensprozess in zwei Phasen gliedern: In einer ersten, streng modularen Phase wird auf Basis von Wortkategorieinformation mit Hilfe einfacher, allgemeiner und ökonomieorientierter Einfachheits-Prinzipien (wie *Minimal attachment* und *Late closure*²) eine initiale Phrasenstruktur des Satzes erstellt. Der Parser geht dabei streng seriell vor und versucht, jedes neu eintreffende Element in die aktuelle Phrasenstruktur einzubetten. Erst in einer zweiten, weniger modularen Phase werden weitere Informationen wie morphosyntaktische, lexikalisch-semantiche und Kontextinformationen verarbeitet, um den thematischen Gehalt des Satzes zu erkennen und so die Frage „Wer macht was mit wem?“ beantworten zu können. Dabei kann es vorkommen, dass sich die in der ersten Phase erstellte (einfachste) Phrasenstruktur als unvereinbar mit anderen, in der zweiten Phase verarbeiteten Informationen erweist. Dieses Phänomen wurde in der Psycholinguistik als *Garden-Path*-Effekt bekannt: der Parser hat sich auf den Holzweg führen lassen, was zu einer Reanalyse mit erhöhtem Verarbeitungsaufwand führt, um die tatsächliche Struktur des Satzes zuzuweisen (siehe auch Rayner, Carlson, & Frazier, 1983; Clifton et al., 2003; Shapiro, Hestvik, Lesan, & Garcia, 2003). Eben diese Konzeption strukturgetriebener Modelle, dass Syntax als alleinige Basis für die initiale Satzverarbeitung dient, wurde vor allem von interaktiven

²Ziel von *Minimal attachment* (MA) ist, jedes neu eintreffende Wort unter Ausbildung möglichst weniger syntaktischer Knoten in den aktuellen Strukturbaum zu integrieren, was zur Erstellung der einfachsten möglichen syntaktischen Struktur führt. *Late closure* (LC) besagt, dass die aktuelle syntaktische Phrase solange wie möglich für die Anbindung weiterer eintreffender Wörter offen gehalten werden sollte.

Modellen kritisiert, welche empirische Belege für eine frühe Beeinflussbarkeit des Parsers auch durch nicht-syntaktische Information anführten.

Interaktive Modelle Den Gegenpol zu Syntax-First-Modellen stellen *interaktive* Theorien dar, welche einen Einfluss nicht-syntaktischer Informationen bereits während des initialen Parsings postulieren. In ihrer extremsten Form bedeutet dies eine Interaktion aller möglichen Informationen bereits von der initialen Parsingphase an (z.B. Bever, 1970; McClelland, St. John, & Taraban, 1989; Marslen-Wilson & Tyler, 1980). Besonders im Bereich der Syntax fanden sich jedoch keine empirische Evidenzen für eine vollständige Interaktivität (Frazier, 1998). In einer abgeschwächten Form des interaktiven Ansatzes formulierten beispielsweise Ford und Kollegen (Ford, Bresnan, & Kaplan, 1982) ein lexikalisch getriebenes Modell, in dem *lexical guidance* als Grundprinzip der Satzverarbeitung fungiert: Alle möglichen thematischen Strukturen eines Verbs werden unmittelbar und erschöpfend aktiviert und lenken die initiale Analyse (s.a. Tanenhaus, Carlson, & Trueswell, 1989). Auch Altmann (z.B. Altmann & Steedman, 1988) stellte mit der *Referential Theory* ein eher schwach interaktives Parsingmodell vor, in dem die initiale syntaktische Analyse unmittelbar durch den Diskurskontext moduliert werden kann. Eine weitere Gruppe mit eher stark interaktivem Charakter sind *constraint*-basierte Modelle (z.B. Trueswell, Tanenhaus, & Kello, 1993; MacDonald, Pearlmutter, & Seidenberg, 1994). Diese nehmen an, dass Sprachverstehen durch verschiedene probabilistische Randbedingungen („constraints“) beeinflusst wird. Dadurch können neben syntaktischer Information auch andere Faktoren wie zum Beispiel die semantische Plausibilität (Boland & Tanenhaus, 1991) oder die Auftretenshäufigkeit bestimmter syntaktischer Strukturen (Trueswell, Tanenhaus, & Garnsey, 1994) initialen Einfluss auf die Sprachverarbeitung nehmen. Welche Information bei einer Analyse herangezogen wird, ist abhängig davon, wie hoch deren Informationsgehalt für die jeweilige Analyse ist (für eine Gegenargumentation siehe aber z.B. Clifton et al., 2003). Die meisten interaktiven Modelle gehen von der parallelen Erstellung verschiedener möglicher syntaktischer Strukturen aus, welche auf Basis verschiedener nicht-syntaktischer Informationen gewichtet werden unter der Annahme, dass nur die meistpräferierte Struktur weiterverfolgt wird. Daher ist die empirische

Überprüfung dieser Modelle problematisch, da die getroffenen Voraussagen sehr stark mit denen eines seriellen Modells korrespondieren.

Als Kernpunkt der Debatte zwischen strukturgetriebenen und interaktiven Ansätzen erscheint die Frage, *wann* nicht-syntaktische sprachliche Informationen bei der Sprachverarbeitung berücksichtigt werden. Dabei ist zu beachten, dass bei den meisten in dieser Diskussion angeführten psycholinguistischen Experimenten visuelle Sprachreize verwendet worden waren. Dem lag die (oft implizite) Annahme zugrunde, dass zwischen verschriftlichter und gesprochener Sprache lediglich Unterschiede im Bereich der perzeptuellen Verarbeitung bestünden. Diese Annahme hält jedoch einer näheren Betrachtung nicht Stand (s.a. Ferreira & Anes, 1994): So unterscheiden sich Schrift und gesprochene Sprache beispielsweise hinsichtlich der enthaltenen Segmentationshilfen (Lücken zwischen Wörtern und Satzpunktion vs. kontinuierlicher Sprachstrom und Prosodie) (vgl. auch Hagoort & Brown, 2000). Auch ist allen im vorangegangenen Abschnitt skizzierten psycholinguistischen Modellen gemeinsam, dass sie keine genauen Aussagen zur Rolle prosodischer Information bei der Sprachverarbeitung treffen. Aber was genau ist eigentlich Prosodie? Und ist es wirklich notwendig, diesen Aspekt der Sprache bei der Modellbildung mit einzubeziehen? Dass die Antwort darauf ein klares „Ja“ ist, soll in den nächsten Abschnitten verdeutlicht werden.

1.2 Prosodie

Auf die Frage „Was ist Prosodie?“ gibt es offenbar keine einfache Antwort, was sich in der enormen Anzahl von kursierenden Begriffsdefinitionen reflektiert. Cutler und Isgard (1980) fassten die Bedeutung von Prosodie treffenderweise als die „sauce of the sentence“ zusammen. Als gemeinsamer Nenner der meisten gängigen Definitionen erscheint mir die Feststellung, dass Prosodie die melodischen Eigenschaften eines lautsprachlichen Ereignisses umfasst (z.B. Intonation, Rhythmus), welche beim Hörer einen bestimmten perzeptiven Eindruck (z.B. Wort- und Satzakzente, steigende oder fallende Satzmelodie) hervorrufen (Warren, 1999). Dabei können diese Eigenschaften keinem Einzellaut (Segment) unmittelbar zugeordnet werden, sondern beziehen sie auf suprasegmentale Einheiten (= suprasegmentale

Phonologie). Prosodische Informationen werden über eine Reihe von akustischen Mustern signalisiert, welche über eine Vielzahl möglicher Merkmale und deren Kombinationen realisiert werden können (=lack of invariance-Problem, siehe z.B. Kjelgaard & Speer, 1999). Die am besten untersuchten akustischen Entsprechungen prosodischer Information sind die Grundfrequenz³, die Dauer und die Amplitude der Elemente einer sprachlichen Äußerung. Hierbei muss jedoch betont werden, dass kein linearer Zusammenhang zwischen bestimmten akustischen Parametern und deren phonologischer Bedeutung besteht (siehe z.B. Lehiste, 1970): Beispielsweise wird eine Stimmlage von 200 Hz bei einem männlichen Sprecher als hoch wahrgenommen, bei einem Kind jedoch als tief. Auch kann das Merkmal Tonhöhe selbst dann wahrgenommen werden, wenn im Sprachsignal gar kein Grundton enthalten ist (zum Beispiel bei stimmlosen Elementen). Die wahrgenommene Länge eines Wortes hängt nicht nur mit dessen akustischer Dauer zusammen, sondern wird zusätzlich von dessen Position im Satz und der allgemeinen Sprechgeschwindigkeit moduliert. Auch die empfundene Lautstärke eines Wortes ist nicht allein von seiner messbaren Amplitude abhängig, sondern unter anderem auch von der Position des Wortes im Satz (da Elemente am Satzende mit geringerem Luftvolumen und damit mit geringerer Amplitude produziert werden). Wie diese Beispiele zeigen, adjustiert das menschliche Perzeptionssystem seine Bewertung bestimmter akustischer Merkmale entsprechend einer Vielzahl von Faktoren. Umgekehrt kann auch eine bestimmtes prosodisches Merkmal (z.B. ein Wortakzent) durch eine ganze Reihe verschiedener akustischer Parameter umgesetzt werden (z.B. Lautdehnung, Amplitudenänderung, Grundfrequenzänderung). Dabei kann ein und derselbe akustische Parameter bei der Realisierung ganz verschiedener phonologischer Bedeutungen eingesetzt werden. Weiterhin variiert die Verwendung möglicher akustischer Muster sowohl innerhalb eines Sprechers als

³Die Grundfrequenz (F0) einer Äußerung bedingt im wesentlichen deren wahrgenommene Tonhöhe, und wird bestimmt durch die niedrigste Frequenz der harmonischen Schwingungen der Stimmlippen. Grundfrequenzinformation als Merkmal der Intonation ist auf verschiedenen Ebenen bedeutsam: erstens auf Wort- und Silbenebene (als *Ton* bezeichnet, besonders bedeutsam in Tonsprachen wie dem Chinesischen und Pitchakzent-sprachen wie dem Japanischen), und zweitens auf Phrasen- und Satzebene (Intonationskontur zur Markierung von Phrasierung, Satzmodus).

auch zwischen verschiedenen Sprechern und zwischen verschiedenen Sprachen zum Teil erheblich.

Ebenso vielfältig wie die akustisch-phonologischen Eigenschaften von Prosodie sind ihre Funktionen (nach Schafer, 1997):

- Prosodische Informationen, insbesondere die Wortbetonung, helfen bei der Identifikation von Wortgrenzen innerhalb des kontinuierlichen Sprachstroms und bei der Wortsegmentation (z.B. Cutler & Norris, 1988).
- Dabei kann Wortbetonungsinformation auch besonders den lexikalischen Zugriff unterstützen und sogar zur Disambiguierung der Wortsemantik (Bsp.: „UMfahren“ vs. „umFAHren“, „deSERT“ vs. „DEsert“⁴) beitragen. In Tonsprachen und Pitchakzent-sprachen kodiert der Tonverlauf eines Wortes sogar direkt lexikalische Information (zum Beispiel hängt die Bedeutung des Wortes „ma“ im Mandarin-Chinesisch ab von dessen Tonverlauf: hoher Levelton = Mutter, hoher steigender Ton = Hanf, tiefer Ton = Pferd, fallender Ton = schimpfen).
- Auch bei der Identifikation der Wortklassenzugehörigkeit scheint Prosodie informativ zu sein. So treten beispielsweise im Englischen Verben häufiger mit jambischer Betonung, Nomen hingegen häufiger mit trochäischen Betonung auf (Kelly, 1996). Die Nützlichkeit der Beachtung dieses prosodischen Musters wird besonders deutlich am Beispiel homographischer Formen (Bsp.: „REcall“_{Nomen} vs. „reCALL“_{Verb}).
- Weiterhin nimmt Prosodie Einfluss auf die Etablierung und Aufrechterhaltung eines Diskurses und bildet damit ein wichtiges Element der Informationsstruktur einer Äußerung. So können mit Hilfe prosodischer Markierungen Fokuspositionen signalisiert werden, um bestimmte Wörter hervorzuheben und beispielsweise neue von gegebener Information abzugrenzen oder die Korrektur eines bestimmten Sachverhaltes anzuzeigen.

⁴Wortakzente bzw. bei späteren Beispielen Phrasenakzente werden durch Großbuchstaben gekennzeichnet.

- Auch semantische Informationen wie der Satzmodus (Frage/Aussage/Ausruf) oder die Intention eines Sprechers (Ironie, Sarkasmus) können prosodisch enkodiert sein (siehe z.B. Speer, Crowder, & Thomas, 1993).
- Prosodie kann auch wichtige Informationen über die affektive Gestimmtheit eines Sprechers transportieren und so Emotionen und Einstellungen vermitteln (= emotionale Prosodie).
- Die im Kontext der vorliegenden Arbeit wichtigste Funktion von Prosodie ist ihre Rolle bei der Strukturierung von Äußerungen und dem Erkennen von syntaktischen Konstituenten. Dieses als Phrasierung bekannte Phänomen agiert oberhalb der Wortebene und umfasst die Gliederung einer Äußerung in Abschnitte. Besonders wichtig für die prosodische Phrasierung einer Äußerung ist die Intonationskontur (größtenteils realisiert über die Grundfrequenz).

Ogleich die besondere Bedeutung von Prosodie im Zusammenhang mit der syntaktischen Struktur eines Satzes häufig erwähnt wird und auch im Fokus dieser Arbeit steht, muss erneut betont werden, dass Prosodie und Syntax nicht deckungsgleich sind (siehe z.B. Ferreira, 1993; Gee & Grosjean, 1983; Beckman, 1996). So kann ein Satz mit einer bestimmten syntaktischen Struktur auf verschiedene Art und Weise intoniert werden, und optionale prosodische Grenzen können innerhalb einer syntaktischen Konstituente ganz verschieden realisiert werden. Dies kann am Beispielsatz (1) verdeutlicht werden, in dem die prosodische Phrasierung ein und desselben Satzes besonders von der jeweiligen Informationsstruktur moduliert wird und lediglich in einer (b) von sechs Varianten mit der syntaktischen Struktur übereinstimmt (entnommen aus Selkirk, 1984, S.293)⁵:

(1) a) (*Jane gave the book to Mary.*)

(1) b) (*Jane*) (*gave the book to Mary.*)

(1) c) (*Jane gave the book*) (*to Mary.*)

(1) d) (*Jane gave*) (*the book*) (*to Mary.*)

⁵In dieser Arbeit wird die prosodische Phrasierung durch runde Klammern markiert, die syntaktische Phrasierung wird mit eckigen Klammern dargestellt.

(1) e) (Jane) (gave the book) (to Mary.)

(1) f) (Jane) (gave) (the book) (to Mary.)

Umgekehrt kann ein und dasselbe prosodische Muster bei unterschiedlichen syntaktischen Strukturen angewendet werden. Es ist zwar allgemein unstrittig, dass eine prosodische Struktur stark durch die syntaktische Struktur eines Satzes beeinflusst wird, aber auf diese Beziehung wirken eben auch nicht-syntaktische Faktoren (z.B. Fokus, Informationsstruktur, semantisch-pragmatische Informationen) und andere nicht-linguistische Variablen wie Performanzfaktoren (z.B. Atmung im Zusammenhang mit der Länge einer Konstituente).

Fast alle phonologischen Theorien von Prosodie sind hierarchische Theorien und basieren auf der *Strict-layering Hypothesis* (Pierrehumbert, 1980; Beckman & Pierrehumbert, 1986; Nespor & Vogel, 1986): Danach wird eine höhere prosodische Ebene immer durch die Konstituenten der nächsttieferen Ebene erschöpfend gepart, wobei von den meisten phonologischen Theorien keine Rekursion (Verschachtelung) angenommen wird und damit benachbarte phonologische Phrasen stets in linearen, lokalen Beziehungen zueinander stehen⁶.

Eines der einflussreichsten Prosodiemodelle ist das von Elisabeth Selkirk (1984). Danach besteht eine prosodische Struktur aus einer Hierarchie von prosodischen Domänen (oder Konstituenten), welche eine phonologische Repräsentation formen (siehe Abbildung 1.1).

Dabei kann eine prosodische Konstituente auf einer niedrigeren hierarchischen Ebene (z.B. ein prosodisches Wort) nur einer einzigen Konstituente auf der nächsthöheren prosodischen Ebene (z.B. einer bestimmten phonologischen Phrase) zugeordnet werden. Alle Elemente einer Äußerung müssen auf jeder prosodischen Ebene erschöpfend in die jeweiligen prosodischen Phrasen unterteilt werden (siehe auch Abbildung 1.2).

Nach Selkirk lässt sich jede Äußerung in mindestens eine Intonationsphrase einteilen. Jede Intonationsphrase endet auf einen Grenzton (= Bewegung in der Grundfrequenz) und besitzt mindestens einen Akzent. Neben Grenztonen werden Intonationsphrasengrenzen weiterhin durch präfinale Dehnung (Längung der letzten Silben) und Pauseninsertation proso-

⁶Exhaustivität und Nichtrekursivität gelten jedoch nicht ausnahmslos, sondern können manchmal verletzt werden (siehe z.B. Ladd, 1986, 1996).

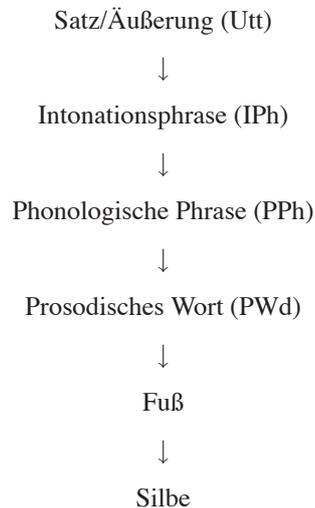


Abbildung 1.1: Prosodische Hierarchie nach Selkirk (1984).

disch markiert (s.a. Beckman, 1996; Fery, 1993; Price, Ostendorf, Shattuck-Hufnagel, & Fong, 1991). Auch Selkirk (1986) betont, dass Intonationsphrasen nicht notwendigerweise isomorph mit syntaktischen Phrasen sind, sondern insbesondere semantisch-kontextuellen Beschränkungen unterliegen (s.a. Shattuck-Hufnagel & Turk, 1996).

Weiterhin geht sie davon aus, dass phonologische Phrasen primär auf Basis der syntaktischen Struktur zugewiesen werden, indem eine phonologische Phrasengrenze an jedem rechten Ende einer vollen phrasalen Konstituente (z.B. NP, VP; siehe Abbildung 1.2) realisiert wird⁷.

Auf der Ebene des prosodischen Wortes hängt die Zugehörigkeit eines Wortes zu prosodischen Phrasen hauptsächlich von dessen Wortkategorie ab, also ob es sich um ein Inhaltswort oder ein Funktionswort handelt⁸. Inhaltswörter bestimmen ein prosodisches Wort.

⁷Die Annahme, dass die Ränder von syntaktischen Konstituenten mit den Rändern phonologischer Phrasen bündig sind, trifft jedoch nur bei neutraler Fokusstruktur zu. Die Orientierung dieser Bündigkeit differiert zwischen einzelnen Sprachen (z.B. im Deutschen - rechtsbündig).

⁸In der Linguistik wird eine allgemeine Unterteilung von Wörtern in zwei große Klassen postuliert. Die offene Klasse umfasst Inhaltswörter, welche vor allem semantische Informationen tragen, und ist prinzipiell

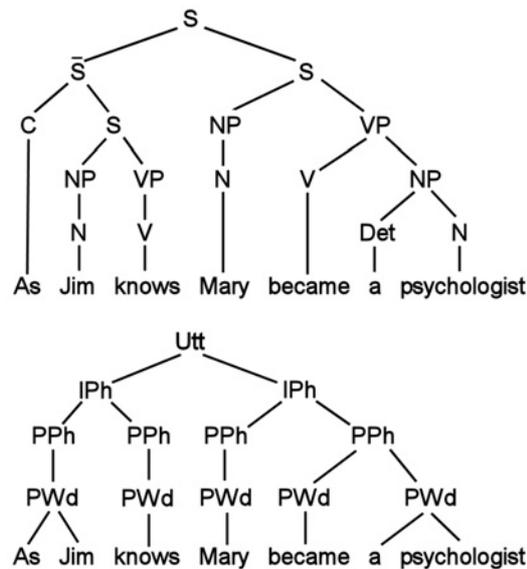


Abbildung 1.2: Syntaktische und prosodische Struktur für den Satz „As Jim knows Mary became a psychologist“ (entnommen aus Ferreira, 1993). S = Satz, NP = Nominalphrase, VP = Verbalphrase, C = Complementizer, N = Nomen, V = Verb, Det = Determiner.

Funktionswörter allein können kein prosodisches Wort konstituieren, sondern werden Selkirk zufolge phonologisch immer an ein Inhaltswort geknüpft.

Auf der Silbenebene ist jede sprachliche Äußerung gekennzeichnet durch eine Abfolge von stark und schwach betonten Silben (= Metrik). Dieses Abfolge ist bedingt durch Wortakzente, welche auf der jeweils betonungstragenden Silbe innerhalb von Wörtern realisiert werden, und durch den Satzakzent, welcher der Hervorhebung eines Wortes im Satz dient. Welche Silben innerhalb eines Satzes einen Akzent zugewiesen bekommen, hängt im wesentlichen von der syntaktischen und semantischen Struktur des Satzes und dessen Diskurs ab (eine ausführliche Darstellung für das Deutsche findet sich bei Jacobs, 1993).

Bei der Formulierung von Abbildungsalgorithmen zwischen Phonologie und Syntax besteht eine der zu bewältigenden Herausforderungen darin, die syntaktische Hierarchie (a)

um neue Elemente erweiterbar. Die geschlossene Klasse hingegen enthält ein begrenztes Repertoire von Funktionswörtern (z.B. Artikel, Präpositionen, Konjunktionen), welche primär syntaktische Funktionen erfüllen.

auf eine lineare Abfolge von prosodischen Phrasen (b) abzubilden, wie sich am folgenden klassischen Beispiel (2) verdeutlichen lässt (entnommen aus C. Chomsky & Halle, 1968):

(2) a) [*This is [the cat [that caught [the rat [that stole the cheese.]]]]]*

(2) b) (*This is the cat*) (*that caught the rat*) (*that stole the cheese.*)

Wie Selkirk nehmen auch andere Autoren an, dass phonologische Phrasen vor allem durch die syntaktische Struktur eines Satzes bestimmt werden, wenngleich es auch hierfür Ausnahmefälle gibt (besonders durch Einflüsse der Informationsstruktur). Nach dieser Unterscheidung korrelieren phonologische Phrasen in hohem Maße mit der syntaktischen Phrasierung, Intonationsphrasen hingegen sind zusätzlich stark von semantischen und informationsstrukturellen Einflüssen geprägt (z.B. Schafer, 1997; Shattuck-Hufnagel & Turk, 1996; Selkirk, 1986; Inkelas & Zec, 1995).

1.3 Behaviorale Befunde zum Verhältnis von Syntax und Prosodie

Sprachperzeption Die Mehrheit der vorhandenen Untersuchungen zum Überschneidungsbereich von syntaktischer und prosodischer Information beschäftigte sich mit der Frage, inwieweit prosodische Information bei der Auflösung syntaktischer Ambiguitäten herangezogen werden kann. Eine der ersten Studien zur Rolle von Prosodie bei der Sprachverarbeitung stammt von Lehiste (1973). In dieser Studie wurden strukturambige Sätze wie in (3) von vier Sprechern produziert.

(3) a) [*Steve*] [*or Sam and Bob*] [*will come.*]

(3) b) [*Steve or Sam*] [*and Bob*] [*will come.*]

Untersucht wurde der Einfluss prosodischer Information auf die strukturellen Analysen beim Hörer, deren Aufgabe darin bestand, jeweils die passende Paraphrase des gehörten Satzes auszuwählen. Dabei stellten sich die akustischen Parameter Dauer, Pausierung und Grundfrequenz als reliable Hinweise zur prosodischen Disambiguierung der syntaktischen Strukturen heraus (siehe auch Cooper & Paccia-Cooper, 1980; Streeter, 1978).

In einer vielzitierten Studie bedienten sich Marslen-Wilson und Kollegen (Marslen-Wilson, Tyler, Warren, Grenier, & Lee, 1992) des Cross-modalen-Benennungsparadigmas⁹, um den Einfluss prosodischer Information auf das syntaktische Parsing möglichst zeitnah untersuchen zu können. Dazu präsentierten sie auditiv Satzanfänge, welche bis zu einem gewissen Punkt strukturell ambig waren (siehe Beispiel (4), markiert durch -). Die dargebotenen Satzfragmente unterschieden sich jedoch hinsichtlich ihrer prosodischen Markierungen in Abhängigkeit davon, ob sie jeweils mit einer strukturell präferierten (4)a oder nicht-präferierten (4)b Fortsetzung eingesprochen worden waren.

(4) a) *The workers considered the last offer of the management - of the factory.*

(4) b) *The workers considered the last offer of the management - was a real insult.*

In einer Vielzahl visueller Lese- und Reaktionszeitstudien waren für eine solche nicht-präferierte Fortsetzung wie in (4)b wiederholt Garden-Path-Effekte berichtet worden, welche als Korrelat von Verarbeitungsschwierigkeiten in Folge allgemeiner Parsingpräferenzen interpretiert worden waren. Marslen-Wilson und Kollegen fanden hingegen eine extrem kurze Benennungslatenz für das visuell präsentierte Testwort („was“) für diese Garden-Path-Sätze, welche sich von der Benennungslatenz nicht von strukturell eindeutigen Sätzen unterschied. Die Autoren interpretierten das Fehlen eines Garden-Path-Effekts als Indiz dafür, dass prosodische Information schon zur frühen Disambiguierung herangezogen worden sein musste und Prosodie somit Einfluss auf die initiale syntaktische Analyse nehmen konnte. Dennoch mussten die Autoren einräumen, dass die von ihnen verwendete Methode der Cross-modalen-Benennung zeitlich nicht präzise genug war, um wirklich ausschließen zu können, dass prosodische Information nicht auch erst postinitial verarbeitet worden sein könnte. Auch war die prosodische Information darüber, dass es sich um eine (syntaktisch unpräferierte) Komplementlesart handelte, vermutlich schon mehrere Wörter vor dem Ende des auditori-

⁹Beim Cross-modalen-Benennungsparadigma wird unmittelbar nach der auditiven Darbietung eines Satzes bis zu einem bestimmten Punkt (z.B. vor einem disambiguierenden Wort) visuell ein Testwort präsentiert. Der Proband muss dann so schnell wie möglich dieses Testwort vorlesen. Das dahinter liegende Rational ist, dass ein leichter in den Kontext des zuvor gehörten Satzes integrierbares Wort schneller produziert werden kann.

schen Satzfragments enthalten (IPh zwischen „considered“ und „the last offer...“), wodurch eine postinitiale prosodische Verarbeitung bis zum Testwort zeitlich möglich gewesen wäre.

Anders als Marslen-Wilson und Kollegen konnten Watt und Murray in einer 1996 veröffentlichten ganz ähnlichen Studie keinerlei Einfluss der Prosodie auf die Benennungslatenzen der visuellen Satzfortsetzungen finden. Daher argumentierten Watt und Murray, dass Prosodie nicht die initialen Parsingprozesse beeinflussen könnte, sondern erst in einer postinitialen Phase berücksichtigt würde (s.a. Pynte & Prieur, 1996). Kritisch zu bemerken ist hierbei, dass keine der beiden Studien eine exakte Beschreibung der prosodischen Eigenschaften der verwendeten Sätze lieferte, so dass prosodische Unterschiede als Erklärung für die widersprüchlichen Befunde nicht bewertet werden können.

Eine vergleichbare Cross-modale-Benennungsstudie von Warren, Grabe und Nolan (1995) beinhaltete hingegen eine präzise Beschreibung der prosodischen Unterschiede verschiedener untersuchter Strukturen wie den folgenden:

(5) a) (*Before the king rides the horse*) - (*it takes ages to groom.*)

(5) b) (*Before the king rides*) (*the horse - is groomed for him.*)

Warren und Kollegen demonstrierten, dass diese prosodischen Unterschiede bei der Disambiguierung von strukturellen Ambiguitäten sehr wohl genutzt werden können. Sie betonten jedoch auch, dass verschiedene syntaktische Strukturen unterschiedlich stark prosodisch markiert sind und dies die Disambiguierungsprozesse beeinflusst.

In einer weiteren einflussreichen Arbeit verwendeten Blasko und Hall (Blasko & Hall, 1998, Exp. 3) lokal ambige Sätze wie die folgenden:

(6) a) (*As you know Mike*) (*exams seem to always fall on the same day.*)

(6) b) (*As you know*) (*Mike drove to the store for groceries.*)

Bei prosodisch kongruenten Sätzen, in denen die syntaktische Anbindung von „Mike“ durch eine IPh danach (siehe a) oder davor (siehe b) prosodisch realisiert war, wurde diese prosodisch basierte Analyse im späteren Satzverlauf bestätigt. Zusätzlich gab es noch prosodisch inkongruente¹⁰ Varianten von beiden Sätzen, welche durch eine kreuzweise Neukombina-

¹⁰Prosodische Inkongruenzen werden im folgenden durch ein # gekennzeichnet.

tion (*Cross-splicing*) der nach dem ambigen Wort „Mike“ auseinander geschnittenen Sätze erzeugt wurden (die Schnittstelle ist durch ein | markiert).

(7) a) # (*As you know Mike*) | *drove to the store for groceries.*)

(7) b) # (*As you know*) (*Mike* | *exams seem to always fall on the same day.*)

In den prosodisch inkongruenten Sätzen wie (7) war die zunächst anhand der prosodischen Informationen getroffene Anbindungsentscheidung für das strukturell ambige Wort „Mike“ unvereinbar mit dem im weiteren Satzverlauf verarbeiteten Input. Die Aufgabe der Probanden bestand in der Beurteilung der Satzbedeutung. Dabei beobachteten die Autoren langsamere Reaktionszeiten und höhere Fehlerraten für die prosodisch inkongruenten Sätze. Blasko und Hall interpretierten diesen Befund als Indiz eines „prosodic garden-path“, der belegt, dass Prosodie einen unabhängigen Beitrag zur Strukturbildung im Satz leistet.

Diese Ergebnisse wurden von einer weiteren einflussreichen Studie von Kjelgaard und Speer (1999) gestützt, in der lokale Ambiguitäten bei optional transitiven Verben wie in (8) benutzt wurden: für diese kann die nachfolgende Nominalphrase („the house“) entweder als a) direktes Objekt des Verbs interpretiert werden (entsprechend allgemeinen Parsing-Strategien wie Minimal attachment und Late closure), oder b) als Subjekt der nächsten Phrase. Für die auditive Präsentation der Sätze wurden zunächst beide Varianten so ausgesprochen, dass die prosodische Markierung mit der jeweiligen syntaktischen Struktur kongruent war:

(8) a) (*When Roger leaves the house*) (*it's dark.*)

(8) b) (*When Roger leaves*) (*the house is dark.*)

Zweitens wurden prosodisch inkongruente Sätze wie (9) konstruiert, bei denen jeweils die beiden letzten Satzteile (nach „house“) mittels Cross-Splittings ausgetauscht worden waren:

(9) a) # (*When Roger leaves the house*) | *is dark.*)

(9) b) # (*When Roger leaves*) (*the house* | *it's dark.*)

Drittens wurden prosodisch „neutrale“ Sätze wie in (10) präsentiert, die keine prosodischen Hinweise auf syntaktische Grenzen enthielten (angedeutet durch ?):

(10) a) ? *When Roger leaves the house it's dark.*

(10) b) ? *When Roger leaves the house is dark.*

Es zeigte sich bei verschiedenen Aufgaben (phonosyntaktisches Grammatikalitätsurteil, Satzverständnis, Cross-modale-Benennung), dass die Reaktionen der Probanden bei prosodisch kongruenten Sätzen schneller und korrekter waren als bei Sätzen mit „neutraler“ Prosodie. Am schlechtesten waren jedoch die Resultate für die prosodisch inkongruenten Sätze, worin Kjelgaard und Speer ein Indiz für einen prosodisch induzierten Garden-Path sahen. Daher interpretierten sie ihre Ergebnisse als Beleg für einen strukturentscheidenden Einfluss von Prosodie bereits bei der initialen syntaktischen Analyse, was bedeutet, dass prosodische Informationen automatische Parsingstrategien wie Minimal attachment und Late closure überschreiben könnten.

Andere Autoren gingen noch weiter und argumentierten, dass Prosodie nicht nur das aktuelle Parsing beeinflusst, sondern besonders prädiktive Funktion habe und zur Antizipation syntaktischer Strukturen genutzt werde. So postulierte Grosjean (1983), dass linguistische Prosodie hauptsächlich eine prädiktive Funktion während der Verarbeitung gesprochener Sprache besitze, welche auf verschiedenen Ebenen stattfindet (z.B. auf der Diskursebene, der Syntaxebene, dem Wortlevel oder sogar dem Silbenlevel). Grosjeans Argumentation basierte auf der These, dass Prädiktion eine nützliche Sprachverarbeitungsstrategie sei, um:

- die Zahl möglicher Alternativen zu reduzieren und so eine Fokussierung der Aufmerksamkeit zu erreichen,
- Verarbeitungsdomänen zu markieren (z.B. an Wort- oder Phrasengrenzen und damit die Vorbereitung auf das nächste Wort zu erleichtern),
- um das System zu entlasten und so Zeit zu geben für Prozesse wie Integration und Antwortvorbereitung.

Mit Hilfe von prädiktiven Strategien gelänge eine effizientere Sprachverarbeitung. Natürlich räumte Grosjean ein, dass Prädiktion bei weitem nicht perfekt ist und auch nie sein kann, da prädiktive Prozesse per definitionem probabilistisch sind. Er untermauerte seine These unter anderem mit einem Experiment, in dem er Sätze wie in Beispiel (11) präsentierte, welche eine optionale Präpositionalphrase (PP) mit drei (b), sechs (c) oder neun (d) Wörtern oder gar keine PP (a) enthielten.

(11) a) *Yesterday my sister made a cake.*

(11) b) *Yesterday my sister made a cake for the fair.*

(11) c) *Yesterday my sister made a cake for the fair at the school.*

(11) d) *Yesterday my sister made a cake for the fair at the school at the hill.*

In Abhängigkeit von der Länge der PP unterschieden sich die Sätze bezüglich verschiedener prosodischer Parameter. Den Probanden wurden jeweils die Anfänge dieser Sätze auditiv bis zu der Stelle, wo die optionale PP begann, präsentiert (bis „cake“). Einmal bestand die Aufgabe der Probanden darin zu entscheiden, aus welcher der vier im Anschluss visuell präsentierten verschieden langen Sätze das Fragment stammte. In der zweiten Aufgabe sollte abgeschätzt werden, wie lang der Satz war, aus dem das jeweilige Fragment stammte. Die Ergebnisse zeigten, dass die Versuchspersonen in der Lage waren, reliable Urteile unter beiden Aufgabenstellungen abzugeben. Diese Befunde stützten Grosjean in seiner Annahme, dass prosodische Information zur Antizipation syntaktischer Strukturen genutzt werden kann (s.a. Grosjean, 1980; Grosjean & Hirt, 1996).

Beach (1991) untersuchte, welche prosodischen Parameter im Einzelnen für die syntaktische Analyse eines Satzes berücksichtigt werden und präsentierte synthetisch erzeugte Sätze, die lokale strukturelle Ambiguitäten enthielten (a - Minimal attachment, b - non-Minimal attachment).

(12) a) *The scientist found a combination of chemicals in all the drainpipes.*

(12) b) *The scientist found a combination of chemicals clogged all the drainpipes.*

Zusätzlich wurde die prosodische Information auf einem kritischen Wort „found“ über die beiden akustischen Parameter Dauer und Grundfrequenz variiert. Bereits nach Präsentation

der ersten zwei Konstituenten (einschließlich „found“) waren die Probanden in der Lage zu beurteilen, aus welcher der beiden Strukturen das Fragment stammte. Der Einfluss der beiden prosodischen Parameter auf die Urteile der Probanden ließ sich Beach zufolge mit in einer „cue-trading“-Relation abbilden (s.a. Streeter, 1978; Alter, Matiassek, Steinhauer, Priker, & Friederici, 1998). Danach hängt das Gewicht eines der beiden Parameter für den phonologischen Eindruck der Probanden davon ab, wie ambig (und damit uninformativ) der jeweils andere ist. Das integrierte Perzept aus Dauer und Intonation beeinflusst dann die syntaktische Interpretation. Zwar legen die Befunde einer „cue-trading“-Relation eine separate prosodische Repräsentation nahe, Beach machte jedoch neben der Annahme, dass es definierte probabilistische Beziehungen zwischen bestimmten prosodischen und syntaktischen Strukturen gibt, nur wenig konkrete Angaben dazu, wie die Integration prosodischer und syntaktischer Informationen geschieht. Auch wurde diese Studie vielfach wegen ihrer zu geringen Trialanzahl (14 Sätze) und der Verwendung von synthetischer Sprache häufig kritisiert. So konnten Stirling und Wales (1996) die Befunde von Beach in einem ähnlichen Experiment mit natürlichem Sprachmaterial nicht replizieren. Stirling und Wales fanden nur dann einen signifikanten Einfluss von prosodischen Parametern auf die Urteile der Probanden, wenn die präsentierten Satzfragmente kurz gewesen waren, nicht aber bei langen Satzfragmenten. Dies interpretierten die Autoren als Beleg dafür, dass Prosodie zwar sehr wohl unterstützend auf Parsingentscheidungen wirken kann, jedoch nicht der einzige Einflussfaktor sei, der Parsingentscheidungen dirigiert.

Sprachproduktion Auch im Bereich der Sprachproduktion wurden eine ganze Reihe von Studien zum Verhältnis von syntaktischer und prosodischer Information durchgeführt. Cutler und Isard (1980) beispielsweise verglichen die Äußerungen zweier Sprecher miteinander und fanden bedeutende interindividuelle Unterschiede in der Realisierung prosodischer Parameter zur Signalisierung syntaktischer Strukturen. Daraus schlossen die Autoren, dass verschiedene prosodische Hinweise austauschbar sein müssen. Diese Annahme deckt sich mit Befunden aus der Sprachperzeption, nach denen unterschiedliche Muster verschiedener prosodischer Parameter zu einem Perzept mit einer bestimmten phonologischen Bedeutung integriert werden (z.B. Beach, 1991).

Eine andere theoretische Fragestellung bestand darin, ob ein Sprecher tatsächlich auch prosodische Markierungen produziert, um gegebenenfalls mehrdeutige Strukturen zu disambiguieren und somit das Sprachverstehen beim Hörer zu erleichtern. Allbritton, McKoon und Ratcliff (1996) beschäftigten sich mit dieser Problematik und ließen Probanden strukturell ambige Sätze vorlesen. Bei der Analyse der produzierten Sätze fanden die Autoren verlässliche prosodische Markierungen zur syntaktischen Disambiguierung nur dann, wenn sich der Sprecher der jeweiligen Ambiguität bewusst gewesen war.

Diese Studie von Allbritton und Kollegen blieb jedoch nicht lange unwidersprochen. Einer der vorgebrachten Kritikpunkte war, dass es einen Unterschied macht, ob ein potenziell ambiger Satz vorgelesen werden sollte, oder ob eine potenziell ambige Äußerung mit einer bestimmten, eindeutigen Intention produziert werde. So konnten Schafer, Speer, Warren und White (2000) belegen, dass Sprecher bei natürlichen, spontanen Äußerungen sehr wohl disambiguierende prosodische Merkmale zuverlässig produzieren, unabhängig davon, ob sie sich der Ambiguität bewusst waren oder nicht (s.a. Speer, Warren, & Schafer, 2003; Kraljic & Brennan, 2005).

1.4 Theoretische Überlegungen zur Schnittstelle von Prosodie und Syntax

Nicht zuletzt auch auf Basis der im vorangegangenen Abschnitt beschriebenen empirischen Befunde hat das Verhältnis von Prosodie und anderen Typen linguistischer Information zunehmend breitere Aufmerksamkeit in der psycholinguistischen Forschung erlangt. Obwohl die Notwendigkeit eines Modells zum Verhältnis von Prosodie und Syntax erkannt wurde (z.B. Cutler, Dahan, & van Donselaar, 1997; J. D. Fodor, 1998; Frazier, 1998), ist die theoretische Implementierung prosodischer Informationen besonders in allgemeine psycholinguistische Sprachverstehensmodelle immer noch sehr zurückhaltend und von einigen Kontroversen geprägt. Generell lassen sich an der Schnittstelle zwischen Phonologie und Syntax zwei Gruppen von Modellvorstellungen unterscheiden:

Der *syntaktische Ansatz* (z.B. Cooper, 1980; Cooper & Paccia-Cooper, 1980; Chen, 1990; Odden, 1990) nimmt einen direkten Zusammenhang zwischen Syntax und Phonologie an und geht davon aus, dass die Phonologie einen direkten Zugriff auf die syntaktische Oberflächenstruktur eines Satzes hat. Damit stehen der Phonologie alle syntaktischen Informationen zur Verfügung. Da sich der syntaktische Ansatz jedoch als empirisch inadäquat herausgestellt hat (und zudem noch gegen die Anforderungen des von seinen Vertretern zugrunde gelegten Sprachmodells bezüglich der Modularität syntaktischer Information verstößt), soll an dieser Stelle nicht näher darauf eingegangen werden.

Der *prosodische Ansatz* hingegen (z.B. Selkirk, 1984; Ferreira, 1993; Beckman, 1996; Zec & Inkelas, 1990; Nespor & Vogel, 1986) geht davon aus, dass die Verbindung zwischen phonologischen und syntaktischen Informationen über eine separate Repräsentationsebene vermittelt wird, welche ebenfalls geparkt werden muss. Dabei sind nicht alle syntaktischen Informationen für den Aufbau der prosodischen Repräsentation notwendig.

Selkirk (1978) führte für die Beschreibung dieser prosodischen Repräsentation den Begriff *P-Struktur* ein, welcher eine autonome Ebene mit einer eigenen hierarchischen Struktur bezeichnet. Selkirk (1986) nimmt an, dass ein Abgleich von Syntax und Prosodie (vermittelt über die prosodische Repräsentation) besonders auf der Phrasenebene passiert, und geht davon aus, dass die prosodische Repräsentation vor allem durch die syntaktische Struktur beeinflusst wird. Zec und Inkelas (1990) hingegen charakterisierten die Beziehung zwischen Prosodie und Syntax als bidirektional. Zwickey und Pullum (1986) wiederum postulieren eine explizit Phonologie-freie Syntax, in der die prosodische Struktur auf bestimmte syntaktische Informationen zugreifen kann, Prosodie jedoch keinerlei Einfluss auf die Syntax nehmen kann.

Welche syntaktischen Eigenschaften nun im Einzelnen in die P-Struktur überführt werden, ob und wie die P-Struktur umgekehrt Einfluss auf die syntaktische Struktur nehmen kann, und nach welchen Regeln dies geschieht, ist noch immer ein kontrovers diskutiertes Feld, nicht zuletzt deshalb, weil die bislang formulierten Prinzipien besonders im zwischen-sprachlichen Bereich immer wieder zu falschen Vorhersagen führen. Die Vertreter der verschiedenen genannten Modellvorstellungen zum Verhältnis von Prosodie und Syntax führen

jeweils eine ganze Reihe empirischer Befunde und sprachlicher Phänomene an, deren detaillierte Darstellung den Rahmen dieser Arbeit sicherlich überschreiten würde. Zusammenfassend erscheint mir eine wechselseitige Beziehung zwischen Syntax und Prosodie als die wahrscheinlichste, da sich sowohl Belege für syntaktische Beschränkungen über prosodische Strukturen als auch umgekehrt Beispiele für prosodische Beschränkungen über syntaktische Strukturen finden lassen.

Auch in der allgemeinen kognitiven Modellbildung zur Sprachverarbeitung existieren Bemühungen, den Einfluss prosodischer Information mit einzubeziehen. Interaktive Modelle sind mit der Annahme, dass prosodische Information bei der Sprachverarbeitung herangezogen wird und dies potentiell zu einem sehr frühen Zeitpunkt geschieht, prinzipiell vereinbar, da streng interaktive Ansätze ohnehin einen unmittelbaren Einfluss aller verfügbaren und relevanten Informationen postulieren (Marslen-Wilson et al., 1992). Problematischer ist dies für strukturgetriebene Modelle, die allein syntaktischer Information die initiale Verarbeitungspriorität einräumen. So versuchte beispielsweise Frazier (1990) diesen Widerspruch im Rahmen ihres strikt modularen Syntax-First-Ansatzes dahingehend zu lösen, dass sie sogenannte *Pseudoencapsulated modules* einführte, durch die prosodische Information den Input für die syntaktische Analyse spezifizieren kann (ein Überblick zu weiteren Ansätzen findet sich z.B. bei Warren, 1999). Eines der derzeit wohl am stärksten elaborierten Modelle zur Beziehung zwischen Prosodie und anderen linguistischen Ebenen bei der Sprachverarbeitung stammt von Amy Schafer (1997). Basierend auf Faziers Syntax-First-Modell trifft sie folgende Grundannahmen:

- In einer frühen Verarbeitungsphase wird eine prosodische Repräsentation erstellt, welche das Satzverstehen in weiteren Verarbeitungsphasen beeinflusst.
- Syntaktische Anbindungsentscheidungen werden nicht nur durch lokale prosodische Grenzen beeinflusst, sondern durch die gesamte phonologische Phrasierung (prosodische Struktur) eines Satzes.
- Die Interpretation der Fokusstruktur hängt vom Phrasierungsmuster eines Satzes und von der Akzentplatzierung im Satz ab.

- Die prosodische Phrasierung eines Satzes beeinflusst die Verfügbarkeit von Kontextinformationen zur Auflösung lexikalischer Ambiguitäten.

Nach Schafer finden sowohl die Identifikation von Morphemen und lexikalischen Einheiten als auch die Erstellung einer prosodischen Repräsentation in einem separaten phonologischen Modul - der prosodischen Repräsentation - statt. Dieses phonologische Modul beeinflusst sowohl syntaktische Prozesse (mittels phonologischer Phrasierung) als auch semantisch-pragmatische Prozesse (mittels Intonationsphrasierung und Satzakzente). Dabei stützt sich Schafer auf empirische Befunde, nach denen die Interpretation einer Intonationsphrasengrenze, die einer syntaktischen Ambiguität vorangeht, vom Vorhandensein und der Position anderer IPhs sowie vom Vorhandensein und der Art von Akzenten abhängig ist. Daher argumentiert sie, dass prosodische Information bereits vor der Position der syntaktischen Ambiguität selbst Einfluss auf die Satzverarbeitung nimmt und somit Prosodie bereits auf die frühe syntaktische Phrasenstruktur einwirken müsse. Dies erfolgt nach Schafers Modell, indem die prosodische Repräsentation zeitlich vor der Phrasenstruktur erstellt wird und den Parser bei der Erstellung der Phrasenstruktur unterstützt. Schafer geht von einer inkrementellen, seriellen Verarbeitung aus, bei der phonologische Phrasengrenzen die rechten Enden von phonologischen Phrasen determinieren, und phonologische Phrasen wiederum die Sichtbarkeit („visibility“) syntaktischer Knoten beeinflussen. Damit lässt sich der (indirekte) Einfluss von phonologischer Phrasierung auf die syntaktische Verarbeitung abbilden. Weiterhin demonstrieren Schafers Ergebnisse, dass nicht nur lokale prosodische Phrasen, sondern das gesamte phonologische Muster eines Satzes Auswirkungen auf syntaktische Anbindungsentscheidungen haben (s.a. Beach, 1991; Grosjean, 1983; Scott, 1982). Dies interpretiert sie als weiteren Beleg für die Annahme einer distinkten prosodischen Repräsentation, welche die Sprachverarbeitungsprozesse direkt beeinflussen kann (s.a. Frazier, Clifton, & Carlson, 2004).

Bezüglich der sprachlichen Funktion verschiedener prosodischer Informationen schlägt Schafer (1997) folgende Unterscheidung vor: Phonologische Phrasen hängen eng mit der syntaktischen Struktur einer Äußerung zusammen, Intonationsphrasen hingegen könnten eher als basale Domäne semantischer Interpretation angesehen werden. Auch seien die Ak-

zentmuster eines Satzes besonders mit Semantik und Pragmatik in Verbindung zu bringen. Dennoch muss Schafer feststellen, dass

“... Determining how prosody influences sentence comprehension is still very much a bootstrapping problem.” (Schafer, 1997, S.114)

Dies erstaunt wenig angesichts der außerordentlichen Komplexität und Variabilität prosodischer Realisationen und in Anbetracht der Tatsache, dass Prosodie mit einer Vielzahl von linguistischen Ebenen interagiert, von diesen jeweils jedoch nur bedingt bestimmt wird und umgekehrt eher subtile Einflüsse auf verschiedenste Ebenen der Interpretation nimmt.

1.5 Zusammenfassung

Aufgabe des Sprachverstehenssystems ist es, den seriellen Sprachstrom in eine hierarchische sprachliche Struktur zu überführen und damit ein organisiertes Muster der Bedeutung einer Äußerung zur Verfügung zu stellen. Dabei wird strukturgetriebenen Modellen zufolge zunächst allein auf Basis syntaktischer Information (bottom-up) mit Hilfe allgemeiner Parsing-Prinzipien (top-down) eine syntaktische Repräsentation erstellt. Weitere sprachliche Informationen wie zum Beispiel lexikalisch-semantische und pragmatische werden nach dieser Modellvorstellung erst später integriert. Interaktive Modelle hingegen nehmen auch Einflüsse nicht-syntaktischer Informationen auf die initiale Sprachverarbeitungsphase an. In dieser kontroversen Diskussion berufen sich die jeweiligen Vertreter zumeist auf empirische Evidenzen aus Experimenten mit geschriebener Sprache. Es konnte jedoch gezeigt werden, dass in visuellen Studien beobachtete Garden-Path-Effekte durch in der auditiven Modalität vorhandene prosodische Informationen blockiert werden können, oder sogar allein auf Basis prosodischer Informationen Garden-Path-Effekte ausgelöst werden können (z.B. Kjelgaard & Speer, 1999). Die berichteten Studien belegen nicht nur, dass Prosodie bei strukturellen Ambiguitäten wertvolle Entscheidungshilfen liefern und eine nicht-präferierte syntaktische Analyse erleichtern kann, sondern auch direkten Einfluss auf die Anbindungsentscheidungen des Parsers nehmen kann (Speer et al., 2003; J. D. Fodor, 1998). Klassische Parsingmodelle

scheinen demnach eine eingeschränkte externe Validität aufzuweisen und zunächst für die Verarbeitung von Schriftsprache Gültigkeit zu besitzen (Beckman, 1996).

Obwohl noch bis vor zehn Jahren infolge teilweise widersprüchlicher empirischer Befunde umstritten war, ob prosodische Information syntaktische Prozesse überhaupt beeinflussen kann und zu welchem Zeitpunkt ein solcher Einfluss möglich sei, wird Prosodie heute weitgehend übereinstimmend als einflussreicher Faktor für den Sprachverarbeitungsprozess angesehen. Die Widersprüchlichkeit der empirischen Ergebnisse zum Einfluss von Prosodie auf die syntaktische Verarbeitung kann meines Erachtens nach auf verschiedene Faktoren zurückgeführt werden: Zum einen liefern etliche Studien eine nur sehr ungenaue Beschreibung der prosodischen Merkmale des verwendeten Materials oder diese fehlen sogar völlig. Dies ist zumindest bei den älteren Berichten sicherlich nicht zuletzt den mit der akustischen Analyse des hochkomplexen auditiven Signals verbundenen methodischen und technischen Schwierigkeiten geschuldet. Weitere Faktoren sind vermutlich die große interindividuelle Varianz dahingehend, welche akustischen Merkmale einzelne Sprecher für bestimmte prosodische Realisierungen nutzen, und dass verschiedene akustische Parameter gemeinsam oder auch in verschiedenen Teilkombinationen ein und dasselbe prosodische Phänomen markieren können („cue-trading“). Auch gilt als gesichert, dass nicht alle syntaktischen Strukturen gleichermaßen reliabel über prosodische Parameter signalisiert werden (siehe z.B. Warren et al., 1995). Beispielsweise wird der Unterschied zwischen der Objekt- vs. Satzkomplementlesart (z.B. verwendet in Warren et al., 1995; Marslen-Wilson et al., 1992; Beach, 1991) stärker prosodisch markiert als der Unterschied zwischen adnominal vs. adverbial angeordneten Präpositionalphrasen (z.B. verwendet in Pynte & Prieur, 1996).

Obwohl teilweise recht kontrovers beurteilt, setzte sich in den letzten Jahren zunehmend die Annahme durch, dass prosodische Informationen auf einer separaten Repräsentationsebene verarbeitet werden. Es wird angenommen, dass die prosodische Repräsentation hierarchisch geordnet ist und mit Hilfe unabhängiger Prinzipien separat geparkt wird (z.B. Beckman, 1996; Cutler et al., 1997; Warren, 1999; J. D. Fodor, 1998). Die prosodische Repräsentation wirkt vermittelnd zwischen syntaktischer und phonologischer Struktur. Dabei geht die vorliegende Arbeit davon aus, dass die empirische Datenlage am besten mit einer bidi-

rektionalen Beziehung zwischen prosodischer Struktur und syntaktischer Struktur vereinbar ist, wobei es zwischen beiden Ebenen keine eindeutige Relation gibt, sondern vielfältige Faktoren modulierend einwirken.

Als eine zentrale Frage von Theorien zur Sprachverarbeitung und so auch als Kernpunkt der Diskussion zwischen strukturbasierten und interaktiven Modellen kristallisiert sich die Bestimmung des Zeitpunktes, zu dem verschiedene Arten sprachlicher Informationen (besonders nicht-syntaktische) in die Analyse einbezogen werden, heraus (Marslen-Wilson et al., 1992; Schafer, 1997). Bei genauerer Betrachtung der in den Argumentationen der einzelnen Autoren angeführten Studien wird jedoch deutlich, dass die angewandten Methoden, welche zumeist Verhaltensparameter als abhängige Variable registrieren (z.B. Reaktionszeit, Fehler), nur begrenzte Aussagen über interne Sprachverarbeitung während ihres Ablaufs („online“) zulassen. Selbst behaviorale Methoden mit stärkerem online-Charakter (z.B. Cross-modale-Benennung, Cross-modale lexikalische Entscheidungsaufgabe) weisen nicht die notwendige zeitliche Auflösung auf, um besonders Fragen bezüglich der initialen Verarbeitungsschritte eindeutig beantworten zu können, und enthalten zudem noch einen unnatürlichen Modalitätswechsel. Auch bei der Frage nach dem Zeitverlauf der Verarbeitung prosodischer Informationen herrscht alles andere als Klarheit: Manche Autoren argumentieren im Sinne eines initialen prosodischen Einflusses (z.B. Schafer, 1997; Speer et al., 2003; Marslen-Wilson et al., 1992; Warren et al., 1995; Speer, Kjelgaard, & Dobroth, 1996), andere interpretieren die empirische Datenlage eher im Sinne eines postinitialen Einflusses von Prosodie (z.B. Pynte & Prieur, 1996; Pynte, 1998; Marcus & Hindle, 1990). Eine größere Gewissheit bei der Entscheidung dieser Frage kann nur mit einer Erweiterung des Methodeninventars erreicht werden (Marslen-Wilson et al., 1992; Warren, 1999; Blasko & Hall, 1998; Schafer, 1997). Als sehr fruchtbare und nützliche Methode haben sich hierfür in den letzten Jahren ereigniskorrelierte Potentiale erwiesen, denen sich das nächste Kapitel widmet.

Kapitel 2

Ereigniskorrelierte Potentiale in der Psycholinguistik

Wie bereits im vorangegangenen Kapitel deutlich wurde, entziehen sich einige psycholinguistische Annahmen zur Sprachverarbeitung der Überprüfung mit behavioralen Methoden allein. Die Frage, wann bestimmte sprachliche Informationen in die Analyse einbezogen werden, stellte sich in der Psycholinguistik vor allem auch als eine methodische Herausforderung dar, was die Notwendigkeit immer sensibler und präziser werdender Techniken zur Erfassung menschlicher Sprachverarbeitungsprozesse zur Folge hatte. So wurden Methoden mit offline-Charakter (z.B. Fehlerraten, Satzergänzungsstudien) zunehmend durch neuere Methoden mit immer stärkerem online-Charakter verdrängt. Physiologische Ansätze wie die Erfassung von Blickbewegungen oder die direkte Messung von Gehirnaktivitäten mit Hilfe ereigniskorrelierter Potentiale (EKPs), welche einen millisekundengenauen Einblick in ablaufende Verarbeitungsprozesse erlauben, setzten sich verstärkt seit den 80er Jahren durch. Auf diese Weise entwickelte sich die Sprachforschung bereits seit mehr als zwei Jahrzehnten immer stärker zu einem vitalen interdisziplinären Wirkungsfeld einer ganzen Reihe von Disziplinen wie Kognitionspsychologie, Linguistik, Neuropsychologie, Psycho- und Neurophysiologie. Ziel ist es, sowohl die prozessuale Architektur menschlicher Sprachverarbeitungsmechanismen sowie deren neuronale Repräsentation zu beschreiben.

In diesem Kapitel soll die derzeitige Befundlage in Bezug auf prosodische und syntaktische Informationen im Überblick dargestellt werden. Ich werde mich nach einigen kurzen grundlegenden methodischen Bemerkungen auf die Ergebnisse empirischer Studien konzentrieren, denen es gelang, interne Sprachverarbeitungsprozesse während ihres Ablaufes - online - zu erfassen. Dabei werde ich im Besonderen auf Studien zur Verarbeitung syntaktischer und prosodischer Information eingehen. Im zweiten Teil dieses Kapitels werde ich kurz wichtige Erkenntnisse aus bildgebenden Untersuchungen und Läsionsstudien anreißen, bei denen die Lokalisation der für die vorliegende Arbeit relevanten syntaktischen und prosodischen Sprachverarbeitungsprozesse im Fokus stand.

2.1 Methodische Grundlagen zu EKPs

Ereigniskorrelierte Potentiale (EKPs) sind elektrische Potentialverschiebungen, welche hauptsächlich in den Pyramidenzellen des Kortex (und zu einem geringeren Anteil auch in subkortikalen Regionen) generiert werden und zeitlich korreliert sind mit einem sensorischen, motorischen oder psychischen Ereignis (Birbaumer & Schmidt, 1995; Kotchoubey, 2006). Neben der ereigniskorrelierten Gehirnaktivität wird bei der Messung des Elektroenzephalogramms (EEG) an der Kopfoberfläche auch noch reizunspezifische Spontanaktivität des Gehirns registriert, welche als Grundaktivität bezeichnet wird. Der ereigniskorrelierte Anteil des EEG-Signals weist lediglich geringe Amplituden auf (bis etwa $10\mu\text{V}$), die Spontanaktivität des Gehirns hingegen variiert im Bereich von etwa $50 - 150\mu\text{V}$ (Bösel, 1996). Durch Mittelung über mehrere (bezüglich der stattfindenden reizkorrelierten Verarbeitungsprozesse vergleichbare) Zeitabschnitte des EEGs kann eine Verbesserung des Signal-Rausch-Verhältnisses erreicht werden, so dass der im EEG-Signal enthaltene systematische reizkorrelierte Anteil - das EKP - hervortritt (Roesler, 1982).

Ziel ist es, anhand von charakteristischen EKP-Verläufen zu einer funktionellen Interpretation der zugrunde liegenden Verarbeitungsprozesse im Gehirn zu gelangen. Dazu werden häufig Kategorien von EKP-Verläufen definiert, welche als Komponenten bezeichnet wer-

den und im allgemeinen über die spezifischen Merkmale Polarität, Latenz, Topografie und Sensitivität klassifiziert werden (vgl. z.B. Donchin, Ritter, & McCallum, 1978)¹¹.

Eine wichtige Voraussetzung für die Anwendung von EKPs für die psychophysiologische Forschung ist die Annahme, dass verschiedene experimentell variierte Ereignisse unterschiedliche Muster von ereigniskorrelierter Gehirnaktivität hervorrufen. Aus den gemessenen EKP-Komponenten (der EKP-Verlauf im Vergleich zu einer neutralen Baseline) bzw. EKP-Effekten (der Unterschied im Potentialverlauf zwischen definierten Vergleichsbedingungen) werden dann Rückschlüsse auf die zugrunde liegenden funktionellen Prozesse gezogen.

Ein klassisches Beispiel für EKP-Komponenten ist der N1-P2-Komplex. Die N1 ist ein negativer Ausschlag im EEG etwa 100 ms nach Stimulusbeginn, meist gefolgt von einer Positivierung um 200 ms, welche als P2 bezeichnet wird. N1-P2-Komplexe werden in Reaktion auf visuelle oder auditorische Stimuli beobachtet und sind sensitiv für verschiedene physikalische Parameter des Reizes (z.B. Lautstärke, Grundfrequenz, Helligkeit), aber auch für kognitive Parameter wie selektive Aufmerksamkeit (ein Überblick hierzu findet sich bei Hall, 1992; Näätänen & Picton, 1987).

Als eine der am besten untersuchten EKP-Komponenten in der Sprachdomäne gilt die N400, eine Negativierung, die typischerweise um 400 ms nach dem Beginn eines sprachlichen Reizes ihre maximale Ausprägung erreicht und besonders auf zentro-parietalen Elektroden auftritt (Kutas & Hillyard, 1980a, 1980b). Dabei ist die Amplitude der N400 umgekehrt proportional zur Passung eines Wortes in den semantischen Kontext. Basierend auf einer mittlerweile kaum mehr überschaubaren Anzahl von relatierten Studien herrscht allgemeine Übereinstimmung in der Annahme, dass die N400 lexikalisch-semantische Verarbeitungsprozesse reflektiert (für einen Überblick siehe Kutas & Van Petten, 1994; Kutas & Federmeier, 2000).

Der große Vorteil der EKP-Methode besteht in ihrer exzellenten zeitlichen Auflösung. Während behaviorale Methoden wie zum Beispiel Reaktionszeitmessungen ein bestimmtes Verhalten als Endprodukt der im Gehirn stattfindenden reizverarbeitenden (Teil-) Prozes-

¹¹Eine kritische Betrachtung dieser Vorgehensweise findet sich bei Kotchoubey (2006).

se registrieren, können mit EKPs der zeitliche Verlauf und die Abfolge eben jener (Teil-) Prozesse millisekundengenau abgebildet werden. Damit sind Einblicke in intern ablaufende Prozesse der Signalverarbeitung und Reaktionsvorbereitung auch dann möglich, wenn sich diese nicht offen und unmittelbar in Antwortverhalten niederschlagen.

2.2 EKPs bei syntaktischer Verarbeitung

Eine Vielzahl von elektrophysiologischen Studien erbrachte empirische Evidenz für eine funktionale Unterscheidung von lexikalisch-semantischen und syntaktischen Sprachverarbeitungsprozessen. Weiterhin lassen sich bei der Verarbeitung syntaktischer Informationen entsprechend ihrer zeitlichen Abfolge frühe syntaktische Prozesse von späten abgrenzen. Erstere äußern sich meist in frühen links-anterioren Negativierungen und werden mit initialen Strukturbildungsprozessen in Verbindung gebracht¹², für letztere werden häufig späte Positivierungen im EKP beobachtet, welche eher als Ausdruck von Integrationsschwierigkeiten oder Revisionsprozessen (wie Reanalyse oder Reparatur) interpretiert werden.

Initiale Phrasenstrukturierung In der Linguistik spielt die Phrasenstruktur einer Äußerung eine zentrale Rolle. Syntax-First-Modelle nehmen an, dass der Parser bei der Analyse eines Sprachsignals zuallererst eine initiale Phrasenstruktur des Satzes erstellt (siehe Abschnitt 1.1). Als kritische sprachliche Information, auf deren Basis eine solche erste „Grobstruktur“ aufgebaut wird, gilt Wortkategorieinformation.

Eine der ersten psychophysiologischen Studien, die sich mit der Verarbeitung von Wortkategorieinformation beschäftigte, stammte von Neville und Kollegen (Neville, Nicol, Bar-

¹²Spätere links-anteriore Negativierungen wurden auch im Zusammenhang mit der Verarbeitung von morphosyntaktischer Information und von einigen Autoren auch als Korrelat von Arbeitsgedächtnisprozessen beschrieben (z.B. Kluender & Kutas, 1993; Coulson, King, & Kutas, 1998). Da in der vorliegenden Arbeit jedoch besonders phrasenstrukturelle syntaktische Informationen im Fokus stehen, möchte ich hierauf nicht näher eingehen.

ss, Forster, & Garrett, 1991). In dieser Arbeit wurden Wortkategoriefehler wie in folgendem Beispielsatz präsentiert¹³:

(13) * *The widow asked Fred's about advice taxes.*

Die Sätze waren so konstruiert, dass auf das possessiv markierte Nomen „Fred's“ nur ein Adverb, Adjektiv oder Nomen folgen kann, was zu einem lokalen Fehler in der Phrasenstruktur dieses Satzes bei der Verarbeitung des kritischen Wortes „about“ führt. Neville und Kollegen beobachteten auf dem kritischen Wort im EKP im Vergleich zu korrekten Sätzen eine frühe links-anteriore Negativierung, welche ihre maximale Amplitude um 125 ms nach dem Wortbeginn erreichte („N125“) und als Korrelat der enthaltenen Wortkategorieverletzung interpretiert wurde.

In einer Folgestudie konnten Neville, Mills und Lawson (1992) zeigen, dass bereits innerhalb syntaktisch korrekter Sätze Wörter verschiedener Wortklassen unterschiedlich verarbeitet werden. In dieser Studie wurden wortweise Elemente der offenen und geschlossenen Klasse visuell präsentiert und in Bezug auf die hervorgerufenen EKPs miteinander verglichen. Wörter der geschlossenen Klasse riefen etwa 280 ms nach dem Wortbeginn eine links-anteriore Negativierung hervor, welche für Wörter der offenen Klasse nicht beobachtet wurde. Selbst solche Inhaltswörter, die ähnliche Merkmale aufwiesen wie Elemente der geschlossenen Klasse (z.B. geringe Wortlänge, hohen Auftretenshäufigkeiten) riefen keine links-anteriore Negativierung hervor. Obgleich die genaue funktionelle Bedeutung der beobachteten Negativierung recht kontrovers diskutiert wurde (siehe z.B. Brown, Hagoort, & ter Keurs, 1999; Osterhout, Bersick, & McKinnon, 1997), so belegt die Studie von Neville und Kollegen, dass Wortkategorieinformation schon sehr früh im Sprachverstehensprozess analysiert wird.

Friederici, Pfeiffer und Hahne (1993) untersuchten Phrasenstrukturverletzungen im Deutschen. Sie präsentierten auditiv Sätze wie (14), in denen nach einer Präposition ein Verb folgt. Da eine Präposition wie „im“ jedoch immer unmittelbar ein Nomen (oder zumindest ein Adjektiv oder Adverb) verlangt, stellt dies eine Verletzung der Phrasenstrukturregeln dar.

¹³Im folgenden werden syntaktisch inkorrekte Sätze mit einem * gekennzeichnet. Weiterhin wird das für die EKPs kritische Element, auf dem die syntaktische Verletzung detektiert wird, durch Unterstreichung markiert.

(14) * *Der Freund wurde im besucht.*

Auch Friederici und Kollegen fanden im EKP eine links-anteriore Negativierung um 180 ms, welche sie als „early left anterior negativity“ (ELAN) bezeichneten und als direktes Korrelat der Verarbeitung von Wortkategorieinformation interpretierten.

In einer ganzen Reihe von nachfolgenden Studien zeigte sich, dass die Latenz der ELAN eng zusammenhängt mit der zeitlichen Verfügbarkeit der kritischen Wortkategorieinformation (auch als „word-category-recognition-point“ bezeichnet). So fanden sich allgemeine Abhängigkeiten der Latenz der ELAN von dem Vorhandensein lexikalischer Konkurrenten aus anderen Wortkategorien (Friederici, Gunter, Hahne, & Mauth, 2004), von der Präsentationsmodalität überhaupt (z.B. Friederici, Hahne, & Mecklinger, 1996), aber auch von spezifischeren Präsentationsparametern wie dem visuellen Kontrast der dargebotenen Reize (Gunter, Friederici, & Hahne, 1999). Übereinstimmend wurde die ELAN jedoch immer nur bei ausgesprochenen Wortkategorieverletzungen gefunden, nie bei unpräferierten, aber möglichen Phrasenfolgen (Friederici et al., 1996; Hagoort, Brown, & Groothusen, 1993). Auch rein physikalische Abweichungen lösten keine ELAN aus (Hahne, Schröger, & Friederici, 2002). Darüber hinaus konnte demonstriert werden, dass die ELAN hochautomatisierte Verarbeitungsprozesse reflektiert, welche sehr robust sind gegenüber Manipulationen der experimentellen Aufgabe (Hahne & Friederici, 1999), und dass die der ELAN zugrunde liegenden Prozesse sogar die nachfolgende semantisch-thematische Analyse blockieren könne (Friederici, Steinhauer, & Frisch, 1999; Friederici et al., 2004; Hahne & Jescheniak, 2001; Hahne & Friederici, 2002; Frisch, Hahne, & Friederici, 2004). Dies wurde als Beleg für die Unabhängigkeit der initialen Analyse von Wortkategorieinformation interpretiert. Auch von morphosyntaktischer Information (Rossi, Gugler, Hahne, & Friederici, 2005) und Verbargumentstrukturinformation (Frisch et al., 2004; Friederici et al., 1999) erwies sich die ELAN als weitgehend unbeeinflusst, was als zusätzliche Evidenz für die Modularität der initialen Wortkategorieverarbeitung interpretiert wurde.

Diese Daten sprechen für die Annahme von Syntax-First-Modellen, dass eine erste Sprachverarbeitungsphase existiert, in der allein auf Basis von Wortkategorieinformation eine initiale Phrasenstruktur erstellt wird - unabhängig von anderen Typen linguistischer Informa-

tion wie Semantik, Morphosyntax und Verbarargumentinformation. Die frühe links-anteriore Negativierung (ELAN) kann als ein elektrophysiologisches Korrelat dieses initialen Phrasenstrukturbildungsprozesses angesehen werden.

Reanalyse- und Reparaturprozesse Die meisten EKP-Studien, die späte Positivierungen (P600 bzw. „syntactic positive shift“/SPS) beobachteten, untersuchten syntaktische Sprachverarbeitungsprozesse. Die P600 ist eine späte EKP-Komponente, welche meist um 400 ms nach Beginn des kritischen Wortes beginnt und ihre maximale Amplitude um 600 ms erreicht. Angesichts der Fülle von vorhandenen empirischen Untersuchungen erscheint es sinnvoll, eine Einteilung zu treffen. Nach Kaan und Swaab (2003) kann man hinsichtlich des Auftretens der P600 folgende Abgrenzung vornehmen: Bei der Verwendung von syntaktisch inkorrekten Strukturen (z.B. Neville et al., 1991; Hahne & Friederici, 1999; Kutas & Hillyard, 1983; Osterhout, McKinnon, Bersick, & Corey, 1996) wurde die P600 häufig als Korrelat später Reparaturprozesse interpretiert. In Studien, die keine ausgesprochenen Regelverletzungen verwendeten, sondern vielmehr syntaktische Ambiguitäten bzw. Präferenzverletzungen (z.B. Osterhout & Holcomb, 1992; Mecklinger, Schriefers, Steinhauer, & Friederici, 1995; Friederici, Steinhauer, Mecklinger, & Meyer, 1998) untersuchten, wurde die P600 eher als Ausdruck von Reanalyseprozessen gewertet. Dabei ist die Unterscheidung zwischen Reparatur und Reanalyse nicht völlig trennscharf, da auch bei inkorrekten Strukturen Reanalysemechanismen zur Anwendung kommen können (wenn auch erfolglos, siehe Osterhout & Holcomb, 1992; Friederici et al., 1996). Schließlich wurde bei syntaktisch komplexen Konstruktionen eine beobachtete P600 als Ausdruck von erhöhten syntaktischen Integrationskosten angesehen (z.B. Kaan, Harris, Gibson, & Holcomb, 2000; Friederici, Hahne, & Saddy, 2002).

Mit Hilfe der Variation des prozentualen Anteils von syntaktisch inkorrekten Sätzen innerhalb eines Experiments (Hahne & Friederici, 1999; Coulson et al., 1998; Gunter, Stowe, & Mulder, 1997) konnte belegt werden, dass die Amplitude der P600 umgekehrt proportional zur Auftretenshäufigkeit der Verletzung ist und die P600-Komponente somit für eine solche Häufigkeitsmanipulation sensitiv ist. Weiterhin konnte demonstriert werden, dass die P600 auch durch die experimentelle Aufgabe (Hahne & Friederici, 1999; Gunter & Friederici,

1999) und durch die Salienz des kritischen sprachlichen Reizes (Gunter, Friederici, & Hahne, 1999) moduliert wird. Diese Befunde legen nahe, dass die P600 weniger automatische, sondern eher kontrollierte Prozesse abbildet.

Zweifel an der *Syntaxspezifität* der P600 beruhen unter anderem auf Beobachtungen, dass die P600 auch durch andere Typen linguistischer Informationen wie zum Beispiel semantische Faktoren beeinflusst werden kann: Gunter, Friederici und Schriefers (2000) fanden, dass die für Genusverletzungen registrierte P600 mit der semantischen Erwartetheit („cloze probability“) eines Wortes interagiert. Auch bei rein semantischen Verletzungen berichtete eine Reihe von Autoren P600-Effekte (z.B. Kuperberg, Sitnikova, Caplan, & Holcomb, 2003; Hoeks, Stowe, & Doedens, 2004).

Eine noch grundlegendere Diskussion über die *Sprachspezifität* der P600 wurde entfacht durch Studien, die P600-ähnliche Effekte auch bei nicht-sprachlichem Material beobachteten. So wurden späte Positivierungen, die einer P600 glichen, auch bei inkongruenten musikalischen Sequenzen gefunden (z.B. Besson & Macar, 1987) und in diesem Zusammenhang als Korrelat genereller Integrationsprozesse der harmonischen Struktur interpretiert (s.a. Patel, Gibson, Ratner, Besson, & Holcomb, 1998; Patel, Peretz, Tramo, & Labreque, 1998). Weiterhin wurden P600-Effekte bei arithmetischen Fehlern (Núñez-Pena & Honrubia-Serrano, 2004), bei orthographischen Fehlern (Münte, Heinze, Matzke, Wieringa, & Johannes, 1998), und bei inkongruenten Handlungssequenzen (Gunter, Knoblich, Bach, Prinz, & Friederici, 2002; Sitnikova, Kuperberg, & Holcomb, 2003) berichtet. Diese Ergebnisse stellen nicht nur die Sprachspezifität der P600 in Frage, sondern einige Autoren gehen noch weiter und sehen in der Sensitivität der P600 auch für nicht-linguistische Kontexte und ihrer Anfälligkeit für Parameter wie der Auftretenshäufigkeit der kritischen Reize und deren Salienz Hinweise darauf, dass die P600 keine eigenständige Komponente darstellt, sondern vielmehr ein Mitglied der P300-Familie ist (z.B. Coulson et al., 1998; Münte et al., 1998; Kolk, Chwilla, & van Herten, 2003; Núñez-Pena & Honrubia-Serrano, 2004). Die P300 (oder genauer die P3b) wurde zuerst von Sutton, Braren, Zubin und John (1965) als Reaktion auf seltene, aufgabenrelevante Reize beobachtet. Wie die P600 ist auch die P300 sensitiv für Parameter wie die Häufigkeit, Salienz und Komplexität eines Reizes (für einen Überblick

siehe Donchin, 1981). Bei einer direkten Gegenüberstellung von P300 und P600 innerhalb eines Experiments fanden Osterhout, McKinnon, Bersick und Correy (1996) zwar, dass beide, P300 und P600, in Abhängigkeit von der Aufgabe und verschiedenen Reizparametern variieren. Sie belegten aber auch, dass beide Komponenten in unterschiedlichem Maße sensitiv waren für diese Manipulationen. Weiterhin demonstrierten Osterhout und Kollegen, dass sich P300 und P600 sehr wohl in ihrer Schädeldverteilung voneinander unterscheiden ließen. Neurophysiologische Evidenz für die Abgrenzung von P300 und P600 stammt aus einer Studie mit Patienten, die umschriebene Läsionen der Basalganglien aufwiesen. In dieser Untersuchung konnten Frisch und Kollegen (Frisch, Kotz, von Cramon, & Friederici, 2003) belegen, dass die getesteten Patienten - anders als gesunde Kontrollprobanden - bei Sätzen mit syntaktischen Verletzungen keine P600 aufwiesen, während hingegen für beide Gruppen in einem zweiten Untersuchungsparadigma eine P300 registriert werden konnte.

Somit lässt sich festhalten, dass die P600 wohl kein einheitliches Phänomen darstellt, sondern möglicherweise einen Komponentenkomplex, der aus früheren, stärker probabilitätsanfälligen Komponenten besteht und späteren, domänenspezifischen (s.a. Friederici, Mecklinger, Spencer, Steinhauer, & Donchin, 2001). Dabei scheinen verschiedene (Teil-)Generatoren beteiligt zu sein (z.B. Brown, Hagoort, & Osterhout, 1999; Friederici et al., 2001; Kaan & Swaab, 2003; Osterhout & Nicol, 1999), was sich in unterschiedlichen Schädeldverteilungen der P600 äußert.

2.3 EKPs bei prosodischer Verarbeitung

Während die Erforschung von semantischen und syntaktischen Verarbeitungsprozessen vor allem in der visuellen Modalität schon längere Tradition in der EKP-Forschung hat, wurde diese Methode erst in den letzten Jahren auch verstärkt in der auditiven Modalität angewendet. Dies eröffnete auch neue Möglichkeiten zur Untersuchung der Rolle von Prosodie beim Sprachverstehen. Die wichtigsten der bislang hierzu gewonnenen Erkenntnisse sollen in den nächsten Abschnitten besprochen werden, wobei Ergebnisse für die Wortebene, die Satzebene und die Diskursebene getrennt aufgeführt werden.

Wortebene Bereits aus der Spracherwerbsforschung ist bekannt, dass Prosodie wichtige Informationen für den Erstspracherwerb zu enthalten scheint (für einen Überblick sei auf Jusczyk, 2002, verwiesen). Eine ganze Reihe von Studien zum Erstspracherwerb belegen, dass besonders bei der Extrahierung einzelner Wörter aus dem kontinuierlichen Sprachstrom unter anderem prosodische Parameter (speziell Wortbetonungsmuster) eine entscheidende Rolle spielen. Auch im Erwachsenenalter ist das Wortbetonungsmuster immer noch bedeutsam für die Identifikation von Wortgrenzen.

So konnten Sanders und Neville (2003) demonstrieren, dass die N1 in Abhängigkeit von der Wortbetonung moduliert wird. In dieser Studie beobachteten die Autoren jedoch auch, dass es eine zusätzliche Amplitudenvariation der N1 zwischen physikalisch vergleichbaren Silben am Wortbeginn vs. in der Wortmitte gab - unabhängig von der Wortbetonung. Dieses wurde von den Autoren als direkter Index für Wortsegmentationsprozesse interpretiert.

Friedrich und Kollegen zeigten in zwei elektroфизиologischen Studien (Friedrich, Alter, & Kotz, 2001; Friedrich, Kotz, Friederici, & Alter, 2002) unter Verwendung korrekt und inkorrekt betonter zweisilbiger Wörter, dass das Betonungsmuster eines Wortes (hier realisiert über die Grundfrequenz) bereits auf dessen erster Silbe extrahiert wird. Der Einfluss des Betonungsmusters auf die Worterkennung spiegelte sich dabei in einer Modulation der P2-Komponente wieder, welche eine größere Amplitude aufwies, wenn die erste Silbe unbetont war. Die P2 scheint jedoch nur für die physikalischen Parameter des Betonungsmusters sensitiv zu sein, nicht für dessen Korrektheit. Diese Befunde wurden als Hinweis auf eine sehr frühe und automatische Verarbeitung prosodischer Information gewertet, durch die der lexikalische Zugriff gelenkt werden könne.

Isel, Gunter und Friederici (2003) konnten in einer EKP-Studie im Deutschen zeigen, dass prosodische Information auch dazu genutzt wird, um zu erkennen ob es sich bei einem Wort um ein Einzelwort (z.B. „Gast“) oder um ein Kompositum (z.B. „Gasthaus“) handelt. Dabei erwies sich besonders die Dauer der ersten Morpheme des Kompositums als kritischer Faktor für dessen Erkennung und dementsprechend angepasste Verarbeitungsstrategien (s.a. Koester, Gunter, Wagner, & Friederici, 2004).

Satzebene Eine Vielzahl behavioraler Studien konnte belegen, dass prosodische Information besonders auch auf der Satzebene Einfluss auf Sprachverstehensprozesse nimmt (siehe Abschnitt 1.3). Dieses Bild kann durch eine ganze Reihe von EKP-Studien weiter vervollständigt und präzisiert werden.

Ein direktes neuronales Korrelat prosodischer Verarbeitung wurde erstmals von Steinhauer, Alter und Friederici (1999) berichtet. In dieser EKP-Studie wurden Probanden Sätze auditiv präsentiert, in denen Verben mit unterschiedlichen Argumentstrukturen vorkamen, was Unterschiede in der Intonationsphrasierung und Akzentuierung der Sätze zur Folge hatte. So enthielten die Sätze entweder ein intransitives Verb wie „arbeiten“ in (15) und damit genau eine Intonationsphrasengrenze, oder sie enthielten ein obligatorisch transitives Verb wie „entlasten“ in (16) und damit genau zwei Intonationsphrasengrenzen:

(15) (PEter verspricht Anna zu ARbeiten) (und das BüRO zu putzen.)

(16) (PEter verspricht) (ANna zu entlasten) (und das BüRO zu putzen.)

Am Ende einer jeden Intonationsphrase stellten die Autoren im EKP eine zentro-posteriore Positivierung fest, welche sie als „Closure positive shift“ (CPS) bezeichneten. Der CPS wurde als direkte Evidenz für die unmittelbare Verarbeitung prosodischer Information beim Hörer interpretiert. In einer Reihe weiterer Experimente konnte gezeigt werden, dass der CPS auch noch in Abwesenheit von lexikalischer und syntaktischer Information beobachtbar war und daher als spezifisches Korrelat für prosodische Verarbeitung angesehen werden kann (Steinhauer & Friederici, 2001; Pannekamp, Toepel, Alter, Hahne, & Friederici, 2005).

Allgemein scheint der CPS ein sprachübergreifendes Phänomen zu sein - so wurde der CPS auch im Japanischen (Mueller, Hahne, Fujii, & Friederici, 2005) und Englischen (Pauker, Itzhak, Baum, & Steinhauer, 2006) nachgewiesen. Weitere Evidenz für die Robustheit des CPS stammt aus Studien zum Fremdspracherwerb. Sogar Deutsche Muttersprachler, die weder syntaktisches noch lexikalisches Wissen über das Japanische besaßen, zeigten bereits einen reliablen CPS auf Intonationsphrasengrenzen in japanischen Sätzen (Mueller et al., 2005). Damit scheint der CPS ein universelles Korrelat von phonologischem Satzparsing zu sein. Welche prosodischen Merkmale den CPS jedoch genau auslösen, ist noch nicht vollständig geklärt. Intonationsphrasengrenzen sind im wesentlichen durch drei Parameter (Pau-

sen, Längung und Grenzton) charakterisiert. Es konnte bereits gezeigt werden, dass ein CPS auch dann ausgelöst wird, wenn die Pausen fehlten (Steinhauer et al., 1999). Auch wurde demonstriert, dass sich der CPS trotz der oberflächlichen Ähnlichkeit von der P600 hinsichtlich Topografie und Latenz unterscheiden lässt (Pannekamp et al., 2005). Sogar in der visuellen Modalität wurde ein CPS als Reaktion auf Kommata beobachtet (wenngleich mit einer reduzierten Amplitude im Vergleich zur auditiven Modalität), was als Indiz für die „direkte Umkodierung der Satzzeicheninformation in prosodische Repräsentationen“ interpretiert wurde (Steinhauer, 2001). Dabei zeigten sich interindividuelle Unterschiede insofern, als dass Probanden mit hochgradig regelhaften Kommasetzungsgewohnheiten auch beim Lesen stark von Satzzeichen beeinflusst wurden, während dies bei Probanden mit weniger regelhaften Zeichensetzungsgewohnheiten in geringerem Maße der Fall war. Dies wurde als Hinweis für interindividuelle Unterschiede in der Aktivierung phonologischer Repräsentationen gewertet.

Innerhalb der ersten Experimentalserie zum CPS hatten Steinhauer und Kollegen (1999) zusätzlich noch eine weitere Bedingung (17) präsentiert, welche eine prosodische Inkongruenz aufwies und mittels der Cross-splicing-Technik aus den beiden jeweils natürlich eingesprochenen Sätzen (16) und (15) konstruiert worden war:

(17) # (PEter verspricht) (ANna I zu ARbeiten) (und das BüRO zu putzen.)

Dadurch wiesen die prosodischen Markierungen des ersten aus (16) stammenden Satzteils auf eine transitive Satzstruktur hin. Wenn die prosodische Information einen unmittelbaren Einfluss auf das Parsing hätte, müsste dies auf dem kritischen Wort („arbeiten“) zu einem Argumentstrukturfehler führen, da „arbeiten“ ein intransitives Verb ist und „Anna“ nicht als Objekt lizenziert. Und tatsächlich fanden Steinhauer und Kollegen im EKP ein biphasisches Muster aus N400 und P600, welches bereits in anderen Studien im Zusammenhang mit Verbargmentstrukturverletzungen beobachtet worden war. Darin sahen die Autoren einen Beleg dafür, dass der Parser auf einen prosodischen Garden-Path geführt worden war. Die N400 wurde als Ausdruck der Argumentstrukturverletzung gedeutet, während die P600 als Korrelat einer syntaktisch-prosodischen Reanalyse (inklusive subvokaler Berichtigung der

Intonationsstruktur) interpretiert wurde¹⁴. Obwohl der Befund eines prosodisch induzierten Garden-Paths als Hinweis auf eine Interaktion zwischen prosodischer und syntaktischer Information angesehen wurde, lässt jedoch auch die Studie von Steinhauer und Kollegen keine Rückschlüsse auf den genauen Zeitverlauf dieser Interaktion zu, da zwischen der Position der prosodischen Manipulation im Satz und der eigentlichen Detektion der Argumentstrukturverletzung ein weiteres Wort lag.

Isel, Alter und Friederici (2005) demonstrierten, dass prosodische Informationen spezifische Erwartungen bezüglich des weiteren Sprachinputs motivieren kann. Als Basisbedingung präsentierten sie natürlich eingesprochene Sätze wie (19), die deutsche Partikelverben enthielten, deren Wortstamm zugleich auch ohne Präfix als Verb existiert (z.B. anlächeln - lächeln):

(19) *(Sie lächelte den Arbeiter an) (und ...)*

Diese wurden mit ebenfalls natürlich eingesprochenen Sätzen kontrastiert, welche jedoch unpräfigierte Verben enthielten (z.B. nennen), wie in Beispiel (20).

(20) *(Sie nannte den Namen am Samstag) (und ...)*

Weiterhin verwendeten Isel und Kollegen Sätze, die zwar unpräfigierte Verben enthielten, aber trotzdem mit einem Präfix eingesprochen worden waren (siehe 21). Dies resultierte in einem morpholexikalischen Fehler.

(21) * *(Sie nannte den Namen an) (und ...)*

¹⁴In zwei Leseexperimenten konnte Steinhauer zudem zeigen, dass die Schwere der prosodisch induzierten Garden-Path-Effekte im Zusammenhang mit der phonologischen Restrukturierung steht:

(18) # *(PEter verspricht Anna zu I entlasten)(und das BüRO zu putzen.)*

Ein relativ moderater Garden-Path-Effekt wurde dann beobachtet, wenn der erste Satzteil aus (15) und der zweite aus (16) stammte, wodurch eine phonologische Phrasengrenze fehlte wie in (18). Demnach scheint das Einfügen einer nachträglichen phonologischen Phrasengrenze für das Sprachverarbeitungssystem mit geringen Kosten verbunden zu sein. Wenn hingegen eine bereits etablierte phonologische Phrasengrenzen wie in (17) wieder eliminiert werden musste, kam es im Leseexperiment zu einem schweren Garden-Path-Effekt. Diese Interpretation konnte kürzlich in einer EKP-Studie bestätigt werden, in der die Stärke des prosodisch induzierten Garden-Paths die Amplitude und Latenz von N400 bzw. P600 modulierte (Pauker et al., 2006).

Isel und Kollegen wiesen nach, dass die prosodischen Merkmale des unpräfigierten Verbs („nannte“) in Abhängigkeit davon variierten, ob später im Satzverlauf ein zum Verb gehöriger Partikel vorhanden war (wie in 21) oder nicht (wie in 20). Zusätzlich konstruierten die Autoren auch eine prosodisch inkongruente Version der morpholexikalischen Verletzung, indem sie aus den beiden natürlich eingesprochenen Sätzen via Cross-Splicing den ersten Satzteil bis zum Verb aus (20) und den letzten Satzteil aus (21) neu zusammenfügten, was in einem Satz wie (22) resultierte:

(22) #* (Sie nannte / den Namen an) (und ...)

In den EKPs zeigte sich auf dem Verbpartikel in der prosodisch kongruenten morpholexikalischen Bedingung (21) eine N400, was die Autoren als Indiz für erhöhte Prozesskosten bei der lexikalischen Suche ansahen. Da dieser Effekt jedoch in der prosodisch inkongruenten morphosyntaktischen Bedingung (22) nicht beobachtet wurde, scheint die Bemühung um eine lexikalischen Zuordnung des Split-Partikels zum zuvor verarbeiteten Verb prosodisch getrieben zu sein. Diese Ergebnis legt nahe, dass die prosodische Information eines Verbs bei der Sprachverarbeitung dabei hilft zu antizipieren, ob es notwendig ist, auf einen Split-Partikel zu warten oder nicht.

Astesano, Besson und Alter (2004) untersuchten die Rolle von Prosodie im Zusammenhang mit dem Satzmodus im Französischen. In diesem Experiment wurden prosodisch kongruente Sätze (konsistent entweder im Frage- oder Aussagemodus) verglichen mit prosodisch inkongruenten Sätzen. Letztere wurden aus Teilstücken kongruenter Sätze zusammengeschnitten, so dass der erste Satzteil in Frageintonation gesprochen war, der zweite Satzteil jedoch in Aussageintonation (und umgekehrt). Im EKP zeigte sich für prosodisch inkongruente Sätze eine späte links-lateralisierte zentro-posteriore Positivierung um 800 ms. Dieser von den Autoren als „P800“ bezeichnete Effekt wurde jedoch nur dann beobachtet, wenn die Aufgabe der Probanden ein explizites prosodisches Urteil war. Als zweiter unabhängiger Faktor wurde die semantische Kongruenz der Sätze variiert (semantisch passendes vs. unpassendes Satzende). Der Befund, dass die P800 in der kombinierten semantisch-prosodisch inkongruenten Bedingung eine größere Amplitude aufwies als in der prosodisch inkongruenten Bedingung, wurde als Indiz für eine späte Interaktion zwischen semantischen und

prosodischen Verarbeitungsprozessen interpretiert. Dass auch dieses Muster nur unter der prosodischen Aufgabe beobachtbar war, nicht jedoch bei einer semantischen Beurteilungsaufgabe, wurde als Hinweis auf einen einseitigen Einfluss von Semantik auf die Verarbeitung von Prosodie gedeutet.

Diskursebene Die bislang beschriebenen Studien zur Sprachverarbeitung untersuchten zu meist Wörter oder Sätze in Isolation, das heißt herausgelöst aus einem natürlichen Kontext. Zwischenmenschliche Kommunikation lebt jedoch gerade davon, dass die Kommunikationspartner auf die Äußerungen des jeweils anderen Bezug nehmen und diese mit ihren eigenen Aussagen relatieren. Dass dies tatsächlich auch auf Ebene der kognitiven Verarbeitung von Sprache einen Unterschied darstellt, zeigte beispielsweise die Studie von Hruska und Alter (2004). Darin konnten die Autoren nachweisen, dass im Diskurskontext die Information über den Fokus eines Satzes dessen Phrasierung leitet. Dies reflektierte sich in einer Verlagerung des CPS weg von der prosodischen Intonationsphrasengrenze (wo er auf Satzebene beobachtet worden war) hin zur informationsstrukturellen Phrasengrenze nach dem Fokus (siehe hierzu auch Toepel & Alter, 2004). Dieses Ergebnis belegt, dass der CPS weniger ein Korrelat der Perception der prosodischen Phrasengrenze selbst ist, sondern vielmehr Ausdruck des Abschlusses einer Phrase auf der Ebene der internen Satzrepräsentation. Hruska und Alter konnten weiterhin zeigen, dass ein fehlender Akzent auf der Fokusposition für neuartige Information im EKP eine anteriore Negativierung auslöst, welche als Ausdruck verletzter Erwartungen, die im Fokuskontext etabliert worden waren, interpretiert wurde.

Die einzige EKP-Studie, die sich meines Wissens nach explizit mit der Verarbeitung prosodischer Information im Kontext früher Phrasenstrukturbildungsprozesse beschäftigte, verwendete ebenfalls Diskursstrukturen und wurde von Jescheniak, Hahne und Friederici (1998) veröffentlicht. Im Mittelpunkt dieser Untersuchung stand die Frage, ob prosodische Informationen die in der ELAN reflektierten initialen Phrasenstrukturprozesse beeinflussen kann. Um diese Frage zu untersuchen, wurden zwei Varianten von Sätzen mit einem Wortkategoriefehler verwendet: Künstlich erzeugte Sätze wie (23), in denen das obligatorische Nomen aus einer Präpositionalphrase herausgeschnitten war, wurden mit natürlich gesprochenen Sätzen verglichen, bei denen die Präposition betont war, wie in (24):

(23) * *Die Gans wurde im | gefüttert.*

(24) * *Die Gans wurde IM gefüttert.*

Da Funktionswörter allein keinen Akzent tragen dürfen (siehe Abschnitt 1.2), ist eine solche Betonung jedoch in der Regel nur innerhalb eines Diskurses auf der Position eines kontrastiven Fokus möglich. Dies wird in Beispiel (25) verdeutlicht:

(25) *Wurde die Gans VORM Teich gefüttert? Die Gans wurde IM gefüttert.*

In einem ersten Experiment wurden den Probanden korrekte Sätze und beide Betonungsvarianten der syntaktischen Verletzungsbedingung präsentiert. Das für die rein syntaktische Verletzung (23) beobachtete biphasische Muster aus früher Negativierung (ELAN) gefolgt von einer späten Positivierung (P600) trat nicht auf, wenn die dem kritischen Wort vorausgehende Präposition akzentuiert war, wie in (24). Wenngleich Nulleffekte immer mit Vorsicht zu interpretieren sind, sahen die Autoren in der Blockade der ELAN einen Beleg dafür, dass die prosodische Information des vorausgehenden Elements die initiale Phase des Strukturaufbaus auf dem aktuellen Element beeinflussen kann. Wenn dies der Fall wäre, sollte die ELAN wieder beobachtbar sein, wenn die besondere Betonung der Präposition durch den Kontext gerechtfertigt ist. In einem zweiten Experiment wurden deshalb die Sätze der Verletzungsbedingung mit akzentuierter Präposition innerhalb des gesamten Diskurses (siehe Beispiel 25) präsentiert. Im Diskurs zeigte sich zwar auch eine frühe Negativierung im EKP, diese war jedoch am stärksten über posterioren Elektroden ausgeprägt und unterschied sich damit in ihrer Topografie deutlich von der in der syntaktischen Verletzungsbedingung mit unbetonter Präposition beobachteten ELAN-Komponente. Zwar scheinen diese Ergebnisse nahezu legen, dass die inkorrekte Platzierung eines Akzentes auf der Präposition in einem Satz mit Wortkategorieverletzung normale Sprachverarbeitungsprozesse blockieren könnte (keine ELAN, keine P600), aber auch innerhalb eines angemessenen Diskurses scheint ein ungewöhnlicher Akzent die Verarbeitung von Wortkategoriefehlern zu beeinflussen (posteriore Negativierung, P600). Eine potentielle Ursache für diesen Befund könnte in der Struktur der verwendeten Diskurse (siehe Beispiel 25) liegen: intuitiv entsteht der Eindruck, dass hier möglicherweise keine strikte Wortkategorieverletzung vorliegt, sondern das Fehlen des

Nomens in der Präpositionalphrase infolge des besonderen Kontextes als eine Art elliptische Auslassung aufgefasst werden kann und so möglicherweise zu veränderten Verarbeitungsprozessen führt, was auch das unerwartete EKP-Muster erklären würde (vgl. Stolterfoht, 2005). Insofern werden jedoch Schlussfolgerungen bezüglich der Relation zwischen prosodischer und syntaktischer Information auf Basis dieses Experiments stark limitiert.

2.4 Exkurs I: Musikverarbeitung

Eine der Fragen, mit der sich die Kognitionswissenschaft beschäftigt, ist die Suche nach domänenübergreifenden, generellen Verarbeitungsmechanismen bzw. deren Abgrenzung von Prozessen, die nur für bestimmte Domänen zuständig sind. Neben der intensiven Untersuchung von Sprachverarbeitungsprozessen wuchs in den letzten Jahren zunehmend das Interesse daran zu verstehen, wie Musik im Gehirn verarbeitet wird. Gerade für Vergleiche zwischen Domänen bieten sich Sprache und Musik besonders deshalb an, da sie beide universelle Errungenschaften des Menschen sind, welche sequentielle Elemente in hierarchischen Strukturen ordnen. Beide sind regelbasierte Systeme, wobei sprachliche Strukturen durch syntaktische Regeln bestimmt werden, während in musikalischen Sequenzen Harmonieregeln wirken. Sowohl bei gesprochener Sprache als auch bei Musik muss ein hochkomplexes akustisches Signal verarbeitet werden, bei dem die gleichen akustischen Parameter (Grundfrequenz, Amplitude, Dauer, Frequenzspektrum) die Grundlage für die Perzeption von Melodien in der Musik und Prosodie in der Sprache bilden. Im folgenden sollen einige einflussreiche EKP-Studien der letzten Jahre beschrieben werden, die Gemeinsamkeiten zwischen Sprache und Musik, aber auch Unterschiede fanden.

Patel und Kollegen (Patel, Gibson, et al., 1998) untersuchten die Effekte harmonischer und syntaktischer Fehler in zwei EKP-Experimenten. Im Sprachexperiment variierten sie die grammatische Komplexität und verglichen Sätze, in denen das kritische Wort entweder mühelos in die bis dahin aufgebaute syntaktische Struktur integriert werden konnte, mit Sätzen, in denen das kritische Element a) schwierig zu integrieren war (erhöhte Komplexität) oder b) gar nicht integriert werden konnte (Verletzung). Im EKP zeigte sich eine späte pos-

teriore Positivierung um 900 ms, welche als P600 identifiziert wurde und deren Amplitude in Abhängigkeit von der grammatischen Komplexität variierte (Verletzung > komplex). Im Musikexperiment präsentierten die Autoren Akkordsequenzen, in denen der letzte Akkord entweder den harmonischen Regeln entsprach („in-key“) oder den vorausgegangenen harmonischen Kontext verletzte („out-of-key“). Zusätzlich variierten sie die harmonische Distanz der inkongruenten Akkorde, indem Out-of-key-Akkorde nochmals in (a) „nearby“ und (b) „distant“ unterteilt wurden, wobei letzterer eine stärkere Verletzung erzeugte als ersterer. Im EKP zeigte sich auf harmonisch inkongruenten (out-of-key) Akkorden eine posterioren Positivierung um 600 ms, deren Amplitude in Abhängigkeit von der harmonischen Distanz variierte (distant > nearby) und die sich statistisch nicht von der im Sprachexperiment beobachteten P600 unterscheiden ließ. Daher interpretierten Patel und Kollegen die Positivierung als Index dafür, wie schwierig es ist, einen bestimmten Akkord in einen etablierten harmonischen Kontext zu integrieren. Die Autoren nahmen an, dass die für Musik und Sprache beobachtete Positivierung, welche sie in beiden Domänen als Korrelat struktureller Integrationsprozesse interpretieren, auf gemeinsame neuronale Ressourcen zurückgeführt werden kann. Darüber hinaus registrierten Patel und Kollegen im Musikexperiment für harmonische Verletzungen eine anterior-temporale rechts-lateralisierte Negativierung („RATN“) zwischen 300 und 400 ms. Bezüglich dieses Effekts vermuten sie, dass die RATN ein mögliches Korrelat der Anwendung musikspezifischer „syntaktischer“ Regeln darstellt.

Koelsch und Kollegen (Koelsch, Gunter, Friederici, & Schröger, 2000) untersuchten ebenfalls harmonisch unpassende Akkorde, welche innerhalb einer Akkordsequenz präsentiert wurden und mit einer Verletzung harmonisch-struktureller Regeln einhergingen. Solche unerwarteten, harmonisch unpassenden Akkorde lösten im EKP eine frühe rechts-anteriore Negativierung („ERAN“) mit einer Gipfelatenz von rund 200 ms aus (ähnlich zu dem von Patel beschriebenen Effekt). Koelsch und Kollegen interpretierten die ERAN als direktes Korrelat der Verarbeitung musikalischer Syntax. Weiterhin beobachteten sie in einem späteren Zeitfenster (um 500 ms) zusätzlich eine fronto-zentrale Negativierung, welche die Autoren als „N5“ bezeichneten und im Zusammenhang mit erhöhten Integrationskosten des unerwarteten harmonischen Schlüssels in den vorangegangenen musikalischen Kontext dis-

kutierten. In einer MEG-Studie (Maess, Koelsch, Gunter, & Friederici, 2001) konnte mit dem gleichen Stimulusmaterial gezeigt werden, dass das magnetische Äquivalent der ERAN im Broca-Areal (welches klassischerweise im Zusammenhang mit der Verarbeitung sprachlicher Syntax genannt wird) und dessen rechts-hemisphärischen Homolog generiert wurde.

Auch Schön, Magne und Besson (2004) untersuchten in zwei EKP-Experimenten Gemeinsamkeiten in der Verarbeitung von Sprache und Musik, wobei die Grundfrequenzinformation als akustische Basisinformation sowohl für den prosodischen Eindruck auf der sprachlichen Seite als auch für den melodischen Eindruck auf Seite der Musik im Fokus stand. Da zusätzlich geprüft werden sollte, ob musikalisches Training die Verarbeitung von Grundfrequenzinformation nicht nur bei Musik, sondern möglicherweise domänenübergreifend auch bei Sprache beeinflusst, wurden sowohl Musiker als auch Nicht-Musiker getestet.

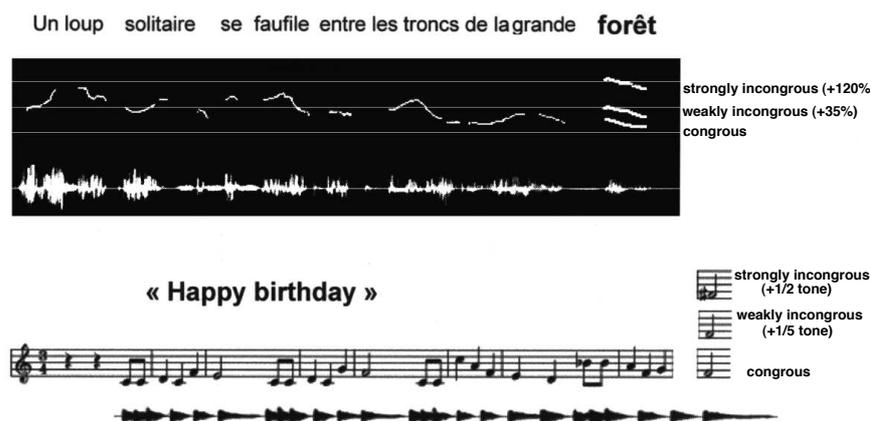


Abbildung 2.1: Beispiele für die von Schön und Kollegen verwendeten sprachlichen und musikalischen Stimuli und die stufenweise Manipulation der Grundfrequenz (entnommen aus Schön et al., 2004).

Die Probanden hörten blockweise gesprochene Sätze sowie Tonsequenzen, in denen das jeweils letzte Wort bzw. die letzte Note bezüglich der Grundfrequenz normale Werte aufwies („correct“) oder die Grundfrequenz in zwei Stufen künstlich erhöht worden war („weakly incongruous“ vs. „strongly incongruous“, vgl. Abbildung 2.1). Die Aufgabe der Probanden war es, die Verletzungen in der prosodischen bzw. melodischen Kontur der Sätze bzw.

Tonsequenzen zu detektieren. In den EKPs beobachteten Schön und Kollegen bei beiden Probandengruppen in beiden Domänen nach Konturverletzungen eine späte zentro-parietale Positivierung, deren Amplitude mit der parametrischen Manipulation der Grundfrequenz variierte (strongly incongruous > weakly incongruous). Dabei war die Latenz der Positivierung bei Musikern geringer als bei Nicht-Musikern. Diese Ergebnisse replizieren die Befunde von Patel und Kollegen (Patel, Gibson, et al., 1998) und stützen die Annahme, dass ähnliche kognitive Mechanismen und neuronale Systeme für die Verarbeitung von Grundfrequenzinformation sowohl bei Sprache als auch bei Musik zuständig sind. Zusätzlich zu den späten Positivierungen fanden Schön und Kollegen auch frühe Negativierungen: Für Konturverletzungen bei Tonsequenzen wurden sowohl für Musiker als auch für Nicht-Musiker im EKP frühe rechts-temporale Negativierungen um 150 ms beobachtet. Bei Verletzungen der prosodischen Kontur in Sätzen wurde ebenfalls eine frühe Negativierung um 150 ms registriert, jedoch variierte die Topografie der frühen Negativierung bei den sprachlichen Reizen in Abhängigkeit von der musikalischen Expertise der Probanden: Während Musiker die Negativierung bilateral zeigten, war der Effekt bei Nicht-Musikern über zentralen und links-temporalen Elektroden am stärksten ausgeprägt. Obwohl sich die Autoren bei der funktionalen Interpretation der frühen Negativierung auf die Lateralitätsunterschiede in Abhängigkeit von der musikalischen Expertise konzentrieren¹⁵, läßt sich vermuten, dass die beobachteten Negativierungen vergleichbar sind zur RATN (Patel, Gibson, et al., 1998) und auch zur ERAN (Koelsch et al., 2000). Dies legitimiert die Annahme, dass die von Schön und Kollegen beobachtete frühe Negativierung mit der Detektion von Regelverletzungen im Bereich der harmonischen Regeln der Musik sowie im Bereich prosodischer Regularitäten in der Sprache einhergeht.

In einer weiteren relevanten Arbeit von Knösche und Kollegen (2005) wurde die Verarbeitung der Phrasenstruktur im Bereich der Musik untersucht. Ähnlich wie auch in der Sprache können musikalische Sequenzen in strukturelle Untereinheiten zerlegt werden, wel-

¹⁵Schön und Kollegen deuteten die EKP-Unterschiede in den frühen Negativierungen zwischen Musikern und Nichtmusikern dahingehend, dass es in der Ausprägung bzw. neuronalen Repräsentation der beteiligten Regeldetektionsmechanismen in Abhängigkeit vom musikalischen Training interindividuelle Unterschiede gebe.

che durch musikalische Phrasengrenzen markiert werden. Knösche und Kollegen konnten im EKP eine zentro-parietale Positivierung um 550 ms nach dem Beginn der musikalischen Phrasengrenze nachweisen, welche starke Ähnlichkeit zu dem in sprachlichem Material beobachteten CPS aufwies („music CPS“). Mit Hilfe der Magnetenzephalographie konnten Knösche und Kollegen als wahrscheinlichste Quelle des musikalischen CPS das limbische System bestimmen, welches unter anderem bei Aufmerksamkeits- und Gedächtnisprozessen involviert ist. Davon ausgehend vermuten die Autoren, dass der CPS gedächtnis- und aufmerksamkeitsrelatierte Prozesse reflektiert, welche notwendig sind, um die aktuelle Phrase zu schließen und den Fokus der Aufmerksamkeit auf die nächste Phrase zu verlagern.

2.5 Exkurs II: Evidenzen aus Bildgebung und Läsionsstudien

In der neuropsychologischen Forschung wird auch versucht, definierten Gehirnregionen bestimmte kognitive Verarbeitungsprozesse zuzuordnen. Hierbei können einerseits Rückschlüsse von der Funktion auf die physiologische Struktur gezogen werden: Wenn beispielsweise zwei Areale beim gleichen Prozess involviert sind, spricht dies für eine physiologische Verbindung zwischen diesen Arealen. Umgekehrt können Erkenntnisse über die Neurophysiologie Einfluss auf die Architektur kognitiver Modelle nehmen. Im Zusammenhang mit der vorliegenden Arbeit ist besonders die Lokalisation syntaktischer und prosodischer Verarbeitungsprozesse von Interesse.

Zur neuronalen Repräsentation syntaktischer Verarbeitungsprozesse wurden in den letzten Jahren eine ganze Reihe von MEG- und fMRT-Studien sowie Untersuchungen mit Läsionspatienten durchgeführt, deren Ergebnisse Friederici und Kotz (2003) folgendermaßen zusammenfassen: frühe syntaktische Prozesse, welche mit dem Aufbau einer initialen Phrasenstruktur in Verbindung gebracht werden, werden vom links-inferioren frontalen Kortex (speziell dem frontalen Operculum) und dem links-temporalen Kortex (speziell dem links-anterioren superioren temporalen Gyrus) dominiert. Späte syntaktische Verarbeitungspro-

zesse hingegen werden von den Basalganglien und eher posterioren Anteilen des superioren temporalen Gyrus gestützt.

Das Bild der neuronalen Organisation prosodischer Information stellt sich hingegen immer noch recht uneinheitlich dar (für einen Überblick siehe Pell, 1998; Gandour et al., 2004). Seit Hughlings Jackson (1915) wurde die Verarbeitung von Sprache vornehmlich als Aufgabe der linken Hemisphäre gesehen, die Verarbeitung von Emotionen hingegen als Domäne der rechten Hemisphäre. Die erste Erwähnung des Begriffes *prosody* geht zurück auf einen Fallbericht von Monrad-Krohn (1947): Dieser stellte eine Frau vor, die nach einer Läsion der rechten Hemisphäre und trotz intakter musikalischer Fähigkeiten verschiedene phonemische Tonkontraste ihrer Muttersprache nicht mehr produzieren konnte. Eine ganze Reihe weiterer neurologischer Fallstudien stützte die Annahme, dass rechts-hemisphärische Läsionen zu Beeinträchtigungen im Bereich der Prosodie führen können (z.B. Ross, 1981; Bradvik et al., 1991; Weintraub, Mesulam, & Kramer, 1981). Diese Beobachtungen ließen sich in die klassische Hemisphärendichotomie einordnen, nach der sprachliche Informationen im engeren Sinne (also Semantik, Syntax usw.) in der linken Gehirnhälfte verarbeitet werden, die Verarbeitung prosodischer Information hingegen in der rechten Hemisphäre stattfindet.

Dennoch sind die Befunde zur Lateralisierung von Prosodie sowohl beim Sprachverstehen als insbesondere auch bei der Sprachproduktion alles andere als einheitlich. Eine Vielzahl von Studien passt nämlich nicht in dieses dichotome Schema, sondern zeigte, dass unter bestimmten Umständen links-hemisphärische Regionen die Verarbeitung prosodischer Information übernehmen. Dies wurde beispielsweise für Wortbetonungsinformation belegt (Baum, Kelsch Daniloff, Daniloff, & Lewis, 1982; Behrens, 1985; Emmorey, 1987), aber auch für die Verarbeitung von Satzmodus und empathischer Betonung (für einen Überblick siehe auch Meyer, Alter, & Friederici, 2003).

Vertreter der *Functional-Lateralization*-Hypothese versuchen, diese Dissoziation mit der Annahme zu erklären, dass die linke Gehirnhälfte (LH) für linguistische Prosodie zuständig ist, nicht-linguistische (z.B. emotionale) Prosodie hingegen in der rechten Hemisphäre (RH) verarbeitet wird (z.B. Van Lancker, 1980; Wildgruber et al., 2004; Walker, Daigle, & Buzzard, 2002).

Eine weitere Gruppe von Autoren geht in Anlehnung an die allgemeine Unterscheidung zwischen lokaler und globaler Reizverarbeitung davon aus, dass die Lateralisierung von Prosodie *aufgabenabhängig* („task-dependent“) ist: basierend auf der linguistisch motivierten Unterscheidung zwischen Prosodie auf Satzebene und auf Wortebene argumentieren Vertreter dieses Ansatzes, dass globale prosodische Informationen (auf Satzebene) in der rechten Hemisphäre analysiert werden, lokale prosodische Informationen (auf Wortebene) hingegen links-hemisphärisch verarbeitet werden (s.a. Bryan, 1989; Baum & Pell, 1999). Dabei wird die Annahme getroffen, dass prosodische Informationen zunächst vor allem in der rechten Gehirnhälfte analysiert werden, dann jedoch in Abhängigkeit von der jeweiligen Aufgabe an links-hemisphärische Areale übergeben werden, um über die akustische Analyse hinausgehende höhere sprachliche Verarbeitungsprozesse zu gewährleisten.

Im Gegensatz zu aufgabenabhängigen Modellvorstellungen rückt im Rahmen *stimulus-basierter* Theorien („cue-dependent“) zur Lateralisation von Prosodie die Annahme in den Mittelpunkt, dass bestimmte neurobiologische Mechanismen zuständig sind für bestimmte Aspekte eines akustischen Signals. So geht eine der restriktivsten Formen der stimulusbasierten Hypothesen (Klouda, Robin, Graff-Radford, & Cooper, 1988) davon aus, dass prosodische Informationen generell rechts-hemisphärisch verarbeitet werden und über das Corpus Callosum in die linke Hemisphäre geschickt werden. Dieser Ansatz ist jedoch mit den vorhandenen Daten in dieser strikten Variante unvereinbar. Andere Formen stimulusbezogener Lateralisierungshypothesen halten jeweils spezifische akustische Eigenschaften eines Reizes für kritisch dahingehend, in welcher Hemisphäre die entsprechende Information verarbeitet wird. Beispielsweise sehen einige Autoren eine bessere temporale Auflösung bei der linken Hemisphäre vs. eine bessere spektrale Auflösung bei der rechten Hemisphäre (Zatorre, 1997; Robin, Tranel, & Damasio, 1990; Shah, Baum, & Dwivedi, 2006; Van Lancker & Sidtis, 1992), andere Autoren unterscheiden hohe (LH) vs. niedrige Frequenzen (RH) (wie z.B. Irvy & Robertson, 1998), wieder andere Autoren grenzen sich schnell (LH) vs. sich langsam ändernde (RH) akustische Reize voneinander ab (z.B. Schwartz & Tallal, 1980). Insgesamt erscheinen die Unterschiede zwischen den verschiedenen Ansätzen jedoch eher marginal.

David Poeppel (2003) griff diese Diskussion auf und formulierte mit *Asymmetric Sampling in Time* eine integrative Hypothese, der zufolge verarbeitungsinitial jedes auditive Sprachsignal zunächst symmetrisch im primären auditorischen Kortex beider Hemisphären verarbeitet wird. Erst in einer postinitialen Phase kommt es zu einer asymmetrischen Weiterverarbeitung, bei der links-hemisphärische Areale für die Extraktion lokaler Informationen aus zeitlich kurzen Integrationsfenstern zuständig sind (20 - 40 ms), wodurch die linke Hemisphäre schnelle Signalveränderungen erfassen kann (wie zum Beispiel Formantenübergänge, welche für Phonemverarbeitung entscheidend ist). Rechts-hemisphärische homologe Areale hingegen übernehmen die Weiterverarbeitung globaler Information aus zeitlich langen Integrationsfenstern (100 - 200 ms und darüber), wodurch die rechte Hemisphäre eine hohe spektrale Auflösung im niedrigen Frequenzbereich besitzt, der besonders für die Grundfrequenz wichtig ist (s.a. Yabe, Tervaniemi, Reinikainen, & Näätänen, 1997; Yost, Popper, & Fay, 1993; Van Petten & Bloom, 1999; Hickok & Poeppel, 2000).

2.6 Psychophysiologische Modelle zur Sprachverarbeitung

Das Neurokognitive Modell der auditiven Sprachverarbeitung Friederici (2002) entwickelte ein Sprachverstehensmodell, in dem sie Erkenntnisse zum zeitlichen Verlauf der Verarbeitung semantischer, syntaktischer und prosodischer Information beim auditiven Sprachverstehen sowie Befunde zur neuroanatomischen Realisation der beteiligten Prozesse und Repräsentationen integriert.

In der zeitlichen Domäne unterscheidet Friederici drei Verarbeitungsphasen: Nach der primären Enkodierung des akustischen Sprachinputs wird zunächst in einer ersten, frühen Phase (zwischen 100 und 300 ms nach dem Wortbeginn) eine initiale syntaktische Struktur erstellt, wobei der Parser das aktuelle Wort mit der bereits aufgebauten Phrasenstruktur lokal abgleicht. Diese initiale Phase basiert nach Friederici, ähnlich wie beispielsweise von Frazer angenommen (siehe Abschnitt 1.1), ausschließlich auf syntaktischer Information über die Wortkategorie des aktuellen Wortes. Wenn sich bei dieser initialen Analyse die Wortkategorie des aktuellen Elements als unvereinbar mit der auf Basis des vorherigen Wortes erwartete

ten Phrasenstruktur herausstellt, zeigt sich als Korrelat dieser Wortkategorieverletzung eine ELAN im EKP (siehe Abschnitt 2.2). Erst wenn die erste Verarbeitungsphase erfolgreich durchlaufen und eine gültige Phrasenstruktur zugewiesen wurde, beginnt in der zweiten Verarbeitungsphase (zwischen 300 und 500 ms) die parallele Analyse anderer linguistischer Informationen. Nun werden lexikalische und morphosyntaktische Informationen ausgewertet mit dem Ziel, das aktuelle Wort in die thematisch-semantische Struktur des Satzes zu integrieren. Probleme auf dieser Ebene äußern sich im EKP in einer N400 (siehe Abschnitt 2.1). Morphosyntaktische Fehler hingegen führen häufig zu einer links-anterioren Negativierung („LAN“), welche im Zeitbereich von 300 bis 500 ms lag und damit später als die mit der Wortkategorieinformation assoziierte ELAN registriert wurde. In der dritten und letzten Verarbeitungsphase (zwischen 500 und 1000 ms) werden die verschiedenen linguistischen Informationen des aktuellen Wortes miteinander integriert. Gelingt das Ineinanderfügen der verschiedenen Informationstypen nicht, kommt es nun zu einer Reanalyse bzw. zu Reparaturprozessen, welche sich in einer P600 im EKP äußern (siehe Abschnitt 2.2). Ziel ist es, zu einer kohärenten Gesamtrepräsentation des Satzes zu gelangen. Mit diesen Annahmen über den zeitlichen Verlauf der Verarbeitung verschiedener sprachlicher Informationen schlägt Friederici eine Brücke zwischen strukturgetriebenen und interaktiven psycholinguistischen Ansätzen, indem sie davon ausgeht, dass Wortkategorieinformation initial und unabhängig von anderen sprachlichen Informationen analysiert wird, die Verarbeitung weiterer linguistischer Informationen im Anschluss daran jedoch interaktiv erfolgt. Obwohl Friederici anmerkt, dass sie zusätzlich von einer Interaktion zwischen syntaktischen und prosodischen Informationen während des Sprachverstehensprozesses ausgeht, spezifiziert sie den zeitlichen Charakter dieser Interaktion mangels schlüssiger empirischer Grundlagen hierzu in ihrem Modell bislang nicht näher.

Die neuroanatomische Realisation der oben beschriebenen Prozesse siedelt Friederici innerhalb eines bilateralen temporo-frontalen Netzwerkes an, in dem syntaktische und semantische Prozesse primär in links-hemisphärischen Arealen verarbeitet werden, für prosodische Informationen hingegen vor allem rechts-hemisphärische Regionen zuständig sind. Dabei scheinen Areale im (links-) temporalen Kortex besonders bei Identifikationsprozessen

(Wortkategorie, Wortbedeutung) beteiligt zu sein, während syntaktische und semantische Relationen eher im Frontalkortex gebildet werden (eine detailliertere Beschreibung der jeweils beteiligten Areale findet sich in Friederici, 2002).

Das Dual-Pathway-Modell Friederici und Alter (2004) erweitern das Neurokognitive Modell des auditiven Sprachverstehens im *Dual-Pathway-Modell*, welches darauf abzielt, die neuronale Basis von Syntax, Semantik und Prosodie abzubilden. Dabei setzen die Autoren einen Schwerpunkt auf die Verarbeitung segmentaler versus suprasegmentaler (prosodischer) Informationen. Das Dual-Pathway-Modell (DPM) versucht, kontroverse Befunde zur Lateralisierung prosodischer Information aus neurophysiologischen und bildgebenden Studien zu integrieren. Dabei wollen die Autoren explizit nicht auf die sprachliche Domäne limitieren, sondern auch für andere Domänen (z.B. die Musik) offen lassen.

Grundlegend ist die Annahme, dass sich die Unterscheidung zwischen segmentaler und suprasegmentaler Information bei den beiden Hemisphären wiederfindet. Segmentale phonologische Informationen bilden demnach den Ausgangspunkt für den bereits im Neurokognitiven Modell beschriebenen links-hemisphärischen temporo-frontalen Pfad mit separaten Schleifen für syntaktische und semantische Information. Semantik und Syntax werden dem DPM zufolge sogar dann in der linken Hemisphäre analysiert, wenn diese prosodisch realisiert sind (z.B. wenn die Wortbedeutung durch eine bestimmte Betonung oder durch bestimmte Töne kodiert wird). Im Gegensatz dazu werden prosodische Informationen auf der Satzebene (d.h. Akzentuierung, prosodische Phrasierung) bevorzugt innerhalb eines rechts-hemisphärischen temporo-frontalen Pfades verarbeitet, welcher besonders das frontale Operculum und den superioren temporalen Gyrus involviert. Das Dual-Pathway-Modell betont besonders die Interaktion zwischen syntaktischer und prosodischer Information, welche als dynamischer Austausch zwischen den beiden Hemisphären über das Corpus Callosum beschrieben wird. Jedoch können die Autoren den zeitlichen Verlauf dieser Interaktion mangels schlüssiger empirischer Belege zu dieser Frage noch nicht genau festlegen.

Friederici und Alter zufolge kann die durch die beiden Basispfade gegebene Lateralisierung sowohl in Abhängigkeit von den jeweiligen Aufgabenanforderungen als auch abhängig von den spezifischen Stimuluseigenschaften variieren: Wenn ein auditiver Sprachinput bei-

spielsweise ausschließlich prosodische Information enthält, wird dieser Input primär in der rechten Hemisphäre verarbeitet, je stärker jedoch auch andere linguistische Informationen wie Semantik oder Syntax im Stimulus enthalten sind bzw. je stärker sich die Aufgabe auf diese Größen bezieht, desto mehr wird auch die linke Hemisphäre in die Sprachverarbeitungsprozesse involviert. Damit verbindet das DPM die Annahmen aufgabenabhängiger und stimulusabhängiger Hypothesen (siehe Abschnitt 2.5).

2.7 Zusammenfassung

Anhand einer Reihe elektrophysiologischer Untersuchungen konnten verschiedene EKP-Komponenten charakterisiert werden, welche mit der Verarbeitung syntaktischer Information in Verbindung gebracht werden. So wurde eine frühe links-anteriore Negativierung (ELAN) als Reaktion auf lokale Verletzungen der Phrasenstruktur registriert. Dies stützt die Annahme von Syntax-First-Modellen (siehe Abschnitt 1.1), dass in einer initialen Sprachverarbeitungsphase eine erste syntaktische Struktur erstellt wird. Dabei ist die Wortkategorieinformation nach der derzeitigen empirischen Befundlage die einzige Informationsart, welche zur initialen Strukturbildung herangezogen wird (siehe Abschnitt 2.2). In einem späteren Zeitbereich wurde im Zusammenhang mit syntaktischen Reparatur- und Reanalyseprozessen eine späte Positivierung (P600) berichtet, welche jedoch auch durch nicht-syntaktische Information moduliert werden kann und auch domänenübergreifend (z.B. sowohl in Sprache als auch in der Musik) besonders dann auftritt, wenn ein Stimulus eine strukturelle Inkongruenz aufweist. Basierend auf diesen Beobachtungen kann die P600 allgemein als Korrelat struktureller Integrationsprozesse angesehen werden (siehe Abschnitte 2.2 und 2.4).

Auch zur Verarbeitung prosodischer Information wurden bereits einige EKP-Studien durchgeführt. So konnte mit dem „Closure-positive-shift“ (CPS) ein physiologisches Korrelat phonologischen Satzparsings identifiziert werden, welches sowohl von der prosodischen Phrasierung als auch von der Informationsstruktur eines Satzes beeinflusst wird. Prosodische Phrasierungen sind sogar in der Lage, etablierte syntaktische Parsingpräferenzen zu kompensieren und dadurch Garden-Path-Effekte zu vermeiden bzw. gleichsam auch den Parser auf

einen prosodischen Garden-Path zu führen. Diese EKP-Befunde unterstützen die Ergebnisse der in Abschnitt 1.3 vorgestellten behavioralen Studien zur Rolle prosodischer Information bei der Sprachverarbeitung, und liefern zusätzliche empirische Evidenz für die psychologische Realität einer prosodischen Repräsentationsebene beim Sprachverstehen (siehe Abschnitte 1.2 und 2.3).

Bei Untersuchungen zur Verarbeitung von prosodischer Information bei Sprache einerseits und harmonischer Information bei Musik andererseits konnten zum Teil ähnliche EKP-Effekte nachgewiesen werden. Eine naheliegende Vermutung ist, dass den vergleichbaren EKP-Effekten domänenübergreifende Prozesse zugrunde liegen könnten bzw. gemeinsame Ressourcen genutzt werden. So wurde eine frühe rechts-anteriore Negativierung nicht nur bei prosodischen Inkongruenzen, sondern auch im Zusammenhang mit Verletzungen harmonischer Regeln in der Musik (ERAN, RATN) nachgewiesen. In beiden Domänen könnte die rechts-anteriore Negativierung als Indikator einer frühen strukturellen Analyse basierend auf phonologischen bzw. harmonischen Regularitäten interpretiert werden. Weiterhin fand sich ein CPS nicht nur an prosodischen Phrasengrenzen, sondern auch an musikalischen Phrasengrenzen, was zu der Hypothese führte, dass der CPS domänenübergreifend das Ende der aktuellen Phrase und den Übergang zu einer neuen Phrase reflektiert. Auch wurden sowohl in der Sprache als auch in der Musik P600-Effekte als Korrelat struktureller Integrationsprozesse beobachtet (siehe Abschnitt 2.4).

Besonders jedoch wenn die Verarbeitung syntaktischer sprachlicher Information mit der Verarbeitung musikalischer Regularitäten kontrastiert wurde, zeigten sich aber auch Unterschiede zwischen Sprache und Musik. Sowohl für sprachliche Phrasenstrukturverletzungen als auch für Verletzungen der musikalischen Struktur wurden zwar frühe Negativierungen im EKP beobachtet. Diese ließen sich jedoch in beiden Domänen topografisch eindeutig voneinander unterscheiden (ELAN in der Sprache: links-anterior, ERAN in der Musik: rechts-anterior). Obwohl eine funktionale Ähnlichkeit zwischen den der ELAN und der ERAN zugrunde liegenden Prozessen vermutet werden kann, scheinen diese domänenspezifische, topografisch unterschiedliche neuronale Repräsentationen zu nutzen (siehe Abschnitte 2.2 und 2.4).

Neuropsychologische und bildgebende Studien zur neuronalen Repräsentation von Prosodie sind von einer Kontroverse gekennzeichnet, in der Evidenzen für eine Rechtslateralisierung prosodischer Verarbeitungsprozesse einerseits und für die Beteiligung links-lateraler Regionen an der Verarbeitung prosodischer Information andererseits existieren. Darauf aufbauend wurden eine ganze Reihe von Hypothesen zur Lateralisierung von Prosodie aufgestellt (siehe Abschnitt 2.5).

Einen integrativen Ansatz für Befunde aus EKP-Untersuchungen, bildgebenden Verfahren und Läsionsstudien stellt das Dual-Pathway-Modell dar. Auf neuronaler Ebene werden zwei Verarbeitungspfade angenommen, wobei der links-temporo-frontale Pfad bei der Verarbeitung syntaktisch-semantischer Information beschriftet wird (auch dann, wenn diese prosodisch kodiert ist). Der rechts-temporo-frontale Pfad hingegen ist für die Verarbeitung prosodischer Information auf Satzebene zuständig, wobei die entstehende Lateralisierung in Abhängigkeit von spezifischen Stimuluseigenschaften und auch aufgabenabhängig moduliert wird. In der Zeitdomäne geht das Dual-Pathway-Modell von drei Verarbeitungsphasen aus: Eine initiale syntaktische Struktur wird allein auf Basis von Wortkategorieinformation erstellt, erst danach werden weitere sprachliche Informationen analysiert und in einer abschließenden Verarbeitungsphase integriert und evaluiert. Obwohl das Dual-Pathway-Modell annimmt, dass prosodische und syntaktische Informationen kontinuierlich miteinander abgeglichen werden, macht es keine detaillierten Aussagen zum genauen Zeitverlauf dieses Abgleichs, da die derzeitige empirische Datenlage genauere Aussagen nicht zulässt.

Beim Überblick über die dargestellten Studien wird deutlich, dass ereigniskorrelierte Potentiale eine wertvolle und vielversprechende Methode zur Untersuchung von Sprachverarbeitungsprozessen darstellen und gerade auch bei der Erforschung von prosodischer Verarbeitung erfolgreich eingesetzt werden können. Auf der Suche nach einer adäquaten Methode (Marslen-Wilson et al., 1992; Warren, 1999) für die empirische Untersuchung der psycholinguistischen Frage, *wann* prosodische und syntaktische Information miteinander interagieren, erscheinen EKPs besonders aufgrund ihrer hohen zeitlichen Auflösung als Methode der Wahl. Für die Erforschung syntaktischer Verarbeitungsprozesse hat sich unter anderen das Verletzungsparadigma bewährt. Dieses scheint auch für die Untersuchung prosodischer Ver-

arbeitungsprozesse erfolgreich eingesetzt werden zu können, wie erste Studien (Besson & Faita, 1995; Schön et al., 2004; Isel et al., 2005) zeigen konnten, wobei sich das Verfahren des Cross-Splicings als Mittel zur prosodischen Manipulation etabliert hat (Steinhauer et al., 1999; Astesano et al., 2004).

Teil II

Empirischer Teil

Kapitel 3

Fragestellungen der vorliegenden Arbeit und Überblick über die Experimente

Weder behaviorale Studien noch EKP-Studien konnten bislang empirisch schlüssig belegen, ob prosodische Information wirklich die initiale Phase der Sprachverarbeitung beeinflussen kann oder nicht. Dabei fällt erstens auf, dass vor verschiedenen methodischen Hintergründen auf unterschiedlichen Zeitskalen argumentiert wird: So wird in behavioralen Studien dann von einem frühen Einfluss gesprochen, wenn eine bestimmte sprachliche Information eines Wortes noch auf selbigem verarbeitet wird. Diese Definition ist jedoch problematisch, da behaviorale Daten immer auf einer Reaktion des Probanden beruhen und somit im verarbeitungsinitialen Zeitfenster eine nur unzureichende zeitliche Auflösung besitzen. Selbst behaviorale Methoden mit einem stärkerem online-Charakter wie z.B. Cross-Modale-Benennung sind kritisch zu sehen, da es hier zu einem unnatürlichen Modalitätswechsel kommt. EKPs hingegen vermögen ein zeitlich präzises Bild von intern ablaufenden Verarbeitungsprozessen zu zeichnen: Auf Basis von EKP-Befunden lassen sich bereits ab dem Wortbeginn millisekundengenau verschiedene Sprachverarbeitungsphasen beobachten, unabhängig von den Reaktionen der Probanden. So wird eine der primären akustischen Verarbeitung nachfolgende initiale Sprachverarbeitungsphase zur Erstellung einer syntaktischen Phrasenstruktur bei auditiver Satzpräsentation bereits ab 100 ms nach dem Wortbeginn angesetzt. Bei der nach wie vor in der Psycholinguistik brisanten Frage, wann und in welcher Reihenfolge

verschiedene sprachliche Informationen verarbeitet werden, stellen EKPs somit eine ideale Untersuchungsmethode dar.

Eine weitere Ursache für das Fehlen klarer empirischer Evidenz auf die Frage, wann Prosodie beim Sprachverstehen verarbeitet wird, liegt wohl in den generellen hohen methodischen Anforderungen bei der experimentellen Arbeit mit akustischen Sprachreizen infolge ihrer hohen intra- und interindividuellen Variabilität, ihrer enormen physikalischen Komplexität und der vielschichtigen sprachlichen Funktionen von Prosodie. Auch stützt die aktuelle Datenlage die Annahme, dass verschiedene prosodische Informationen mit unterschiedlicher sprachlicher Bedeutung auch innerhalb verschiedener Zeitverläufe verarbeitet werden (siehe Abschnitte 1.4 und 2.3).

Dass prosodische Information prinzipiell früh verfügbar sein kann, zeigen EKP-Befunde, welche prosodische Einflüsse (Wortbetonung) auf frühe EKP-Komponenten (N1-P2) nachweisen konnten, wenngleich diese Komponenten meist eher als Indikatoren physikalischer Reizgegebenheiten charakterisiert werden (siehe Abschnitt 2.3). Bis dato ist lediglich eine einzige EKP-Studie (Jescheniak et al., 1998) publiziert, die den Einfluss prosodischer Akzentuierung speziell auf initiale Strukturbildungsprozesse anhand der ELAN-Komponente direkt untersuchte. Trotz ihres wegweisenden Ansatzes wirft diese Arbeit neben einer Reihe von methodischen Kritikpunkten (siehe Seite 43) auch eine theoretische Frage auf: Basierend auf den in den Abschnitten 1.2 und 1.4 besprochenen theoretischen Annahmen zu Prosodie verknüpfen die meisten phonologischen Modelle prosodische Akzente mit der semantisch-pragmatischen Information eines Satzes, weniger mit der basalen syntaktischen Ebene der Phrasenstruktur, welche aber wiederum mit der ELAN-Komponente in Verbindung gebracht wird. Daher fokussiert die vorliegende Arbeit stattdessen auf phrasale Prosodie und deren Zusammenspiel mit in der ELAN reflektierten initialen Phrasenstrukturprozessen, da die besprochenen prosodischen Theorien eine enge (wenngleich auch nicht deckungsgleiche) Beziehung zwischen diesen beiden Informationsebenen annehmen.

Wie in Abschnitt 2.2 dargestellt, zeigte sich bei Verletzungen der syntaktischen Phrasenstruktur in den EKPs in der Regel eine frühe (100-350 ms) links-anteriore Negativierung - die ELAN-Komponente. Frühere Studien zu Phrasenstrukturverletzungen berichteten jedoch

auch häufig davon abweichende Topografien für die ELAN-Komponente: Während visuelle Studien durchgängig ein links-laterales Maximum der ELAN beobachteten (Neville et al., 1991; Gunter, Friederici, & Hahne, 1999; Friederici et al., 1996; Ruchsow, Trippel, Groen, Spitzer, & Kiefer, 2003), finden eine Reihe Studien unter auditiver Sprachpräsentation eine bilaterale Verteilung bei der ELAN (Hahne & Friederici, 1999, 2002; Kotz et al., 2003) und bei deren magnetischen Äquivalent im MEG (Knösche, Maess, & Friederici, 1999; Kubota, Ferrari, & Roberts, 2004). Ausgehend von der Beobachtung, dass für die Verarbeitung prosodischer Information häufig rechts-hemisphärische Aktivierungen gefunden wurden (z.B. Meyer, Alter, Friederici, Lohmann, & von Cramon, 2002; Meyer et al., 2003; Pannekamp et al., 2005; Friederici, 2001, vgl. auch Abschnitte 2.3, 2.4 und 2.5), und basierend auf psycholinguistischen Annahmen über einen Zusammenhang zwischen phrasaler Prosodie und syntaktischer Phrasenstruktur (siehe Abschnitt 1.2), lässt sich spekulieren, dass die Lateralisierung der ELAN mit der Verarbeitung subtiler prosodischer Information in Verbindung stehen könnte (s.a. Friederici & Alter, 2004). Falls prosodische Information tatsächlich die Verarbeitung früher syntaktischer Information modulieren kann, könnte dies weiterhin helfen zu erklären, warum auch innerhalb der auditiven Domäne abweichende Lateralisierungen der ELAN beobachtet wurden. Eine Ursache hierfür kann in Unterschieden in der prosodischen Wohlgeformtheit der jeweils verwendeten Experimentalmaterialien vermutet werden: Diejenigen auditiven EKP-Untersuchungen zu Wortkategorieverletzungen, welche mit natürlich eingesprochenen und somit prosodisch wohlgeformten Sätzen arbeiteten, berichteten links-lateralisierte ELAN-Effekte (Friederici et al., 1993, 1996; Meyer, Friederici, & von Cramon, 2000). Eine Reihe anderer auditiver Studien erzeugte die syntaktischen Verletzungen hingegen durch artifizielles Herausschneiden einzelner Wörter aus wohlgeformten Sätzen, wobei jedoch bezüglich einer Veränderung der prosodischen Eigenschaften des Stimulusmaterials nicht explizit kontrolliert worden war. Bei diesen künstlich manipulierten Materialien wurden die ELAN-Komponente häufig über beiden Hemisphären registriert, wobei der rechts-hemisphärische Anteil möglicherweise als Folge der inhärenten prosodischen Manipulation infolge des Splicings angesehen werden könnte (siehe genauere Beschreibung in Abschnitt 4.2.3).

In der vorliegenden Arbeit sollte zunächst auf Grund von Befunden, die innerhalb auditiver Experimente interindividuelle Unterschiede in der Lateralisierung der Effekte der Wortkategorieverletzung berichteten (Groß et al., 1998; Friederici, Wang, Herrmann, Maess, & Oertel, 2000), überprüft werden, ob interindividuelle Unterschiede in der Sensitivität für prosodische Modulationen hierbei eine Rolle spielen könnten. Der Vorteil dieses Vorgehens war, dass mit Hilfe eines bereits bewährten Paradigmas, welches zuverlässig ELAN-Effekte hervorruft, eine erste Überprüfung der vorgebrachten Hypothese zum Einfluss prosodischer Verarbeitung auf die Lateralisierung der ELAN vorgenommen werden konnte.

Experiment 1

Im ersten Experiment (siehe Kapitel 4) wurde untersucht, ob die Lateralisierung der ELAN im Zusammenhang mit der Verarbeitung prosodischer Information stehen kann. Diese Frage wurde zunächst aus einem differentiellen Blickwinkel betrachtet. Hierbei fand ein bereits mehrfach erfolgreich zur Erforschung der ELAN-Komponente eingesetztes Satzmaterial Verwendung, welches freundlicherweise von Dr. Anja Hahne zur Verfügung gestellt wurde (z.B. Hahne & Friederici, 1999, 2002). In diesem akustischen Material war eine Wortkategorieverletzung durch das Herausschneiden eines obligatorischen syntaktischen Elements erzeugt worden. Im Zusammenhang damit vermutet die vorliegende Arbeit, dass dieses Vorgehen parallel zu einer prosodischen Inkongruenz geführt haben könnte, deren Verarbeitung sich möglicherweise ebenfalls im EKP niederschlägt. Daher sollte geprüft werden, ob die ELAN in Reaktion auf die präsentierte Wortkategorieverletzung in Abhängigkeit von der prosodischen Sensibilität der Probanden, welche in einer zuvor durchgeführten prosodischen Beurteilungsaufgabe erhoben wurde, moduliert wird.

Experiment 2

In den anderen drei Experimenten sollte geprüft werden, ob sich ein Zusammenhang zwischen prosodischer und syntaktischer Information intraindividuell nachweisen lässt. Dazu wurden die beiden Variablen Prosodie und Syntax direkt variiert.

Wenn die im Satzmaterial von Experiment 1 angewandte Splicingprozedur tatsächlich zu einer prosodischen Inkongruenz geführt hat, lässt sich diese aus theoretischer Perspektive unter zwei verschiedenen Blickwinkeln charakterisieren. Daher wurden zunächst in Experi-

ment 2 (siehe Kapitel 5) zwei verschiedene prosodische Inkongruenzen getestet, um erstens festzustellen, ob diese beiden Typen prosodischer Inkongruenz zu Verarbeitungsschwierigkeiten führen, und zweitens zu klären, ob sich EKP-Korrelate einer solchen prosodischen Inkongruenz finden lassen. Dazu wurde neues Satzmaterial erstellt, in dem an zwei verschiedenen Positionen im Satz (vorletztes vs. letztes Wort) die beiden Variablen Syntax (korrekt vs. inkorrekt) und Prosodie (kongruent vs. inkongruent) variiert wurden. Die Manipulation des kritischen Wortes an zwei verschiedenen Positionen im Satz ermöglichte es, beide Arten von prosodischen Inkongruenzen innerhalb desselben Designs zu untersuchen. In Reaktion auf die enthaltenen syntaktischen Verletzungen wurde ein P600-Effekt erwartet, anhand dessen die Relation von Syntax und Prosodie in einem späten integrativen Verarbeitungszeitfenster untersucht werden sollte¹⁶.

Experiment 3

Das dritte Experiment wurde primär mit dem Ziel der Replikation der bislang in der EKP-Literatur nicht beschriebenen EKP-Effekte aus Experiment 2 durchgeführt. Weiterhin sollte getestet werden, ob die in Experiment 2 beobachteten Effekte auf andere Positionen im Satz generalisierbar sind. Dafür wurde das Satzmaterial aus Experiment 2 adaptiert und so erweitert, dass die Manipulation der experimentellen Variablen Prosodie und Syntax im Experiment 3 auf vorletzter und letzter Position einer Satzphrase innerhalb eines Satzgefüges lokalisiert war.

Experiment 4

Abschließend stand die Frage im Mittelpunkt, ob sich für das frühe Verarbeitungszeitfenster der initialen Phrasenstrukturierung eine Interaktion zwischen Prosodie und Syntax finden ließe. Hierfür wurde in Experiment 4 erneut neues Satzmaterial erstellt, bei dem sowohl eine ELAN-Komponente als Korrelat einer syntaktischen Wortkategorieverletzung hervorgerufen

¹⁶Die in der vorliegenden Arbeit berichteten Ergebnisse aus Experiment 2 wurden in Eckstein und Friederici (2005) veröffentlicht.

werden sollte und gleichzeitig auch eine kontrollierte Manipulation der prosodischen Kongruenz in einem komplett gekreuzten 2 x 2 Design vorgenommen wurde¹⁷.

¹⁷Die in der vorliegenden Arbeit berichteten Ergebnisse aus Experiment 4 wurden in Eckstein und Friederici (2006) veröffentlicht.

Kapitel 4

Experiment 1: ELAN - Differentieller Einfluss von Prosodie

4.1 Fragestellung und Hypothesen

Wie bereits im vorangegangenen Kapitel dargelegt wurde, betrachtet das erste Experiment die Frage, ob die Lateralisierung der ELAN-Komponente in einen Zusammenhang mit der Verarbeitung prosodischer Information gebracht werden kann, aus einem differentiellen Blickwinkel. Eine ganze Reihe von Studien konnte zeigen, dass verschiedene EKP-Komponenten in Abhängigkeit von individuellen Unterschieden bei Faktoren wie der Arbeitsgedächtniskapazität (z.B. Wagner & Gunter, 2004; Vos, Gunter, Kolk, & Mulder, 2001), von individuellen Kommasetzungsgewohnheiten (Steinhauer & Friederici, 2001), vom „age-of-acquisition“ in der Zweitsprache (z.B. Rossi, Gugler, Friederici, & Hahne, akzeptiert), vom Alter (z.B. Gunter, Jackson, & Mulder, 1999) oder dem Geschlecht (Schirmer, Kotz, & Friederici, 2002; Besson, Magne, & Schön, 2002) der Probanden moduliert werden können. Auch für Wortkategorieverletzungen berichteten einige Studien interindividuelle Unterschiede in der Topografie der ELAN, ohne jedoch genauer auf mögliche Erklärungen dafür einzugehen (Groß et al., 1998; Friederici et al., 2000). Daher erscheint ein differentielles Herangehen an die Frage, ob Unterschiede in der prosodischen Verarbeitung die ELAN-Komponente beeinflussen können, sinnvoll. Ein bewährtes Satzparadigma (Hahne & Friederici, 1999, 2002), welches

zuverlässig die ELAN-Komponente hervorruft, wurde verschiedenen Probanden dargeboten, die sich hinsichtlich ihrer prosodischen Sensitivität voneinander unterschieden. Innerhalb des verwendeten Satzparadigmas wurde ein biphasisches Muster aus einer ELAN-Komponente als Korrelat der Wortkategorieverletzung gefolgt von einer P600 erwartet. In bisherigen Studien mit demselben Stimulusmaterial war die ELAN mit einer bilateralen Verteilung beobachtet worden. Eine Besonderheit dieses Satzmaterials besteht darin, dass durch die zur Erzeugung des Wortkategoriefehlers angewandte Splicing-Prozedur gleichzeitig die prosodischen Wohlgeformtheit der syntaktisch inkorrekten Sätze verletzt war, deren Verarbeitung möglicherweise die Topografie der ELAN beeinflussen könnte. Unter dieser Annahme wurde vermutet, dass sich die Verteilung der ELAN über die Schädeloberfläche bei Probanden mit unterschiedlicher prosodischer Sensitivität unterscheiden könnte, besonders dann, wenn der rechts-hemisphärische Anteil im Zusammenhang mit der Verarbeitung einer prosodischen Inkongruenz stehen würde. Daher standen folgende Hypothesen im Mittelpunkt dieses Experiments:

- *Hypothese 1:* Die Wortkategorieverletzung führt (parallel zu früheren Studien, die dasselbe Material verwendeten) im EKP zu einer frühen bilateralen Negativierung (ELAN) gefolgt von einer späten Positivierung.
- *Hypothese 2:* Die Lateralisierung der ELAN-Komponente variiert in Abhängigkeit von der prosodischen Sensitivität des Probanden.

4.2 Methoden

4.2.1 Behavioraler Prosodievortest und Probandenselektion

Zunächst sollten potentielle Probanden auf interindividuelle Unterschiede in ihrer Sensitivität für prosodische Parameter getestet werden. In Ermangelung eines geeigneten normierten Testverfahrens für nicht-pathologische Stichproben im Deutschen wurde ein Vortest durchgeführt, welcher aus einem ursprünglich zur Untersuchung der Rolle prosodischer Information bei der Verarbeitung deutscher Komposita verwendeten behavioralen Experiment be-

stand. Dieses Stimulusmaterial wurde freundlicherweise von Dr. Frederic Isel bereitgestellt (Isel & Friederici, 2006).

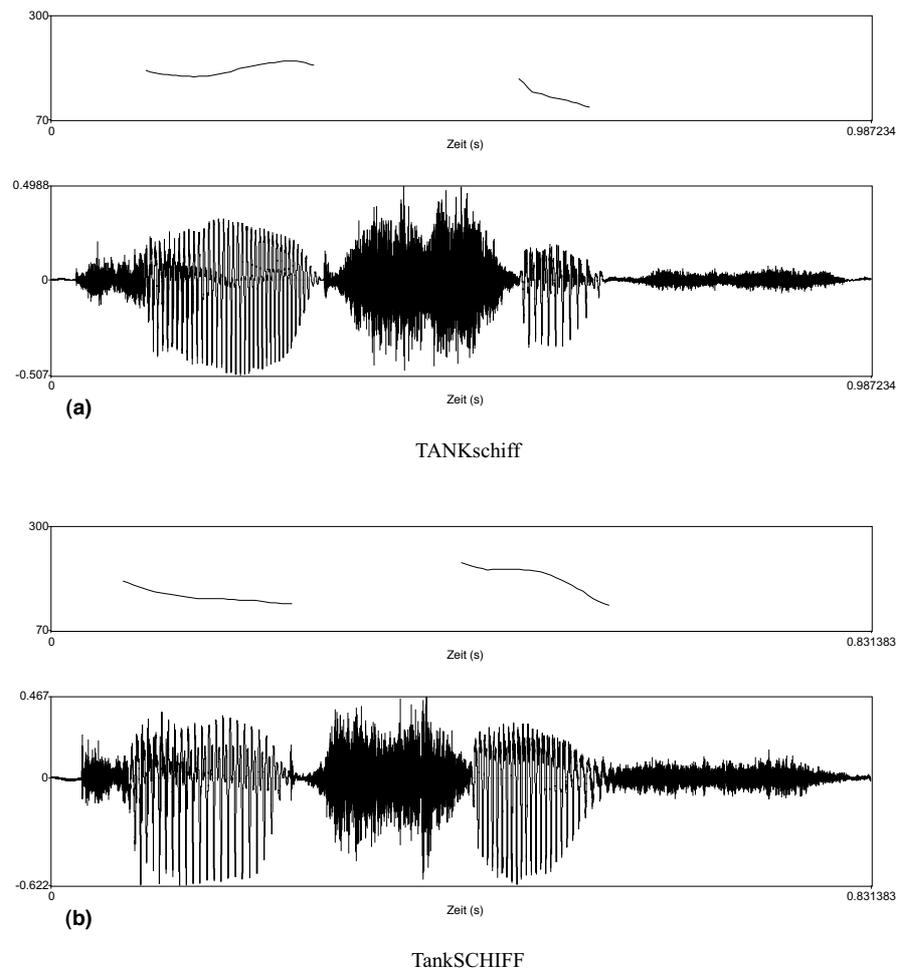


Abbildung 4.1: Beispiel für die im behavioralen Prosodievortest verwendeten prosodisch kongruenten (a) und inkongruenten (b) Komposita. Abgebildet sind jeweils Oszillogramm und Grundfrequenz. Die Abbildung wurde von Dr. Frederic Isel zur Verfügung gestellt.

Es umfasste 160 völlig transparente deutsche Komposita (zusammengesetzte Substantive), welche sich jeweils aus zwei Nomen zusammensetzten. Alle Items waren von einer professionellen Sprecherin natürlich gesprochen worden. Die Variable PROSODIE wurde manipuliert, indem jedes Item einmal in einer prosodisch kongruenten Version mit der normalen

trochäischen Betonung („TANKschiff“) eingesprochen wurde, und einmal mit einem jambischen Betonungsmuster für die prosodisch inkongruente Version („TankSCHIFF“) (siehe Abbildung 4.1).

Jedes Kompositum wurde den Probanden im Vortest sowohl in der prosodisch kongruenten als auch in der prosodisch inkongruenten Betonungsvariante über Kopfhörer in quasirandomisierter Reihenfolge präsentiert. Die Aufgabe war es, so schnell wie möglich zu beurteilen, ob das jeweils gehörte Wort eine übliche oder unübliche Betonung hatte und eine dementsprechende Taste zu drücken. Die Gesamtdauer dieses Vortests betrug etwa 20 Minuten, wobei nach der Hälfte der Items eine kurze Pause eingelegt wurde.

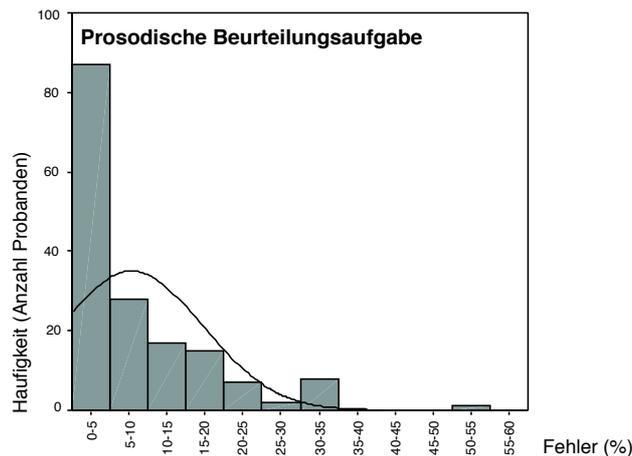


Abbildung 4.2: Häufigkeitsverteilung der Fehlerraten in der prosodischen Beurteilungsaufgabe im behavioralen Vortest (n=165 Probanden).

Zusätzlich zu den bereits von Dr. Isel erhobenen und in der Datenbank bekannten 111 Probanden wurden im Rahmen der vorliegenden Arbeit weitere 54 Probanden getestet. Die Gesamtgruppe potentieller Kandidaten für das EEG-Experiment, die insgesamt am behavioralen Prosodievortest teilgenommen hatten, umfasste somit 165 Probanden (davon 80 weiblich, Alter zwischen 18 und 31 Jahren, mittleres Alter: 23,8 Jahre). Die mittleren Fehlerraten

bei der prosodischen Beurteilungsaufgabe lagen bei 7,84 % (SD=9,38). Die Verteilung der Fehlerraten über die Probanden kann Abbildung 4.2 entnommen werden.

Davon ausgehend wurden für das EEG-Experiment jeweils 14 Probanden in drei Gruppen (gute, mittlere und schlechte prosodische Beurteilungsleistung) ausgewählt, wie der Überblick in Tabelle 4.1 verdeutlicht¹⁸. Alle Probanden waren rechtshändig (entsprechend Oldfield, 1971) und berichteten keinerlei neurologische oder sprachliche Beeinträchtigungen. Die Teilnahme am Experiment wurde mit 7,50 Euro/h vergütet.

Tabelle 4.1: Übersicht über die im EEG-Experiment 1 untersuchten Prosodiegruppen. Die Einteilung erfolgte auf Basis der Fehlerraten im behavioralen Prosodievortest.

Gruppe	n (davon weiblich)	Fehlerrate im Prosodievortest (\bar{x})	Alter \bar{x} (von-bis)
A („gut“)	n=14 (7)	< 3 % (1,04 %)	24,3 (21-29)
B („mittel“)	n=14 (9)	3 - 17 % (12,65 %)	23,4 (19-27)
C („schlecht“)	n=14 (5)	17 - 35 % (24,31%)	24,9 (19-31)

4.2.2 Versuchsdesign und Satzmaterial

Die Experimentalsätze für das EEG-Experiment wurden freundlicherweise von Dr. Anja Hahne zur Verfügung gestellt, der dafür mein herzlicher Dank gilt. Das verwendete Stimulusmaterial soll an dieser Stelle nur kurz beschrieben werden, eine weitaus ausführlichere Darstellung findet sich bei Hahne (1998). Einen Überblick über die enthaltenen Bedingungen gibt Tabelle 4.2. Für die Fragestellung der vorliegenden Arbeit sind zwei experimentelle Bedingungen von Interesse: korrekte Sätze („Das Baby wurde gefüttert.“), welche aus einer Nominalphrase gefolgt von Hilfsverb und Partizip bestanden und als Vergleichsbedingung zu syntaktisch inkorrekten Sätzen dienten. Syntaktisch inkorrekte Sätze („Die Gans wurde im gefüttert.“) enthielten einen Wortkategoriefehler, da unmittelbar nach einer Präposition

¹⁸Von den in der Gesamtgruppe enthaltenen 22 Probanden mit mehr als 17 % Fehlerrate im Prosodievortest waren drei Linkshänder, vier Probanden befanden sich auf einem Auslandsaufenthalt und ein Proband lag auf Zufallsniveau, so dass lediglich 14 Probanden am EEG-Experiment teilnehmen konnten. Um Einflüsse auf die EKP-Effekte aufgrund unterschiedlicher Gruppengrößen zu vermeiden, wurden auch für die Prosodiegruppen A und B jeweils nur 14 Probanden getestet.

(welche ein Nomen bzw. zumindest ein Adjektiv oder Adverb verlangt) ein partizipiertes Verb folgte. Um eine strategische Beeinflussung der ablaufenden Sprachverarbeitungsprozesse auszuschließen, wurde weiterhin eine korrekte Füllbedingung („Die Kuh wurde im Stall gefüttert.“) präsentiert, in der nach der Präposition eine volle Nominalphrase enthalten war. Dies verhinderte, dass allein das Vorhandensein einer Präposition Aufschluss darüber geben konnte, ob ein Satz falsch oder richtig war. Um die Vergleichbarkeit von Experiment 1 zu den Vorgängerstudien mit demselben Satzmaterial zu gewährleisten, wurde weiterhin eine semantische Verletzungsbedingung („Das Lineal wurde gefüttert.“) dargeboten, wenngleich diese Bedingung im Rahmen der vorliegenden Arbeit nicht ausgewertet wurde. In jeder der insgesamt vier Bedingungen wurden 48 Sätze präsentiert, so dass jeder Proband insgesamt 192 Sätze hörte.

Tabelle 4.2: Übersicht über die verwendeten experimentellen Bedingungen in Experiment 1. Das kritische Wort, auf dem die EKPs zwischen korrekter und syntaktisch inkorrektter Bedingung verglichen wurden, ist unterstrichen.

Bedingung	Beispiel
Korrekte Bedingung	„Das Baby wurde <u>gefüttert</u> .“
Syntaktische Bedingung	„Die Gans wurde <u>im gefüttert</u> .“
Korrekte Füllbedingung	„Die Kuh wurde im Stall gefüttert.“
Semantische Bedingung	„Das Lineal wurde gefüttert.“

4.2.3 Produktion des Stimulusmaterials

Die Sätze der korrekten Bedingung, der semantischen Bedingung sowie der korrekten Füllbedingung waren natürlich eingesprochen. Die Sätze der syntaktischen Bedingung hingegen waren mit Hilfe der folgenden Splicing-Prozedur erstellt worden (siehe Abbildung 4.3): Zunächst waren die Sätze der syntaktischen Bedingung mit einer vollständigen Nominalphrase nach der Präposition eingesprochen worden, in der jedoch das Nomen in jedem Fall das Wort „Gebrumm“ war („Die Gans wurde im Gebrumm gefüttert.“). Im Anschluss war das Nomen „Gebrumm“ herausgeschnitten worden, wobei die phonetischen Übergänge zwischen Präposition und Nomen einerseits („im Ge...“) und zwischen Nomen und Partizip andererseits

(„...brumm gefü.“) identisch waren und somit eine Detektion des Splicings infolge koartikulatorischer Phänomene¹⁹ ausgeschlossen wurde. Ausgangspunkt für Experiment 1 der

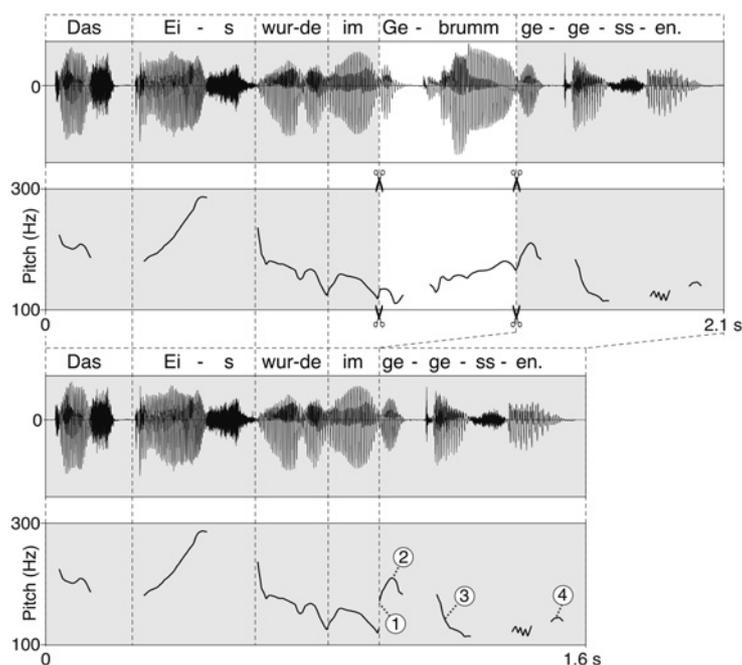


Abbildung 4.3: Illustration der Erstellung der syntaktisch inkorrekten Sätze in Experiment 1. (Abbildung entnommen aus Sabisch et al., in press).

vorliegenden Arbeit war dabei die Überlegung, dass dieses Splicing zwar auf segmentaler Ebene (Koartikulation) kontrolliert war, nicht jedoch auf suprasegmentaler Ebene. Durch das ersatzlose Herausschneiden eines Wortes könnte neben einer Verletzung der syntaktischen Phrasenstruktur auch eine Beeinträchtigung der prosodischen Wohlgeformtheit des Satzes erzeugt worden sein. Die durch das Splicing hervorgerufene Veränderung der prosodischen Eigenschaften des Satzes in der syntaktisch inkorrekten Bedingung wird in Abbil-

¹⁹Unter Koartikulation versteht man das aus der Sprachproduktion bekannte Phänomen, dass sich benachbarte Laute in der Artikulation gegenseitig (manchmal sogar über mehrere Laute hinweg) beeinflussen können: während ein Laut artikuliert wird, zeigt dieser möglicherweise noch Eigenschaften des vorausgegangenen Lautes, bereitet aber unter Umständen auch bereits die Artikulation des folgenden Lautes vor. Nach Kohler (1995) lässt sich die Hauptfunktion von Koartikulation als die Minimierung des Artikulationsaufwandes in fließender Rede zusammenfassen.

dung 4.3 verdeutlicht: Infolge des Herausschneidens des Füllnomens „Gebrumm“, welches normalerweise mit einer steigenden Satzmelodie einhergeht, kommt es demnach nicht nur zu einem Wortkategoriefehler (infolge des fehlenden Nomens), sondern gleichzeitig auf suprasegmentaler Ebene zu einem prosodischen Bruch in der Satzmelodie, da die Präposition und der Beginn des Partizips prosodisch nicht zusammenpassen (siehe Position 1 in Abbildung 4.3).

4.2.4 Versuchsdurchführung

Randomisierung Die Darbietung der Sätze erfolgte in pseudorandomisierter Reihenfolge, wobei ein und dieselbe Bedingung nicht öfter als dreimal nacheinander auftrat und korrekte vs. (semantisch oder syntaktisch) inkorrekte Sätze nicht häufiger als viermal aufeinander folgen durften. Weiterhin lagen zwischen Sätzen, die das gleiche kritische Partizip enthielten, mindestens 30 andere Sätze (eine weiterführende Beschreibung findet sich bei Hahne, 1998).

Darbietung Die Aufgabe der Probanden bestand darin, die (semantische und syntaktische) Korrektheit der gehörten Sätze zu beurteilen (richtig vs. falsch). Alle Sätze wurden auditiv über zwei Lautsprecher dargeboten. Die Probanden saßen dabei in einem bequemen Stuhl mit einem Abstand von etwa 90 cm vor einem 17"Computerbildschirm. Im Zeitraum zwischen 500 ms vor jedem Stimulus bis 3000 ms danach war auf der Mitte des Bildschirms ein Sternchen zu sehen, welches die Probanden fixieren sollten. Das Sternchen fungierte einerseits als Aufmerksamkeitsreiz, um einen neuen Stimulus anzukündigen, andererseits aber auch als Blickanker, um Augenbewegungen zu minimieren und so Muskelartefakte in der EEG-Ableitung zu reduzieren. Nach einer Pause von 3000 ms nach Ende des Satzes wurde ein Antwortbild (mit einem lachenden und einem weinenden Smile für richtige und falsche Sätze) eingeblendet. Erst jetzt²⁰ sollten die Probanden beurteilen, ob der zuvor gehörte Satz korrekt oder (semantisch oder syntaktisch) inkorrekt gewesen war, indem sie eine von zwei

²⁰Die Verzögerung der Antwortabgabe diente dazu, mit der Antwort möglicherweise auftretende bewegungsrelatierte Einflüsse zeitlich nach hinten zu verlagern, da das kritische Partizip immer in satzfinaler Position auftrat. Weiterhin wurde so vermieden, dass allgemeine satzfinale EKP-Effekte (z.B. die „sentence final negativity“, siehe Osterhout, 1997) die ELAN überlagern könnten.

möglichen Tasten („richtig“ vs. „falsch“) innerhalb einer maximalen Antwortzeit von 2000 ms drückten. Die Hälfte der Probanden drückte die rechte Taste für die Antwort „richtig“, bei der anderen Hälfte der Probanden war „richtig“ der linken Taste zugeordnet. Sobald die Probanden ihre Antwort abgegeben hatten (oder die maximale Antwortzeit überschritten war), verschwand das Antwortbild, und es folgte ein Inter-Stimulus-Intervall (ISI) von 1000 ms mit schwarzem Bildschirm, bevor der nächste Durchgang begann.

Die Probanden waren instruiert, Augenbewegungen möglichst zu vermeiden, solange das Sternchen auf dem Bildschirm zu sehen war, und erst zu blinzeln, nachdem sie ihre Antwort abgegeben hatten (während des ISI). Generell waren die Probanden angehalten, eine entspannte Sitzhaltung einzunehmen und sich möglichst wenig zu bewegen. Vor dem Beginn des Experiments wurden sechs Beispielsätze dargeboten, um die Probanden mit der Präsentation und der Aufgabe vertraut zu machen. Die Darbietung der Experimentalsätze war in vier Blöcke (jeweils 48 Durchgänge) unterteilt, welche jeweils ca. sieben Minuten dauerten. Zwischen den Blöcken wurde eine Pause von bis zu fünf Minuten eingelegt. Insgesamt dauerte das Experiment etwa 40 Minuten. Die gesamte Steuerung der experimentellen Präsentation sowie der Aufzeichnung der behavioralen Daten wurde mit Hilfe der Software ERTS (Experimental Run Time System, Beringer 1996) realisiert. Weiterhin wurde mittels der ERTS-Steuerungssoftware eine zeitsynchrone Markierung auf einen separaten EEG-Kanal gesendet, um später den Zeitpunkt des Beginns der jeweiligen Satzpräsentation im kontinuierlich aufgezeichneten EEG-Signal identifizieren zu können.

Elektrophysiologische Ableitung und Datenaufzeichnung Das EEG wurde mit Hilfe von 19 Ag/AgCl-Elektroden registriert, welche entsprechend dem 10-20-System der American Encephalographic Society (vgl. Sharbrough et al., 1991) in einer elastischen Kappe befestigt waren (Electrocap International): F7/8, F3/4, FT7/8, FC3/4, CP5/6, P7/8, P3/4, O1/2, FZ, CZ, PZ. Als Erdungselektrode diente AFZ. Alle Skalpelektroden wurden online zum linken Mastoid (A1) referenziert. Zusätzlich wurden sowohl vertikales als auch horizontales Elektrookulogramm (EOG) bipolar abgeleitet, um Augenbewegungen und andere Muskelartefakte kontrollieren zu können: Das horizontale EOG wurde an zwei Elektroden am äußeren Kanthus vom rechten und linken Auge gemessen, das vertikale EOG wurde zwischen zwei

Elektroden über und unter dem rechten Auge abgeleitet. Während der EEG-Aufzeichnung lagen die Impedanzen aller gemessenen Elektroden unter $5k\Omega$. Die mit Hilfe eines PORTI-32/MREFA Gleichspannungsverstärkers mit integriertem Online-Tiefpassfilter (DC bis 67,5 Hz) registrierten EEG- und EOG-Signale wurden mit einer Abtastrate von 250 Hz digitalisiert und kontinuierlich aufgezeichnet.

4.2.5 Datenanalyse

Die Datenanalyse wurde weitestgehend parallel zu Hahne (1998) durchgeführt. Da die Probanden ihr Grammatikalitätsurteil zeitverzögert abgaben, wurden für die Verhaltensdaten allein die Fehlerdaten ausgewertet. Des Weiteren wurden nur die korrekte und die syntaktische Bedingung analysiert.

Die EEG-Daten wurden zunächst offline auf virtuell verbundene Mastoiden (A1+A2)/2 rereferenziert. Für die Berechnung der EKPs wurden nur korrekt beantwortete Durchgänge berücksichtigt. Im nächsten Auswertungsschritt wurde das EEG-Signal mit Hilfe eines automatischen Algorithmus auf Artefakte untersucht. Dabei wurden jene Bereiche der EEG-Ableitung als Artefakt markiert, in denen die Standardabweichung der mittleren Amplitude einen bestimmten cut-off-Wert in einem definierten Zeitfenster überschritt ($40\mu V$ in einem gleitenden 200 ms-Zeitfenster). Danach wurden die EEG-Ableitungen zusätzlich manuell auf Artefakte geprüft. Wegen Artefakten wurden 17,1 % der richtig beantworteten Durchgänge aus der weiteren Analyse ausgeschlossen, wobei kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden ausgewerteten experimentellen Bedingungen und kein Unterschied zwischen den Gruppen bestand.

Die Satzanfänge wurden im EEG auf Basis der online registrierten ERTS-Markierungen identifiziert. Die jeweilige Position des kritischen Partizips in jedem Satz wurde dann nachträglich im EEG errechnet, indem die in den Audiodateien ermittelte Dauer bis zum Beginn des Partizips zum Zeitpunkt des Satzanfangs im EEG hinzuaddiert wurde. Im Anschluss wurden die EKPs für jede der beiden experimentellen Bedingungen und jede Elektrode separat im kritischen Zeitfenster von 0 ms bis 1400 ms (mit einer poststimulus-Baselinekorrektur zwischen 0 und 100 ms) bezogen auf den Beginn des kritischen Partizips berechnet - zu-

nächst pro Versuchsperson und dann über alle Versuchspersonen hinweg. Für alle graphischen Darstellungen wurde ein 8 Hz Tiefpass-Filter gewählt, alle statistischen Analysen wurden jedoch mit ungefilterten Daten berechnet.

Basierend auf der visuellen Inspektion der resultierenden EKPs und ausgehend von der statistischen Analyse aufeinander folgender 50-ms-Zeitfenster wurden die folgenden zwei Zeitbereiche für die Analyse der mittleren Amplituden der EKPs gewählt: 150-350 ms als frühes Zeitfenster für die ELAN-Komponente und 400-1000 ms als spätes Zeitfenster für die P600-Komponente. Um mögliche topografische Unterschiede zu entdecken und den Verlust statistischer Power bei Varianzanalysen über viele Elektroden zu verhindern (vgl. Oken & Chiappa, 1986), wurden einzelne Elektroden zu *Regions of interest* (ROIs) zusammengefasst. Hierzu wurden neben dem Gruppenfaktor PROSODIEGRUPPE (gut vs. mittel vs. schlecht) und der experimentellen Variable SYNTAX (korrekt vs. inkorrekt) folgende topografischen Variablen in die Varianzanalysen mit Messwertwiederholung einbezogen: ELEKTRODE für die Mittellinienelektroden (FZ vs. CZ vs. PZ) bzw. HEMISPHERE (links vs. rechts) und REGION (anterior vs. posterior) für die lateralen Elektroden. Für letztere ergaben sich daraus folgende vier ROIs, welche jeweils vier Elektroden enthielten: links-anterior (F7, F3, FT7, FC3), rechts-anterior (F8, F4, FT8, FC4), links-posterior (CP5, P7, P3, O1) und rechts-posterior (CP6, P8, P4, O2). Alle Analysen folgten einem hierarchischen Schema: Haupteffekte wurden ab einem Signifikanzniveau von $p \leq .05$ interpretiert. Zusätzlich wird für signifikante Haupteffekte jeweils die entsprechende mittlere Amplitudendifferenz der EKPs zwischen den Bedingungen (Δ in μV) angegeben. Sobald eine Interaktion zwischen der experimentellen Variable SYNTAX und dem Gruppenfaktor bzw. einer oder mehreren topografischen Variablen das Signifikanzniveau $p \leq .05$ erreichte, wurden entsprechende Subanalysen (pro Gruppe bzw. pro Region oder Hemisphäre oder ROI) berechnet. Wann immer eine der enthaltenen Variablen mehr als zwei Zählerfreiheitsgrade aufwies, wurden korrigierte p-Werte berichtet (Geisser & Greenhouse, 1959).

4.3 Ergebnisse

4.3.1 Behaviorale Daten

Die Tabelle 4.3 gibt einen Überblick über die Fehlerdaten der Probanden in den drei Gruppen. Eine ANOVA mit Messwertwiederholung auf dem Faktor SYNTAX (korrekt vs. syntaktisch inkorrekt) und dem Zwischensubjektfaktor PROSODIEGRUPPE ergab signifikant höhere Fehlerraten für die syntaktische Bedingung als für die korrekte Bedingung (Haupteffekt SYNTAX: $F(1,39)=9.26$, $p<.01$; alle anderen $ps>.33$). Die unterschiedlichen Leistungen der Probanden in der prosodischen Beurteilungsaufgabe im Vortest hatten demnach keinen Einfluss auf deren grammatikalische Beurteilungsleistung im EEG-Experiment.

Tabelle 4.3: Mittlere Fehlerraten bei der Beurteilung der Korrektheit der Sätze in % (Standardabweichung) in Experiment 1 für beide Bedingungen in allen drei Prosodiegruppen.

Bedingung	Gruppe A	Gruppe B	Gruppe C	gesamt
korrekte Bedingung	0.75 (1.79)	1.04 (1.96)	0.89 (1.61)	0.9 (1.61)
syntaktische Bedingung	1.9 (3.96)	2.38 (3.25)	2.23 (3.0)	2.18 (3.34)
gesamt	1.34 (3.07)	1.71 (2.72)	1.56 (2.31)	1.53 (2.69)
Anzahl Probanden	n=14	n=14	n=14	n=42

4.3.2 EKP-Daten

4.3.2.1 Gesamte Stichprobe

Zunächst werden die EKP Daten für die gesamte Stichprobe dargestellt. In Abbildung 4.4 finden sich die gemittelten EKPs für die korrekte und die syntaktisch inkorrekte Bedingung über alle 42 Probanden. Deskriptiv lässt sich ein biphasisches Muster aus einer frühen bilateralen Negativierung ab etwa 150 ms gefolgt von einer posterior verteilten Positivierung ab etwa 400 ms erkennen.

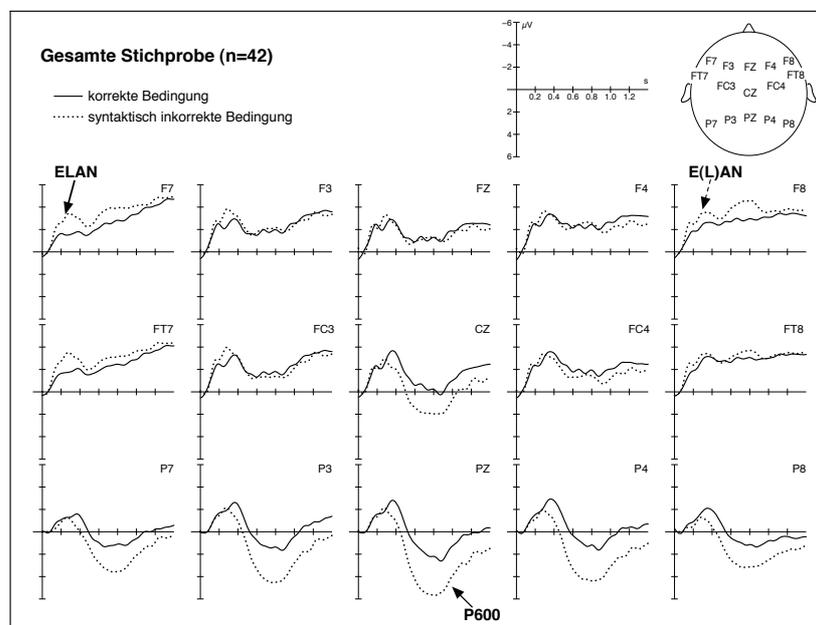


Abbildung 4.4: Experiment 1: EKPs für syntaktisch inkorrekte und korrekte Sätze gemittelt über alle drei Prosodiegruppen zusammen (n=42).

Die Globale statistische Analyse (siehe Tabelle 4.4) ergab im frühen Zeitfenster zwischen 150 und 350 ms unter anderem eine signifikante Dreifach-Interaktion SYNTAX x REGION x HEMISPHÄRE, welche weiter gehende Subanalysen auf ROI-Ebene rechtfertigt. Auf ROI-Ebene zeigte sich für die gesamte Stichprobe eine reliable Negativierung über links-anteriore Elektroden (SYNTAX: $F(1,39)=15.58$, $p<.001$, $\Delta=-1.05\mu V$). Die deskriptiv beobachtete Negativierung über rechts-anteriore Elektroden erreichte nur marginale Signifikanz (SYNTAX: $F(1,39)=2.85$, $p=.09$, $\Delta=-0.47\mu V$; beide posteriore ROIs $p>.12$). Da für die lateralen Elektroden jedoch ebenfalls die Interaktion SYNTAX x REGION x PROSODIEGRUPPE die Signifikanzschwelle erreichte²¹, wurden die ROI-Analysen zusätzlich für alle drei Prosodiegruppen getrennt durchgeführt. Diese Ergebnisse werden im nächsten Abschnitt (4.3.2.2) ausführlich dargestellt.

²¹Nach Auflösen der signifikanten Interaktion SYNTAX x ELEKTRODE x PROSODIEGRUPPE auf der Mittellinie ergaben separate Subanalysen keinerlei signifikante Effekte (alle $p>.16$)

Tabelle 4.4: Ergebnisse der Globalen statistischen Analysen der EKPs in Experiment 1. Neben dem Zwischensubjektfaktor PROSODIEGRUPPE (G) beinhalteten die ANOVAs die experimentelle Variable SYNTAX (S) sowie die topografischen Variablen HEMISPHERE (H) und REGION (R) für laterale Elektroden (l) bzw. ELEKTRODE (E) für die Mittellinienelektroden (m).

	Quelle	dF	Zeitfenster			
			150-350 ms		400-1000 ms	
			F	p	F	p
l	S	1,39	<1		8.65	<.01
	S x G	2,39	<1		<1	
	S x H	1,39	7.3	.01	<1	
	S x R	1,39	16.75	<.001	57.58	<.0001
	S x R x G	2,39	3.39	.05	2.57	.09
	S x H x G	2,39	<1		<1	
	S x R x H	1,39	5.66	<.05	<1	
	S x R x H x G	2,39	<1		<1	
m	S	1,39	<1		10.97	<.01
	S x G	2,39	<1		<1	
	S x E	2,78	2.47	.11	31.39	<.0001
	S x E x G	4,78	2.96	<.05	1.29	.28

Ausgehend von Studien, die einen Einfluss der individuellen Arbeitsgedächtnisspanne auf verschiedene EKP-Komponenten fanden (siehe Abschnitt 4.1), wurde eine weitere Gruppeneinteilung auf Basis der Testergebnisse der Probanden im Reading-Span-Test (Daneman & Carpenter, 1980) vorgenommen. Die globalen statistischen Analysen der so gruppierten EKP-Daten ergaben jedoch weder im frühen noch im späten Zeitfenster eine signifikante Interaktion des Gruppenfaktors mit der experimentellen Variable (alle $F_s < 1$). Auch eine Unterteilung der Probanden nach dem Geschlecht erbrachte keinerlei Interaktionen des Gruppenfaktors mit der experimentellen Variable SYNTAX (alle $p_s > .29$). Im späten Zeitfenster zwischen 400 und 1000 ms zeigten die Haupteffekte SYNTAX²² auf lateralen ($\Delta = +0.93 \mu V$)

²²Die Gruppenvariable beeinflusste die experimentelle Variable lediglich marginal (SYNTAX x REGION x PROSODIEGRUPPE: $p = .09$). Subanalysen ergaben keine Unterschiede zwischen den Gruppen in der posterioren P600. Die marginal signifikante Interaktion geht vermutlich darauf zurück, dass die mittlere und schlechte Gruppe zwischen 400 und 1000 ms deskriptiv eine links-anteriore Negativierung aufwiesen (jedoch nicht signifikant, $p > .10$).

und Mittellinienelektroden ($\Delta=+1.59\mu V$) einen positiveren Verlauf der EKPs für syntaktisch inkorrekte Sätze im Vergleich zu korrekten Sätzen an.

Auf Basis der signifikanten Zweifach-Interaktion SYNTAX x REGION durchgeführte separate Subanalysen für jede Region ergaben eine signifikante Positivierung über posterioren Elektroden (SYNTAX: $F(1,39)=31.14$, $p<.0001$, $\Delta=+2.11\mu V$), jedoch nicht über anterioren Elektroden ($F<1$)²³.

4.3.2.2 ELAN-Zeitfenster getrennt für die drei Prosodiegruppen

Basierend auf der in der globalen Analyse beobachteten Interaktion mit dem Gruppenfaktor und der signifikanten Interaktion SYNTAX x REGION x HEMISPHERE (siehe voriger Abschnitt 4.3.2.1) wurden die EKPs für jede der drei Probandengruppen zwischen 150 und 350 ms auf ROI-Ebene separat voneinander analysiert (siehe Abbildungen (4.5, 4.6, 4.7)).

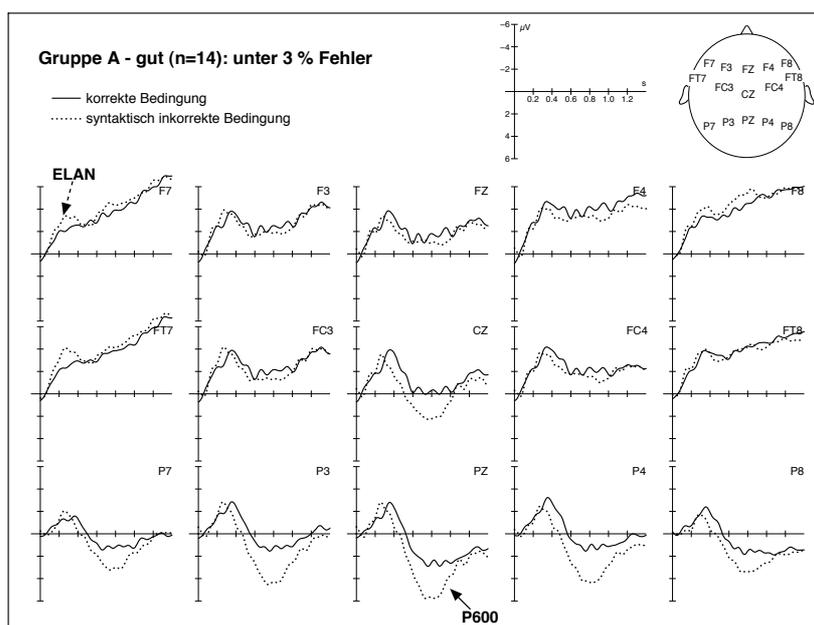


Abbildung 4.5: Vergleich der EKPs für syntaktisch inkorrekte und korrekte Sätze für die n=14 Probanden mit weniger als 3 % Fehlern im Prosodievortest (Gruppe A - gut).

²³Die signifikante Interaktion SYNTAX x ELEKTRODE auf der Mittellinie reflektiert die posteriore Verteilung der späten Positivierung (FZ: $F<1$; CZ: $F(1,39)=12.25$, $p<.01$; PZ: $F(1,39)=28.60$, $p<.0001$)

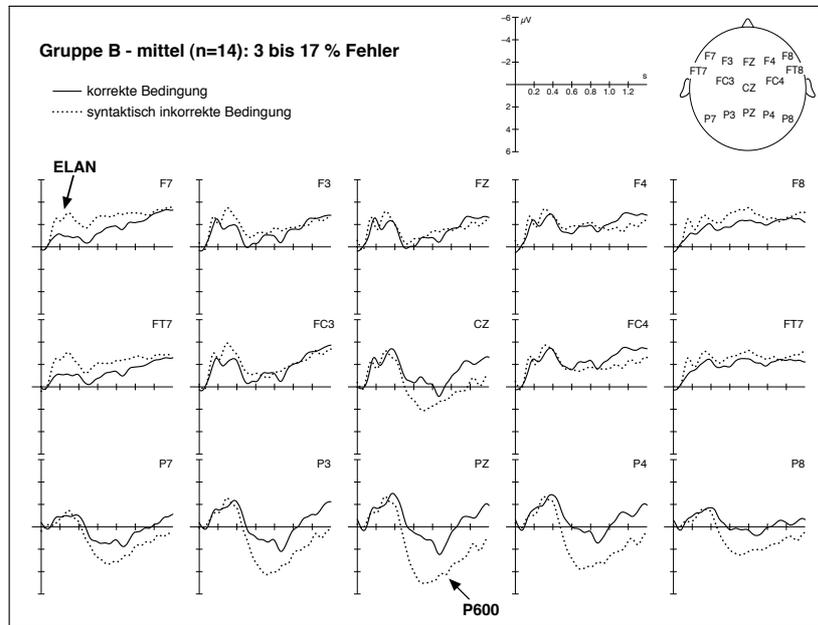


Abbildung 4.6: Vergleich der EKPs für syntaktisch inkorrekte und korrekte Sätze für die n=14 Probanden mit 3 bis 17 % Fehlern im Prosodievortest (Gruppe B - mittel).

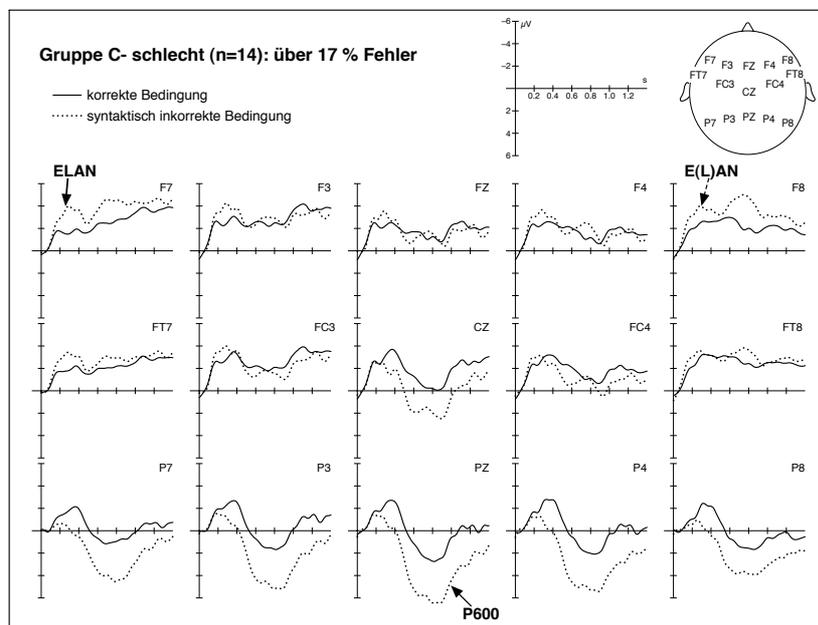


Abbildung 4.7: Vergleich der EKPs für syntaktisch inkorrekte und korrekte Sätze für die n=14 Probanden mit mehr als 17 % Fehlern im Prosodievortest (Gruppe C - schlecht).

Die Ergebnisse der entsprechenden Subanalysen sind in Tabelle 4.5 im Überblick dargestellt. Es wurden folgende Unterschiede in den EKPs zwischen den Prosodiegruppen im ELAN-Zeitfenster gefunden:

- Für Gruppe A (gute Leistung im Prosodievortest, weniger als 3 % Fehler) war die ELAN über links-antereoren Elektroden mit einer geringeren Amplitude als in den beiden anderen Gruppen ($\Delta=-0.76\mu\text{V}$) lediglich marginal signifikant.
- In Gruppe B (mittlere Leistung im Prosodievortest, zwischen 3 und 17 % Fehler) hingegen erreichte die ELAN im links-antereoren ROI die Signifikanzschwelle und war bezüglich ihrer Amplitude ($\Delta=-1.19\mu\text{V}$) vergleichbar zu den Befunden vorhergehender Studien (vgl. Hahne, 1998).
- Gruppe C (schlechte Leistung im Prosodievortest, über 17 % Fehler) schließlich zeigte sowohl eine reliable links-antereore ELAN ($\Delta=-1.19\mu\text{V}$), als auch einen marginalen ELAN-Effekt über rechts-antereoren Elektroden ($\Delta=-0.72\mu\text{V}$).

Tabelle 4.5: Ergebnisse der Analysen für die Variable SYNTAX auf ROI-Ebene für jede der drei Probandengruppen im Zeitfenster 150-350 ms ($dF=1,13$).

		linke Hemisphäre			rechte Hemisphäre		
		gut (A)	mittel (B)	schlecht (C)	gut (A)	mittel (B)	schlecht (C)
anterior	F	3.48	5.41	6.88	<1	<1	3.26
	p	=.08	<.05	<.05			=.09
posterior	F	<1	<1	2.37	<1	<1	3.49
	p			=.15			=.08

Dieses Muster lässt sich gut anhand der in Abbildung 4.8 dargestellten EKP-Maps zusammenfassen, welche die Unterschiede zwischen den drei Prosodiegruppen im ELAN-Zeitfenster verdeutlichen. Um auszuschliessen, dass die differierenden Topografien der ELAN-Effekte zwischen den Prosodiegruppen durch Unterschiede in der primären akustischen Verarbeitung bedingt sein könnten, wurde für alle drei Gruppen der N1-P2-Komplex (siehe Abschnitt 2.1) in einem Zeitfenster von 0 bis 500 ms bezogen auf den Beginn des Satzes

analysiert (Baseline -100 bis 0 ms). In Anlehnung an Sanders und Neville (2003) wurden die mittleren EKP-Amplituden im Zeitfenster der N1 (70 bis 130 ms bezogen auf den Satzanfang) und der P2 (170-230 ms bezogen auf den Satzanfang) ermittelt. Jeweils durchgeführte globale Analysen mit der experimentellen Variable SYNTAX und den topografischen Variablen ergaben keinerlei Interaktionen mit dem Zwischensubjektfaktor PROSODIEGRUPPE (alle $p > .11$).

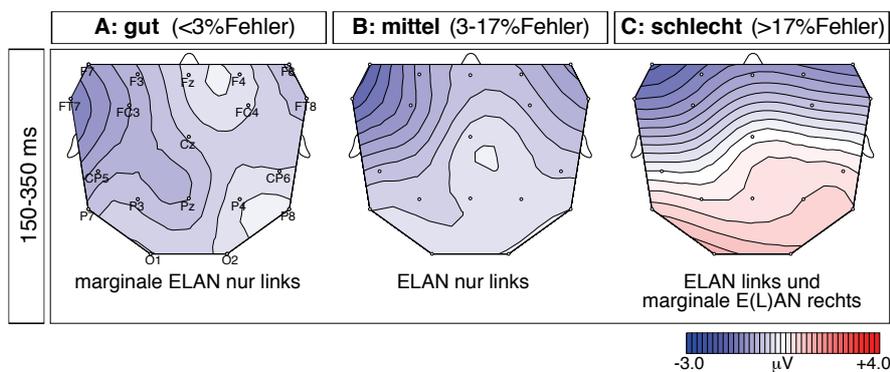


Abbildung 4.8: Die topografischen Maps wurden auf Basis der Differenzkurven der syntaktischen Bedingung minus der korrekten Bedingung für jede der drei Prosodiegruppen (mit guten, mittleren oder schlechten Beurteilungsleistungen im Prosodievortest) im frühen Zeitfenster (150-350 ms) erstellt.

4.4 Diskussion

In Experiment 1 sollte innerhalb eines differentiellen Vorgehens geprüft werden, ob sich bei der Lateralisierung der ELAN-Komponente ein Zusammenhang zu prosodischen Verarbeitungsprozessen finden lässt. Dazu wurden die Probanden im EEG-Experiment entsprechend ihrer Fehlerraten in einer zuvor durchgeführten prosodischen Beurteilungsaufgabe in drei Gruppen unterteilt: Gruppe A (<3 % Fehler), Gruppe B (3-17 % Fehler) und Gruppe C (>17 % Fehler). In der Gesamtstichprobe riefen die präsentierten syntaktisch inkorrekten Sätze im EKP eine frühe Negativierung zwischen 150 und 350 ms über links-anterioren Elektroden sowie tendenziell auch über rechts-anterioren Elektroden hervor. Die frühe Negativierung in Reaktion auf einen Wortkategoriefehler wird aufgrund ihrer Latenz und ihrer Topogra-

fie als ELAN interpretiert. Im Anschluss trat zwischen 400 und 1000 ms eine posteriore Positivierung auf, welche als P600-Effekt angesehen wird. Damit repliziert Experiment 1 die Befunde aus früheren Studien, welche dasselbe Satzmaterial verwendeten und für die enthaltene Wortkategorieverletzung in der syntaktisch inkorrekten Bedingung ebenfalls ein ELAN-P600-Muster berichteten. *Hypothese 1* kann somit klar bestätigt werden.

Darüber hinaus zeigten sich in den EKPs Unterschiede in der Lateralisierung des ELAN-Effekts zwischen den auf Basis der Leistungen im Prosodievortest unterschiedenen Probandengruppen: Während bei Probanden mit guten Leistungen im Prosodievortest (Gruppe A) eine ELAN über der linken Hemisphäre lediglich marginal signifikant wurde, zeigten Probanden mit mittleren Leistungen im Prosodievortest (Gruppe B) eine reliable ELAN über links-anterioren Elektroden. Probanden mit schlechten prosodischen Leistungen im Vortest (Gruppe C) hingegen wiesen eine ELAN sowohl über der linken als auch tendenziell über der rechten Hemisphäre auf. Weitere Gruppeneinteilungen entsprechend des Geschlechts bzw. der Arbeitsgedächtniskapazität der Probanden konnten hingegen keine Unterschiede in der topografischen Verteilung der ELAN aufdecken. Auch fanden sich keine Anhaltspunkte für primär akustische Verarbeitungsunterschiede zwischen den Probanden der drei Prosodiegruppen (keine Unterschiede im N1-P2-Komplex).

Pakulak und Neville (2004) fanden ebenfalls interindividuelle Unterschiede zwischen Probanden im Zusammenhang mit der topografischen Verteilung der ELAN-Komponente. Die Autoren präsentierten englische Sätze mit einem Wortkategoriefehler, und verglichen die EKP-Muster von Probanden mit hohen und niedrigen Sprachfähigkeiten (erhoben innerhalb eines Sprachleistungstests für Erwachsene) miteinander. Pakulak und Neville berichteten, dass Probanden mit guten Leistungen im Sprachtest eine links-lateralisierte frühe Negativierung zeigten, während sie bei Probanden mit schlechten Leistungen im Sprachtest eine frühe Negativierung über anterioren Arealen der linken und rechten Hemisphäre beobachteten. Die zusätzliche Aktivierung rechts-hemisphärischer Areale bei Probanden mit schlechten Sprachleistungen interpretierten die Autoren als Indikator einer breiter verteilten neuronalen Aktivität, welche die zusätzliche Aktivierung neuronaler Areale zur Kompensation geringerer Verarbeitungsressourcen reflektiert (s.a. Just, Carpenter, & Keller, 1996). Die

Ergebnisse der vorliegenden Arbeit können in diese Sichtweise eingeordnet werden, gehen jedoch über die Vermutung geringerer allgemeinsprachlicher Leistungen als Ursache für die unterschiedlichen Verteilungen der ELAN hinaus und stellen die Verarbeitung prosodischer Information als kritisch heraus.

Das in Experiment 1 der vorliegenden Arbeit beobachtete EKP-Muster kann als Indiz für den in *Hypothese 2* vermuteten Zusammenhang zwischen den prosodischen Beurteilungsleistungen der Probanden und der Ausprägung der ELAN angesehen werden. Dabei spezifizieren die vorliegenden Ergebnisse die Richtung dieses Zusammenhang, da die neuronalen Aktivierung bei Probanden mit geringeren Leistungen bei der prosodischen Beurteilungsaufgabe breiter verteilt war und zusätzlich rechts-anteriore Regionen umfasste. Besonders die Beteiligung der rechten Hemisphäre könnte auf geringere Verarbeitungsressourcen dieser Probanden bei der prosodischen Analyse hindeuten (siehe Abschnitt 2.5). Über die funktional zugrundeliegenden Unterschiede zwischen den Gruppen kann anhand der vorliegenden Daten jedoch nur spekuliert werden: Ausgehend von dem beobachteten EKP-Muster kann vermutet werden, dass Probanden mit guten prosodischen Fähigkeiten für die prosodische Verarbeitung nur geringe Ressourcen benötigen, und dass deren effiziente prosodische Analyse die syntaktische Verarbeitung des Wortkategoriefehlers erleichtert (Gruppe A: marginale links-hemisphärische ELAN). Bei geringeren prosodischen Fähigkeiten der Probanden erfährt die syntaktische Analyse möglicherweise weniger Unterstützung durch prosodische Prozesse (Gruppe B: links-hemisphärische ELAN). bzw. prosodische Prozesse benötigen sogar erhöhte Systemressourcen, was sich in erhöhter rechts-hemisphärischer Aktivität reflektieren könnte (Gruppe C: ELAN links- und rechts-hemisphärisch).

Dennoch bieten die Befunde aus Experiment 1 lediglich indirekte Evidenz für die Arbeitshypothese bezüglich der Relation von Prosodie und Syntax, da erstens die in den einzelnen Gruppen beobachteten EKP-Effekte teilweise nur marginale Signifikanz erreichten, und zweitens die Variablen Prosodie und Syntax in Experiment 1 nicht separat voneinander manipuliert worden waren.

Kapitel 5

Experiment 2: RAN und P600 - Späte Interaktion von Prosodie und Syntax (Satzende)

5.1 Fragestellung und Hypothesen

In Experiment 1 konnte demonstriert werden, dass Probanden mit verschiedenen prosodischen Beurteilungsleistungen Unterschiede in den EKPs in Reaktion auf eine Wortkategorieverletzung zeigen, wenn gleichzeitig eine prosodische Inkongruenz vorliegt. Dieses Resultat stützt die auf linguistischen Annahmen zur Rolle von Prosodie beim Sprachverstehen (siehe Abschnitt 1.4) basierende Hypothese über ein Zusammenspiel phrasaler Prosodie und syntaktischer Phrasenstruktur bei der Sprachverarbeitung.

Ziel des zweiten Experiments war es direkt zu überprüfen, ob prosodische und syntaktische Informationen bei der Strukturerstellung interagieren und wenn dies zutrifft, wie sich der Zeitverlauf dieser Interaktion darstellt. Dafür wurde in Experiment 2 wiederum ein Verletzungsparadigma gewählt, in dem nun sowohl Prosodie als auch Syntax systematisch variiert wurden. Im Hinblick auf die prosodische Manipulation sollten ausgehend von Experiment 1 zwei mögliche Typen von prosodischer Inkongruenz überprüft werden

- *Prosodische Inkongruenz Typ I.* Erstens könnte in Experiment 1 das satzfinale Partizip „gefüttert“ durch das Herausschneiden des Nomens („Gebrumm“) als prosodisch unerwartetes Satzende aufgefasst werden.
- *Prosodische Inkongruenz Typ II.* Zweitens könnte die in Experiment 1 vorliegende prosodische Inkongruenz auch dadurch charakterisiert werden, dass das Herausschneiden des Nomens „Gebrumm“ aus der Präpositionalphrase als Fehlen eines bestimmten prosodisch antizipierten Elements interpretiert wird.

Um genauer zu beleuchten, unter welchem der beiden Blickwinkel die prosodische Inkongruenz in Experiment 1 wahrgenommen und verarbeitet worden sein könnte, wurden in Experiment 2 zwei verschiedene syntaktische Strukturen verwendet, in denen beide Typen prosodischer Inkongruenz getrennt voneinander auf dem vorletzten bzw. letzten Wort im Satz realisiert werden konnten.

Für die syntaktische Manipulation wurde basierend auf der Beobachtung der P600-Komponente bei einer Vielzahl syntaktischer Verletzungen (siehe Abschnitt 2.2) erwartet, dass syntaktisch inkorrekte Sätze im EKP zu einer späten Positivierung führen sollten:

- *Hypothese 1:* Die verwendeten syntaktischen Verletzungen sollten im EKP im Vergleich zu syntaktisch korrekten Sätzen zu einer P600 führen.

Ausgehend von dem Befund einer zunehmenden Involvierung rechts-anteriorer Gehirnareale bei Probanden mit geringeren prosodischen Beurteilungsfähigkeiten in Experiment 1 und der allgemein in der Literatur vorgefundenen Beobachtung, dass phrasale Prosodie häufig mit der rechten Hemisphäre in Verbindung gebracht wird (siehe Abschnitt 2.5), kann vermutet werden, dass ein direktes EKP-Korrelat für eine prosodische Inkongruenz auf prosodischer Ebene rechts-lateralisiert sein sollte. Weiterhin kann anhand von Befunden über den Einfluss prosodischer Inkongruenzen auf die Worterkennung (siehe Abschnitt 2.3) spekuliert werden, dass ein inadäquates prosodisches Muster auch auf der lexikalischen Ebene zu Verarbeitungsschwierigkeiten führen könnte, was sich in einer Modulation der N400-Komponente reflektieren würde.

- *Hypothese 2:* Das EKP-Korrelat einer rein prosodischen Verletzung sollte eine rechts-laterale Verteilung aufweisen. Weiterhin könnten infolge der prosodischen Manipulation auftretende lexikalische Verarbeitungsschwierigkeiten zu einer Modulation der N400-Komponente führen.

Drittens stand im Mittelpunkt der Fragestellung für Experiment 2, ob mögliche EKP-Effekte für syntaktische und prosodische Inkongruenzen Hinweise auf eine Interaktion zwischen prosodischer und syntaktischer Information liefern würden.

- *Hypothese 3:* Wenn prosodische und syntaktische Informationen beim Sprachverstehen miteinander interagieren, sollte sich dies in einer Modulation der jeweils relativen EKP-Effekte spiegeln.

5.2 Methoden

5.2.1 Versuchsdesign und Satzmaterial

Das Design in Experiment 2 beinhaltete die Manipulation der drei jeweils zweifach gestuften experimentellen Variablen SYNTAX, PROSODIE und STRUKTUR (vgl. Tabelle 5.1). Daraus resultierten acht experimentelle Bedingungen (Bedingungspaare 1 bis 4, siehe Tabelle 5.1), wobei in jeder Bedingung 48 Sätze nach dem folgenden Schema erstellt wurden.

Innerhalb eines komplexen Satzgefüges aus Matrixsatz und untergeordnetem Satz wurde durch die Verwendung des Brückenverbs „wissen“ im Matrixsatz die Konstruktion zweier grammatischer Strukturen möglich: einerseits erlaubt ein Brückenverb einen eingebetteten Nebensatz mit „dass“, in dem das Verb an letzter Position im Satz steht („Vf“, siehe Tabelle 5.1, Bedingung 1: „Peter weiß, dass der Onkel Kuchen backt.“). Andererseits lizenziert ein Brückenverb auch ein Hauptsatzkomplement, welches nicht von einer Konjunktion eingeleitet wird und in dem das Verb an zweiter Position auftritt („V2“, siehe Tabelle 5.1, Bedingung 3: „Peter weiß, der Onkel backt Kuchen.“). Diese beiden grammatischen Strukturen erlauben es, die Position des kritischen Wortes „Kuchen“ zu variieren, so dass es entweder in vorletzter oder letzter Position des Satzes vorkam (Variable: STRUKTUR).

Auf beiden Positionen im Satz wurde die Variable PROSODIE variiert, indem das kritische Wort entsprechend seiner Position im Satz entweder passende prosodische Markierungen besaß (PROSODIE: kongruent, alle a-Bedingungen in Tabelle 5.1) oder mit der aktuellen Position unvereinbare prosodische Merkmale aufwies (PROSODIE: inkongruent, alle b-Bedingungen in Tabelle 5.1). Dabei wurde die prosodische Inkongruenz Typ I auf dem kritischen Wort in vorletzter Position des Satzes und Typ II auf dem kritischen Wort am Satzende realisiert.

Die Variable SYNTAX wurde folgendermaßen variiert: In syntaktisch inkorrekten V2-Sätzen erschien das Verb fälschlicherweise an letzter Position im Satz (siehe Tabelle 5.1: Bedingung 2)²³. In syntaktisch inkorrekten Vf-Sätzen fehlte das satzfinale Verb gänzlich (siehe Tabelle 5.1, Bedingung 4).

Tabelle 5.1: Übersicht über die verwendeten experimentellen Bedingungen in Experiment 2. Die Farben korrespondieren zu den jeweiligen Quellsätzen, denen die einzelnen Wörter entnommen wurden (siehe Tabelle 5.2). Das kritische Wort für die Auswertung der EKPs ist unterstrichen. Abkürzungen: Bed=Bedingung, korr=korrekt, syn=syntaktisch inkorrekt, pros=prosodisch inkongruent, V2=Verbzweitstellung, Vf=Verb satzfinal.

Bed	Struktur	Syntax	Prosodie	Beispiel
1a	Vf	korr	korr	Peter weiß, dass der Onkel <u>Kuchen</u> backt.
1b#	Vf	korr	pros	Peter weiß, dass der Onkel <u>Kuchen</u> backt.
2a*	V2	syn	korr	<u>Peter weiß, der</u> Onkel <u>Kuchen</u> backt.
2b*#	V2	syn	pros	<u>Peter weiß, der</u> Onkel <u>Kuchen</u> backt.
3a	V2	korr	korr	<u>Peter weiß, der</u> Onkel <u>backt</u> <u>Kuchen</u> .
3b#	V2	korr	pros	<u>Peter weiß, der</u> Onkel <u>backt</u> <u>Kuchen</u> .
4a*	Vf	syn	korr	Peter weiß, dass der Onkel <u>Kuchen</u> .
4b*#	Vf	syn	pros	Peter weiß, dass der Onkel <u>Kuchen</u> .

Der Matrixsatz jedes Satzgefüges bestand in allen Bedingungen aus einem Eigennamen gefolgt vom Brückenverb „weiß“. Das Vorgehen, in allen Bedingungen dieselben lexikalischen Items zu benutzen, führte zu einer maximalen Reduktion der Variabilität bezüglich

²³Um eine syntaktische Verletzung in Bedingungspar 2 zu realisieren und gleichzeitig das kritische Wort in vorletzter Satzposition zu belassen, wurde diese Wortstellungsvariation gewählt. Bedingt dadurch konnte jedoch bei syntaktisch inkorrekten V2-Sätzen (Bedingungspar 2) in den EKPs lediglich der Effekt der Variable PROSODIE geprüft werden, da für die syntaktische Verletzung selbst keine korrekte Vergleichsbedingung vorhanden war, in der die lexikalischen Elemente bis zum kritischen Wort vergleichbar waren.

lich kontextueller und lexikalischer Einflüsse auf die Verarbeitung des kritischen Wortes bei gleichzeitiger größtmöglicher Kontrolle potentieller prosodischer Einflüsse. Dies wog meines Erachtens nach schwerer als der Nachteil, dass das Stimulusmaterial hierdurch eine erhöhte Monotonie aufwies, zumal Wiederholungseffekte durch die gewählte Randomisierung reduziert wurden. Die Verwendung nur eines einzigen Brückenverbs war auch deshalb notwendig, um eine potentielle Konfundierung durch ungleiche frequenzbasierte Erwartungen bezüglich der möglichen syntaktischen Struktur zu vermeiden, da im Deutschen unterschiedliche Brückenverben (z.B. wissen, glauben, meinen, sagen usw.) mit unterschiedlicher Häufigkeit in den beiden interessierenden Satzstrukturen (V2, Vf) verwendet werden, hierzu jedoch nach meinem Kenntnisstand keine genauen Untersuchungen vorliegen.

Der untergeordnete Satz enthielt das kritische Wort, welches von einem transitiven Verb (ein- oder zweisilbig) als Akkusativobjekt subkategorisiert wurde. Alle kritischen Wörter waren zweisilbig und erstbetont. Als Nomen für die Subjektposition des untergeordneten Satzes wurden Wörter mit maskulinen oder neutralen grammatischen Geschlecht verwendet, um eindeutige Kasusmarkierungen zu erhalten und so Ambiguitäten auf thematischer Ebene auszuschließen.

5.2.2 Produktion des Stimulusmaterials

Eine professionelle Sprecherin produzierte zunächst zwei Varianten aller korrekten Sätze. Die digitale Aufzeichnung der produzierten Sätze erfolgte in einer Schallschutzkabine mit einer Abtastrate von 44 kHz (16 bit Auflösung). Zusätzlich wurden weitere vier verschiedene Satzstrukturen produziert, mit deren Hilfe unter Verwendung der Splicing-Technik prosodisch und/ oder syntaktisch inkorrekte Sätze konstruiert wurden. Alle Sätze wurden mit gleichbleibender Geschwindigkeit und möglichst neutraler Betonung (d.h. weiter Satzfokus, Satzphrasenakzente auf dem Verb des Matrixsatzes und auf dem Subjekt des untergeordneten Satzes) ausgesprochen.

Die weitere Bearbeitung der Audiodateien erfolgte mittels der Software „COOL Edit 2000“ zur Soundeditierung. In einem ersten Verarbeitungsschritt wurden zunächst alle auf-

gezeichneten Sätze auf ein vergleichbares Intensitätsniveau gebracht (Normalisierung der Amplitude).

Tabelle 5.2: Quellsätze, aus denen alle acht experimentellen Bedingungen zusammengeschnitten wurden. Die Farben korrespondieren zu den jeweils für die Experimentalsätze verwendeten Teilen (siehe Tabelle 5.1). Um Koartikulationseffekte auszuschließen, wurden in allen Quellsätzen der Nummer 6 Pseudowörter als Subjekt des untergeordneten Satzes verwendet, deren Wortende mit dem jeweiligen Verb identisch war.

Quellsätze	Beispiel
1	Peter weiß, dass der Onkel Kuchen backt.
2	Peter weiß, dass der Onkel Kuchen backt.
3	Seit gestern backt der Onkel Kuchen.
4	Peter weiß, der Onkel backt Kuchen.
5	Peter weiß, der Onkel backt Kuchen.
6	Peter weiß, dass der Olackt Kuchen backt.

Um die prosodisch inkongruenten Varianten syntaktisch korrekter Sätze zu erzeugen, wurde ein in vorletzter Satzposition produziertes kritisches Wort ersetzt durch dasselbe lexikalische Item, welches jedoch in satzfinaler Position produziert worden war (prosodische Inkongruenz Typ I) - und umgedreht (prosodische Inkongruenz Typ II). Um bei sämtlichen Splicing-Vorgängen unerwünschte koartikulatorische Effekte auszuschließen, wurde sichergestellt, dass alle phonologischen Übergänge an Splicing-Stellen maximal miteinander kompatibel waren. Um weiterhin auszuschließen, dass möglicherweise beobachtbare Effekte der prosodischen Inkongruenz theoretisch allein auf die Splicing-Prozedur zurückgeführt werden könnten, wurde die Splicing-Technik auch bei allen korrekten Sätzen angewandt (indem das kritische Wort aus einer zweiten, identischen Variante des korrekten Satzes entnommen wurde). Die Identifikation der jeweiligen Positionen im Sprachsignal, an denen geschnitten werden sollte, erfolgte mittels millisekundengenaue auditiver Inspektion der Audiodatei unter visueller Kontrolle von Oszillogramm und Spektrogramm. Geschnitten wurde immer an Positionen im Sprachsignal, an denen der Amplitudenwert auf 0 lag.

Syntaktisch inkorrekte Vf-Sätze wurden erzeugt, indem das satzfinale Verb weggeschnitten wurde (Bedingung 4, siehe Tabelle 5.1). Um syntaktisch inkorrekte V2-Sätze zu erhalten,

wurden die V2-Sätze vor dem Subjekt des untergeordneten Satzes (nach dem Artikel) abgeschnitten und das Subjekt, das kritische Wort sowie das satzfinale Verb aus den Vf-Sätzen angehängt (Bedingung 2, siehe Tabelle 5.1)²⁴. Auch für die beiden syntaktisch inkorrekten Bedingungen wurden sowohl prosodisch kongruente als auch inkongruente Versionen nach demselben Schema erzeugt.

5.2.3 Akustische Analysen

Um sicherzustellen, dass das kritische Wort in allen Experimentalbedingungen die angestrebten prosodischen Charakteristika aufwies, wurden verschiedene akustische Parameter ermittelt. Da zwischen Wörtern mit und ohne satzfinaler prosodischer Markierung kontrastiert werden sollte, waren insbesondere akustische Parameter von Interesse, über die Intonationsphrasengrenzen (IPhs) realisiert werden, da diese (unter anderem) das Ende eines Satzes signalisieren. In der Literatur finden sich übereinstimmend Angaben dazu, dass IPhs im wesentlichen durch drei Charakteristika gekennzeichnet sind: durch eine Längung des Wortes unmittelbar vor der IPh (präfinale Dehnung insbesondere der letzten Silbe), durch einen Grenzton in der Grundfrequenz und durch eine Pause²⁵. Da in der vorliegenden Studie durch die Splicing-Prozedur die Pausen nicht relevant waren, wurden die Dauer der einzelnen Wörter im Satz und deren Grundfrequenzverlauf ermittelt. Alle akustischen Analysen wurden mit der Spracheditierungssoftware „PRAAT“ (Version 4.2) durchgeführt (Boersma & Weenink, 2001).

²⁴Dieses Vorgehen führte jedoch zu einer zusätzlichen Splicing-Stelle vor dem Subjekt des untergeordneten Satzes in Bedingungs paar 2 im Vergleich zu den anderen Bedingungs paaren. Um zu überprüfen, ob diese zusätzliche Splicing-Stelle den Sprachverstehensprozess in Bedingungs paar 2 bereits vor dem kritischen Wort beeinflussen könnte, wurden die EKPs auf dem Subjekt des untergeordneten Satzes für Bedingungs paar 3 (keine zusätzliche Splicing-Stelle) und Bedingungs paar 2 (zusätzliche Splicing-Stelle vor dem Subjekt) verglichen. Jedoch zeigten sich für diesen Vergleich keinerlei Unterschiede in den EKPs: weder visuelle Inspektion noch statistische Analysen ergaben in den EKPs vor dem kritischen Wort irgendeine Abweichung zwischen den Bedingungs paaren 2 und 3.

²⁵Dabei sind nicht alle möglichen prosodischen Merkmale zur Markierung von IPhs notwendig. Beispielsweise fanden Steinhauer und Kollegen (Steinhauer et al., 1999) den CPS als ERP-Korrelat von Intonationsphrasengrenzen auch dann noch, wenn die Pausen entfernt worden waren (siehe auch Abschnitt 1.3).

Daueranalysen Zunächst wurden der Zeitpunkt für Anfang und Ende eines jeden Wortes in jedem Satz aller acht experimentellen Bedingungen mittels auditorischer Inspektion des Sprachsignals und visueller Inspektion von Oszillogramm und Spektrogramm bestimmt. Die Wortlänge wurde als Differenz zwischen Wortende und Wortanfang berechnet sowie Mittelwerte und Standardabweichung der Wortlängen für jedes Element im Satz über alle 48 Items pro Bedingung ermittelt (siehe Abbildung 5.1).

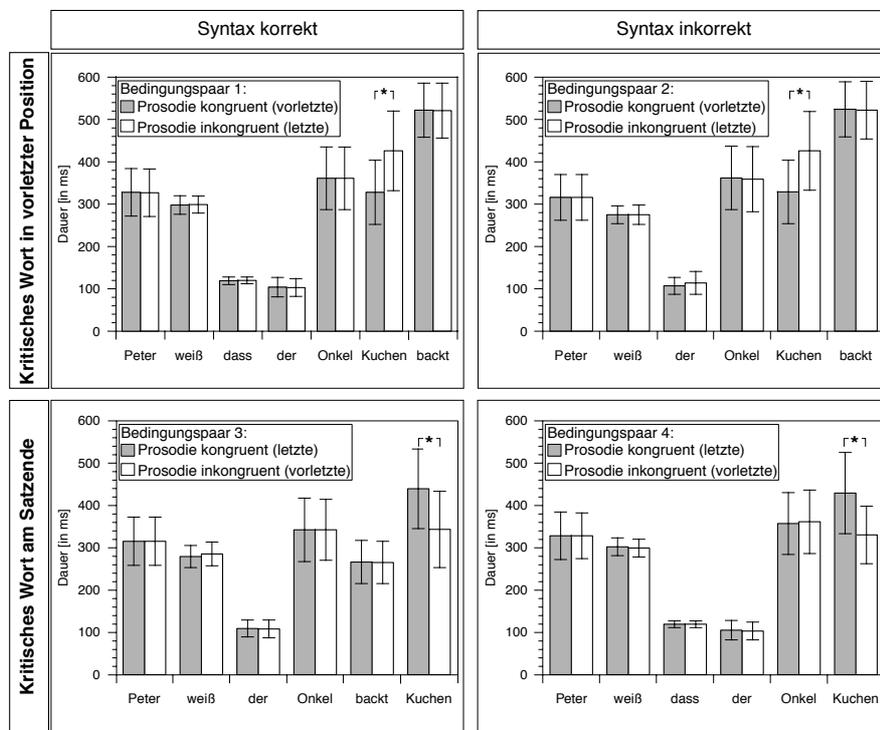


Abbildung 5.1: Paarweise Darstellung der mittleren Wortlängen für jedes Element in jedem der vier Bedingungs-paare in Experiment 2. Ein * zeigt statistisch signifikante Unterschiede an.

Um den Einfluss der prosodischen Manipulation zu überprüfen, wurden für jedes der vier Bedingungs-paare für jedes Element separat paarweise t-Tests zwischen der prosodisch kongruenten (a) und prosodisch inkongruenten (b) Bedingung gerechnet. Dabei wurden signifikante Unterschiede in den Wortlängen ausschließlich auf dem jeweils kritischen Wort beobachtet (siehe Tabelle 5.3).

Die statistischen Analysen des Dauerparameters bestätigen, dass kritische Wörter mit satzfinaler prosodischer Markierung signifikant länger waren als kritische Wörter, die in vorletzter Satzposition produziert worden waren. Dieser Befund entspricht den Erwartungen, da Wortlänge eines der Hauptmerkmale von IPhs ist.

Tabelle 5.3: Mittlere Wortlängen des kritischen Wortes (dur in ms) für jede der acht experimentellen Bedingungen in Experiment 2 und Ergebnisse der paarweisen t-Tests.

Bedingung	dur	t	p
1a	328	-15.2	<.001
1b#	425		
2a*	331	-16.0	<.001
2b*#	432		
3a	439	14.6	<.001
3b#	343		
4a*	431	13.1	<.001
4b*#	330		

Grundfrequenzanalysen Für die Analyse der Grundfrequenz wurden die F0-Werte an vier verschiedenen Punkten bestimmt: Onset, Maximum, Minimum und Offset der F0-Kontur eines jeden Wortes. Mit diesen vier Punkten können die wichtigsten Charakteristika des Grundfrequenzverlaufs auf jedem einzelnen Wort erfasst werden (z.B. steigender Ton, fallender Ton, Levelton etc.). Gleichzeitig ist dieses Vorgehen geeignet, ein gemeinsames Intonationsmuster trotz unterschiedlicher absoluter Wortlängen einzelner Wörter zu extrahieren. Die Berechnung der Grundfrequenz erfolgte mit Hilfe eines Autokorrelationsalgorithmus in einem Frequenzbereich von 75 bis 500 Hz (siehe Abbildung 5.2). Um den Einfluss der prosodischen Manipulation auf die F0-Kontur zu überprüfen, wurden für jedes der vier Bedingungs-paare für jedes Wort und jede der vier ermittelten F0-Werte separat paarweise t-Tests gerechnet, um prosodisch kongruente (a) und prosodisch inkongruente (b) Bedingungen zu vergleichen. Auch hier wurden signifikante Unterschiede ausschließlich auf dem jeweils kritischen Wort beobachtet (siehe Tabelle 5.4).

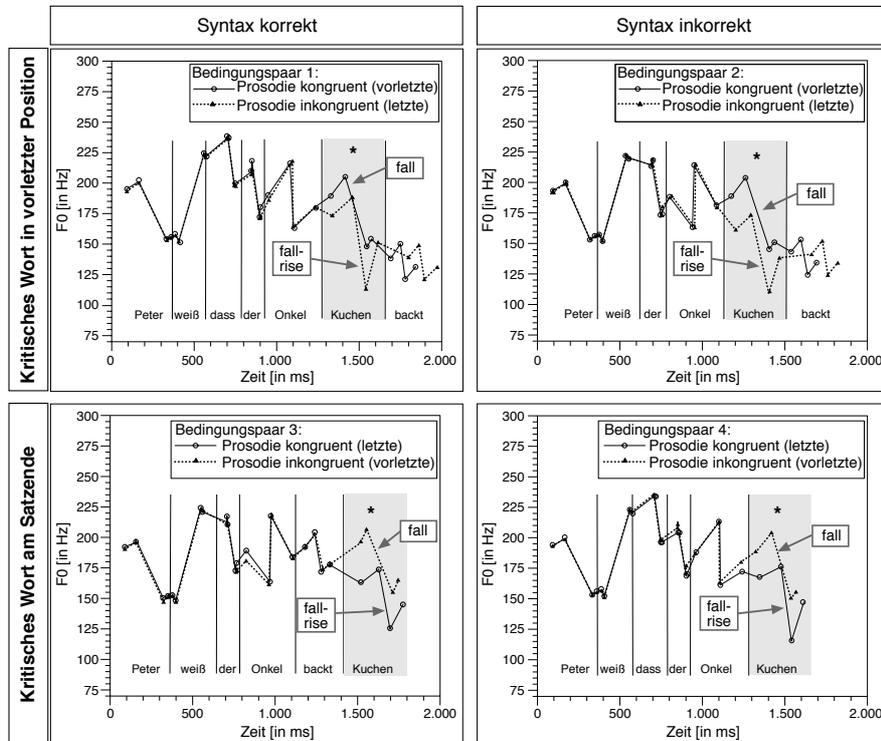


Abbildung 5.2: Darstellung der mittleren Grundfrequenzwerte an Onset, Maximum, Minimum und Offset (und deren mittlere Zeitpunkte) der F0 jedes Wortes aller acht experimentellen Bedingungen in Experiment 2. Für jedes Bedingungsgruppe wurde der Satz mit dem in letzter Position des Satzes produzierten kritischen Wort kontrastiert zu dem Satz, der das in vorletzter Satzposition produzierte kritische Wort enthielt. Ein * zeigt statistisch signifikante Unterschiede an.

Die statistischen Analysen ergaben, dass in allen vier Bedingungsgruppen in der Grundfrequenz signifikante Unterschiede zwischen prosodisch kongruentem und inkongruentem kritisches Wort bestehen. Dabei zeigte sich wie erwartet, dass die in letzter Position des Satzes produzierten kritischen Wörter generell niedrigere Grundfrequenzwerte aufwiesen und darüber hinaus einen bitonalen Grundfrequenzverlauf aus fallendem und steigendem Ton („fall-rise“) beschrieben. Letzterer kann als Grenzton aufgefasst werden kann, welcher zu den typischen Charakteristika einer IPH gehört (Beckman, 1996).

Tabelle 5.4: Mittlere Grundfrequenzwerte (F0) des kritischen Wortes für jede der acht experimentellen Bedingungen in Experiment 2 und Ergebnisse der paarweisen t-Tests.

Bed	Wortonset			Maximum			Minimum			Wortoffset		
	F0	t	p	F0	t	p	F0	t	p	F0	t	p
1a	183	3.6	.001	198	1.9	.06	145	4.6	<.001	150	<1	.78
1b#	170			185			116			147		
2a*	184	6.3	<.001	196	6.5	<.001	146	5.9	<.001	151	1.1	.28
2b*#	157			171			115			142		
3a	153	-7.9	<.05	176	-2.5	<.05	124	-7.9	<.001	154	-1.2	.23
3b#	190			199			160			168		
4a*	167	-4.5	<.001	174	-5.8	<.001	112	-6.8	<.001	144	-2.3	<.05
4b*#	185			199			154			159		

Im Gegensatz dazu wiesen in vorletzter Satzposition produzierte kritische Wörter durchgängig höhere Grundfrequenzwerte auf, und beschrieben eine monotone F0-Kontur mit einem fallenden Ton („fall“)²⁶.

Zusammenfassend signalisierten die in letzter Position des Satzes produzierten kritischen Wörter (Bedingungen 1b, 2b, 3a und 4a) sowohl über ihre Länge als auch über ihren F0-Verlauf (bitonaler fall-rise mit Grenzton) eine IPh. Im Gegensatz dazu zeigten die in vorletzter Satzposition produzierte kritischen Wörter (Bedingungen 1a, 2a, 3b und 4b) typische prosodische Merkmale einer satzmedialen Position. Damit belegen die akustischen Analysen, dass die angewandte Splicing-Technik in allen vier Bedingungs-paaren die intendierte prosodische Manipulation erzielt hatte.

²⁶Die Beschreibung der verschiedenen Grundfrequenzverläufe beruht nicht allein auf den Ergebnissen der statistischen Analysen, sondern zusätzlich wurden die mittleren Differenzen zwischen Maxima und Minima, Minima und Offset ermittelt mit dem Ziel einzuschätzen, ob die statistisch gefundenen Grundfrequenzunterschiede auch in der Perzeption der Tonhöhe relevant sein könnten. Als Annäherung hierzu wurde die Annahme zur Perzeptionsschwelle von Rietveld und Gussenhoven (1985) zugrunde gelegt, nach der ein Tonhöhenunterschied dann als solcher vom Hörer wahrgenommen wird, wenn er 1/8 des Gesamtstimmumfangs eines Sprechers überschreitet. Alle beschriebenen Tonmuster entsprechen diesem Kriterium.

5.2.4 Versuchsdurchführung

Randomisierung Um Sequenzeffekte zu vermeiden und der Ausbildung von Verarbeitungsstrategien durch die Probanden vorzubeugen, wurde die Darbietungsreihenfolge der Experimentalsätze entsprechend der folgenden Kriterien in eine beschränkte Zufallsreihenfolge gebracht: Zwischen Sätzen desselben Satzblocks (insgesamt 48 Satzblöcke mit je acht Experimentalsätzen, in denen jeweils das gleiche kritische Wort vorkam) sollten mindestens 15 Sätze anderer Satzblöcke zu hören sein, um lexikalische Wiederholungseffekte zu reduzieren. Sätze der gleichen Experimentalbedingung sollten höchstens einmal aufeinander folgen dürfen. Weiterhin sollten nie mehr als drei aufeinander folgende Sätze die gleichen Merkmale bezüglich der experimentellen Variablen SYNTAX (korrekt vs. inkorrekt), PROSODIE (kongruent vs. inkongruent) oder STRUKTUR (Vf vs. V2) aufweisen. Dadurch wurden Gewöhnungseffekte bei der Aufgabe der Grammatikalitätsbeurteilung verringert. Entsprechend diesen Beschränkungen wurden drei pseudorandomisierte Präsentationslisten erstellt, welche in vier gleichgroße Blöcke mit jeweils 96 Sätzen unterteilt wurden. Dabei wurde sichergestellt, dass die verschiedenen Experimentalbedingungen in allen vier Blöcken gleich häufig auftraten. Weiterhin wurden für jede der drei Randomisierungslisten jeweils sieben weitere Sublisten erstellt, in denen die Reihenfolge der Satzblöcke identisch blieb, aber die jeweils anderen sieben Experimentalbedingungen systematisch durchrotiert wurden. Dies ergab insgesamt 24 Präsentationslisten, welche auf die Probanden verteilt wurden.

Darbietung Die Aufgabe der Probanden bestand darin, die Grammatikalität der gehörten Sätze zu beurteilen (richtig vs. falsch). Alle 384 Experimentalsätze wurden binaural über zwei Lautsprecher präsentiert. Die Probanden saßen dabei in einem bequemen Stuhl in einem Abstand von 90 cm vor einem 17" Computerbildschirm. Im Zeitraum zwischen 500 ms vor jedem Stimulus bis 3000 ms danach war auf der Mitte des Bildschirms ein Sternchen zu sehen, welches die Probanden fixieren sollten. Das Sternchen fungierte einerseits als Aufmerksamkeitsreiz, um einen neuen Stimulus anzukündigen, andererseits aber auch als Blickanker, um Augenbewegungen zu minimieren. Danach wurde ein Antwortbild (mit einem lachenden und einem weinenden Smile für richtige und falsche Sätze) eingeblendet. Erst jetzt sollten

die Probanden die Grammatikalität des jeweils zuvor gehörten Satzes anzeigen²⁷, indem sie eine von zwei möglichen Tasten („richtig“ vs. „falsch“) innerhalb einer maximalen Antwortzeit von 2000 ms drückten. Die Tastenbelegung war über Probanden hinweg ausbalanciert. Sobald die Probanden ihre Antwort abgegeben hatten oder die maximale Antwortzeit überschritten war, verschwand das Antwortbild. Nach einem Inter-Stimulus-Intervall (ISI) von 1500 ms begann dann der nächste Durchgang.

Die Probanden waren instruiert, insbesondere Augenbewegungen zu vermeiden, während das Sternchen auf dem Bildschirm zu sehen war, und erst zu blinzeln, nachdem sie ihre Antwort abgegeben hatten (während des ISI). Generell waren die Probanden angehalten, eine entspannte Sitzhaltung einzunehmen und sich möglichst wenig zu bewegen. Vor dem Beginn des Experiments bekam jeder Proband 15 Beispielsätze dargeboten, um sich mit der Präsentation und der Aufgabe vertraut machen zu können. Die Darbietung der Experimentalsätze war in vier Blöcke unterteilt, welche jeweils circa 12 Minuten dauerten. Zwischen den Blöcken wurde eine Pause von bis zu fünf Minuten eingelegt. Insgesamt dauerte das Experiment etwa 60 Minuten. Die gesamte Steuerung der experimentellen Präsentation und der Aufzeichnung der behavioralen Daten sowie die Markierung der Satzanfänge auf einem separaten EEG-Kanal wurde mit Hilfe der Software ERTS (Experimental Run Time System, Beringer 1996) realisiert.

Probanden An Experiment 2 nahmen 24 deutsche Muttersprachler (davon 12 Frauen) im Alter zwischen 20 und 28 Jahren (Mittel: 24;3 Jahre) teil. Alle Probanden waren rechtshändig (entsprechend Oldfield, 1971) und berichteten keinerlei neurologische oder sprachliche Beeinträchtigungen. Die Teilnahme am Experiment wurde mit 7,50 Euro/h vergütet.

Elektrophysiologische Ableitung und Datenaufzeichnung Die Messung und Aufzeichnung der EEG-Daten erfolgte weitgehend parallel zu Experiment 1 (siehe Abschnitt 4.2.4).

²⁷Die Verzögerung der Antwortabgabe diente dazu, mit der Antwort möglicherweise auftretende bewegungsrelatierte Einflüsse zeitlich nach hinten zu verlagern, da das kritische Wort in der Hälfte der Sätze in an letzter Stelle im Satz vorkam.

Um zentrale und temporale Regionen besser abzudecken, wurde das EEG im Unterschied zu Experiment 1 zusätzlich über den Elektroden T7/8 und C3/4 abgeleitet.

5.2.5 Datenanalyse

Da die Antwortabgabe zeitverzögert erfolgte, wurden für die Verhaltensdaten allein die Fehlerdaten ausgewertet. Die EEG-Daten wurden zunächst offline auf die virtuell verbundenen Mastoiden (A1+A2)/2 rereferenziert. Für die Berechnung der EKPs wurden nur korrekt beantwortete Durchgänge berücksichtigt. Im nächsten Auswertungsschritt wurden parallel zu Experiment 1 Artefakte im EEG markiert (automatisch mit einem cut-off-Wert von $30\mu V$ sowie manuell). Artefaktbehaftete Durchgänge wurden aus der weiteren Analyse ausgeschlossen (4,9 % der richtig beantworteten Durchgänge, kein signifikanter Unterschied zwischen den experimentellen Bedingungen). Die Satzanfänge wurden im EEG auf Basis der online registrierten ERTS-Markierungen identifiziert. Die jeweilige Position der einzelnen Worte in jedem Satz wurde nachträglich aus der Position der für die akustischen Analysen ermittelten Wortanfänge in der Audiodatei errechnet und im EEG markiert. Im Anschluss wurden die EKPs für jede experimentelle Bedingung und Elektrode separat im Zeitfenster von -100 ms bis 1400 ms mit einer prästimulus-Baseline zwischen -100 und 0 ms bezogen auf den Beginn des kritischen Nomens berechnet - zunächst pro Versuchsperson und dann über alle Versuchspersonen hinweg. Für alle graphischen Darstellungen wurde ein 8 Hz Tiefpass-Filter gewählt, alle statistischen Analysen wurden jedoch mit ungefilterten Daten gerechnet.

Die Zeitbereiche für die statistische Analyse der EKPs wurden auf Basis visueller Inspektion und ausgehend von den Ergebnissen sukzessiver 50-ms-Analysen festgelegt. Dabei wurde versucht, möglichst vergleichbare Zeitfenster für die einzelnen Bedingungspaare zu definieren. Es wurden vier Zeitfenster gewählt: 150-400 ms, 450-550 ms, 650-850 ms und 600-1200 ms. Neben den experimentellen Variablen wurden folgende topografischen Variablen in die Varianzanalysen mit Messwertwiederholung miteinbezogen: ELEKTRODE für die Mittellinienelektroden (FZ vs. CZ vs. PZ) bzw. HEMISPHERE (links vs. rechts) und REGION für die lateralen Elektroden. Da im Unterschied zu Experiment 1 vier weitere Elektroden erhoben wurden (T7/8, C3/4), wurde die Variable REGION in drei Stufen

unterteilt (anterior vs. temporo-zentral vs. posterior), um die Anzahl der Elektroden pro ROI konstant zu halten und einen Unterschied im Signal-Rausch-Verhältnis zwischen den ROIs zu vermeiden. Damit ergaben sich folgende sechs ROIs, welche jeweils drei Elektroden enthielten: links-anterior (F7, F3, FC3), rechts-anterior (F8, F4, FC4), links-temporo-zentral (T7, C3, CP5), rechts-temporo-zentral (T8, C4, CP6), links-posterior (P7, P3, O1) und rechts-posterior (P8, P4, O2). Nach den paarweisen Analysen für die Bedingungs-paare 1 bis 4 hinsichtlich der experimentellen Variable PROSODIE wurde auf Basis von EKP-Differenzkurven die Unabhängigkeit bzw. Interaktivität der beobachteten Effekte überprüft. Alle Analysen folgen einem hierarchischen Schema: Haupteffekte werden ab einem Signifikanzniveau von $p \leq .05$ interpretiert. Zusätzlich wird für signifikante Haupteffekte jeweils die entsprechende mittlere Differenz der EKPs zwischen den Bedingungen (Δ in μV) angegeben. Sobald eine Interaktion zwischen einer experimentellen Variable und einem oder mehreren topografischen Variablen das Signifikanzniveau $p \leq .05$ erreichte, werden entsprechende Subanalysen (pro Region oder Hemisphäre oder ROI) berechnet. Wann immer eine der enthaltenen Variablen mehr als zwei Zählerfreiheitsgrade aufwies, wurden korrigierte p-Werte berichtet (Geisser & Greenhouse, 1959).

5.3 Ergebnisse

5.3.1 Behaviorale Daten

Die allgemeine Performanz der Probanden beim Grammatikalitätsurteil war ausgesprochen gut: über Bedingungen hinweg wurden 98.83 % aller Sätze richtig beurteilt. Die über die Fehlerdaten gerechnete ANOVA mit Messwertwiederholung auf den Variablen STRUKTUR, PROSODIE und SYNTAX identifizierte einen reliablen Haupteffekt PROSODIE ($F(1,23) = 6.12, p < .05$), jedoch keine weiteren signifikanten Haupteffekte oder Interaktionen (alle $p > .19$). Obwohl für prosodisch inkongruente Sätze mit einer Fehlerrate von 1.6 % eine nur geringfügig schlechtere Beurteilungsleistung beobachtet wurde als bei prosodisch kongruenten Sätzen (Fehlerrate 1.0 %), weist dieses Ergebnis darauf hin, dass eine prosodische Inkongruenz unabhängig von anderen Variablen das Grammatikalitätsurteil generell erschwerte.

5.3.2 EKP-Daten

5.3.2.1 Paarweise Analysen

Bedingungs paar 1: Kritisches Wort in vorletzter Position des Satzes und Syntax korrekt (Prosodische Inkongruenz Typ I). Deskriptiv ließ sich in den EKPs für prosodisch inkongruente im Vergleich zu prosodisch kongruenten Wörtern in vorletzter Satzposition bei syntaktisch korrekten Sätzen eine kleine Negativierung um 800 ms beobachten (siehe Abbildung 5.3).

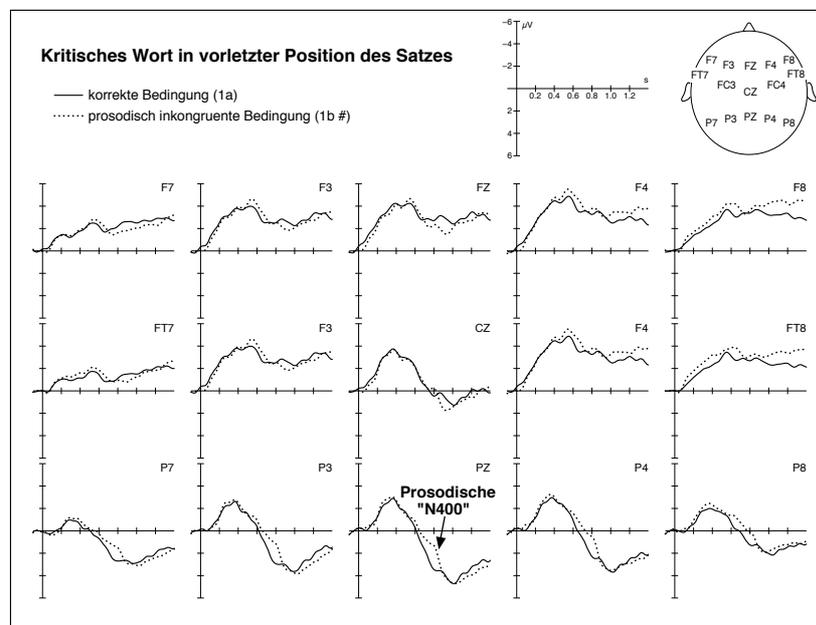


Abbildung 5.3: Paarweise Präsentation der gemittelten EKPs für Bedingungs paar 1 in Experiment 2. Die durchgezogene Linie zeigt die prosodisch kongruente Bedingung und die gepunktete Linie die prosodisch inkongruente Bedingung. Der Beginn des kritischen Wortes entspricht dem Nullpunkt der Zeitachse.

Die Ergebnisse der statistischen Analysen der EKP-Daten für die vier Zeitfenster können Tabelle 5.5 entnommen werden. Dabei ergaben sich keine signifikanten Unterschiede für die ersten beiden Zeitfenster (alle $p > .29$), wohl aber ein marginaler Haupteffekt PROSODIE ($\Delta = -0.70 \mu V$) sowie signifikante Interaktionen (PROSODIE x REGION und PROSODIE x ELEKTRODE) zwischen 650 und 850 ms. In diesem Zeitfenster separat für jede

Region durchgeführte Subanalysen für die lateralen Elektroden ergaben eine reliable Negativierung ausschließlich über der posterioren Region ($F(1,23)=7.42$, $p=.01$, $\Delta=-1.12\mu\text{V}$; temporo-zentral: $F(1,23)=3.73$, $p=.07$, $\Delta=-0.73\mu\text{V}$; anterior $F<1$). Auf der Mittellinie fanden Subanalysen pro Elektrode eine reliable Negativierung nur auf PZ ($F(1,23)=7.56$, $p=.01$, $\Delta=-1.39\mu\text{V}$). Im letzten Zeitfenster (600-1200 ms) hingegen zeigten sich trotz der reliablen Interaktionen PROSODIE x HEMISPHERE und PROSODIE x ELEKTRODE in den untergeordneten Analysen keinerlei signifikante Effekte (alle $ps>.19$).

Tabelle 5.5: Statistische Analysen der EKPs in Experiment 2 für das Bedingungs paar 1 (kritisches Wort in vorletzter Position, Syntax korrekt). Die ANOVAs beinhalteten die experimentelle Variable PROSODIE (P) sowie die topografischen Variablen HEMISPHERE (H) und REGION (R) für laterale Elektroden (l) sowie ELEKTRODE (E) für die Mittellinienelektroden (m).

	Quelle	dF	Zeitfenster							
			150-400 ms		450-550 ms		650-850 ms		600-1200 ms	
			F	p	F	p	F	p	F	p
l	P	1,23	<1		<1		3.55	.07	<1	
	P x R	2,46	<1		<1		4.85	<.05	<1	
	P x H	1,23	1.17	.29	<1		<1		6.62	<.05
	P x R x H	2,46	<1		1.15	.31	1.28	.29	1.80	.18
m	P	1,23	<1		<1		<1		<1	
	P x E	2,46	1.26	.29	<1		12.66	<.001	3.59	.05

Bedingungs paar 2: Kritisches Wort in vorletzter Position des Satzes und Syntax inkorrekt (Prosodische Inkongruenz Typ I). Die EKPs für dieselbe prosodische Manipulation in syntaktisch inkorrekten Sätzen (Bedingungs paar 2) können Abbildung 5.4 entnommen werden. Wie bei Bedingungs paar 1 wurden die statistischen Analysen für vier Zeitfenster durchgeführt (siehe Tabelle 5.6). Trotz signifikanter Interaktionen PROSODIE x REGION x HEMISPHERE in den ersten drei Zeitfenstern fanden untergeordnete Analysen keinerlei signifikanten Effekte (alle $ps>.14$)²⁸.

²⁸Eine zusätzliche Analyse zwischen 1100 und 1400ms zeigte, dass ein deskriptiv beobachteter Unterschied in den EKPs nach 1100 ms die Signifikanzschwelle nicht erreichte (alle $ps>.11$).

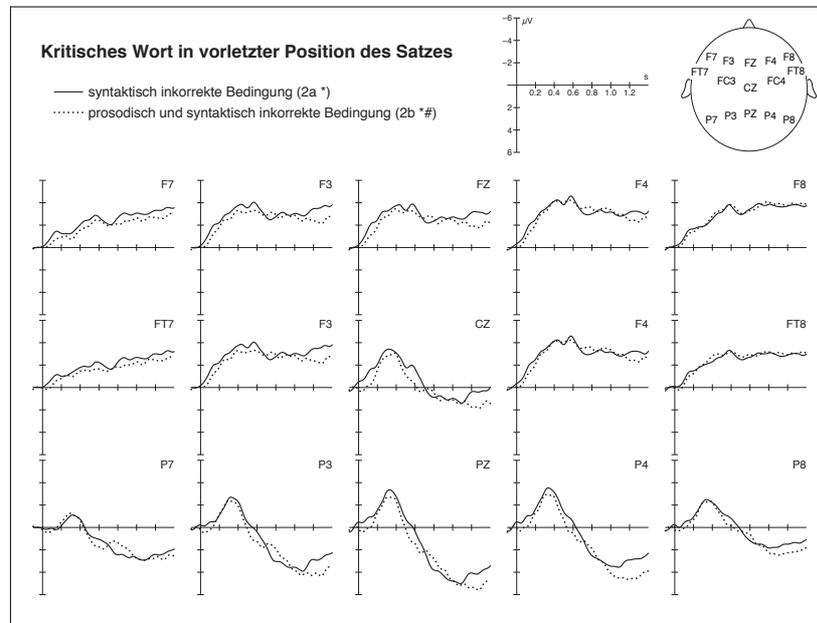


Abbildung 5.4: Paarweise Präsentation der gemittelten EKPs für Bedingungs paar 2 in Experiment 2. Die durchgezogene Linie zeigt die prosodisch kongruente Bedingung und die gepunktete Linie die prosodisch inkongruente Bedingung. Der Beginn des kritischen Wortes entspricht dem Nullpunkt der Zeitachse.

Tabelle 5.6: Statistische Analysen der EKPs in Experiment 2 für das Bedingungs paar 2 (kritisches Wort in vorletzter Position des Satzes, Syntax inkorrekt). Die ANOVAs beinhalteten die experimentelle Variable PROSODIE (P) sowie die topografischen Variablen HEMISPHERE (H) und REGION (R) für laterale Elektroden (l) sowie ELEKTRODE (E) für die Mittellinienelektroden (m).

Quelle	<i>dF</i>	Zeitfenster							
		150-400 ms		450-550 ms		650-850 ms		600-1200 ms	
		F	p	F	p	F	p	F	p
l	P	1,23	<1	1,41	.25	<1		<1	
	P x R	2,46	<1	<1		<1		<1	
	P x H	1,23	<1	<1		<1		<1	
	P x R x H	2,46	5.13 <.05	4.92 <.05		4.44 <.05		<1	
m	P	1,23	1.82 .19	2.12 .16		<1		<1	
	P x E	2,46	<1	1.17 .30		<1		<1	

Bedingungs paar 3: Kritisches Wort am Satzende und Syntax korrekt (Prosodische Inkongruenz Typ II). Deskriptiv zeigten sich für die prosodische Manipulation auf dem kritischen Wort in satzfinaler Position eine Negativierung mit einer maximalen Amplitude um 500 ms gefolgt von einer späten Positivierung um 800 ms (siehe Abbildung 5.5). Tabelle 5.7 listet die Ergebnisse der statistischen Analysen für die drei Zeitfenster 150 bis 400 ms, 450 bis 550 ms und 600 bis 1200 ms²⁹ auf.

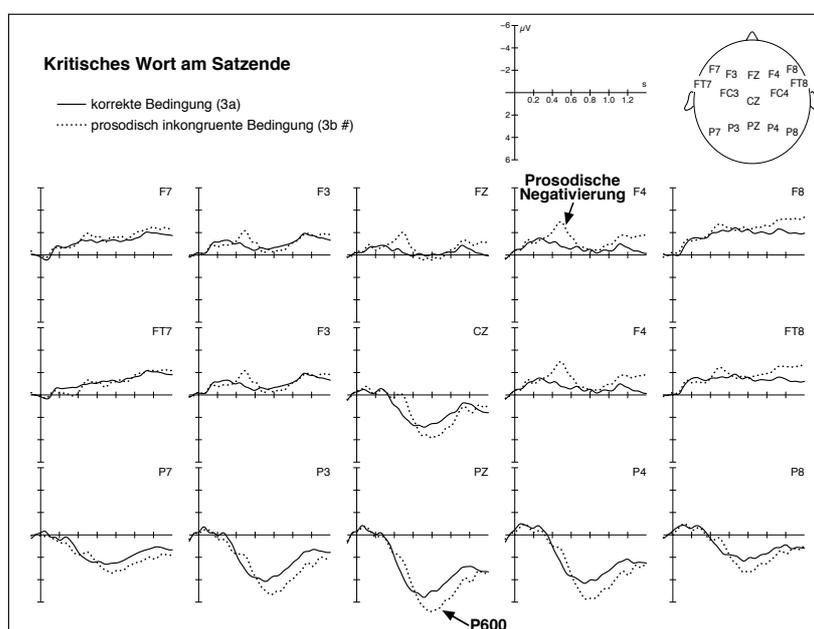


Abbildung 5.5: Paarweise Präsentation der gemittelten EKPs für Bedingungs paar 3 in Experiment 2. Die durchgezogene Linie zeigt die prosodisch kongruente Bedingung und die gepunktete Linie die prosodisch inkongruente Bedingung. Der Beginn des kritischen Wortes entspricht dem Nullpunkt der Zeitachse.

Zwischen 450 und 550 ms nach Beginn des kritischen Wortes konnte eine signifikante Negativierung für prosodisch inkongruente kritische Wörter identifiziert werden (Haupteffekt PROSODIE auf den lateralen Elektroden mit $\Delta = -1.0 \mu V$ und auf den Mittellinienelektroden mit $\Delta = -1.46 \mu V$). Die signifikante dreifach-Interaktion PROSODIE x REGION x HEMISPHERE resultierte von einem rechts-anterioren Maximum der prosodischen Negativie-

²⁹Da die Ergebnisse der Analysen für das Zeitfenster 650-850 ms vergleichbar zu denen des Zeitfensters 600-1200 ms waren, werden nur letztere aufgeführt.

zung (rechts-anterior: $F(1,23)=5.7$, $p<.05$, $\Delta=-1.47\mu V$; rechts-temporo-zentral: $F(1,23)=5.3$, $p<.05$, $\Delta=-1.18\mu V$; links-posterior: $F(1,23)=4.2$, $p<.05$, $\Delta=-0.84\mu V$; rechts-posterior: $F(1,23)=4.1$, $p=.05$, $\Delta=-0.95\mu V$). Im Zeitfenster zwischen 600 und 1200 ms fanden auf Basis einer signifikanten dreifach-Interaktion PROSODIE x REGION x HEMISPÄRE durchgeführte Subanalysen pro ROI eine reliable rechts-lateralisierte Positivierung für prosodisch inkongruente Sätze über den posterioren ROIs (links-posterior: $F(1,23)=5.7$, $p<.05$, $\Delta=+0.94\mu V$; rechts-posterior: $F(1,23)=8.9$, $p<.01$, $\Delta=+1.06\mu V$)³⁰.

Tabelle 5.7: Statistische Analysen der EKPs in Experiment 2 für das Bedingungspar 3 (kritisches Wort am Satzende, Syntax korrekt). Die ANOVAs beinhalteten die experimentelle Variable PROSODIE (P) sowie die topografischen Variablen HEMISPHERE (H) und REGION (R) für laterale Elektroden (l) sowie ELEKTRODE (E) für die Mittellinienelektroden (m).

	Quelle	dF	Zeitfenster					
			150-400 ms		450-550 ms		600-1200 ms	
			F	p	F	p	F	p
l	P	1,23	<1		4.55	<.05	1.18	.29
	P x R	2,46	<1		<1		7.1	.01
	P x H	1,23	2.41	.13	2.25	.15	<1	
	P x R x H	2,46	1.07	.33	4.48	<.05	4.85	<.05
m	P	1,23	<1		5.46	<.05	1.04	.32
	P x E	2,46	<1		<1		3.15	.07

Bedingungspar 4: Kritisches Wort am Satzende und Syntax inkorrekt (Prosodische Inkongruenz Typ II). Die gemittelten EKPs für Bedingungspar 4 sind in Abbildung 5.6 dargestellt. Die Ergebnisse der statistischen Analysen für die drei Zeitfenster 150-400 ms, 450-550 ms und 600-1200 ms³¹ sind in Tabelle 5.8 aufgelistet. Auch in syntaktisch inkorrekten Sätzen fiel auf dem kritischen Wort in satzfinaler Position deskriptiv eine Negativierung um 500 ms gefolgt von einer späten Positivierung für die prosodisch inkongruente Bedingung ins Auge.

³⁰Die signifikante Interaktion PROSODIE x ELEKTRODE auf der Mittellinie wurde von einer reliablen Positivierung allein auf der Elektrode PZ ($F(1,23)=4.09$, $p<.05$, $\Delta=+1.23\mu V$) bedingt.

³¹Auch hier waren die Ergebnisse der Analysen für das Zeitfenster 650-850 ms identisch zu denen des letzten Zeitfensters 600-1200 ms und werden daher nicht separat beschrieben.

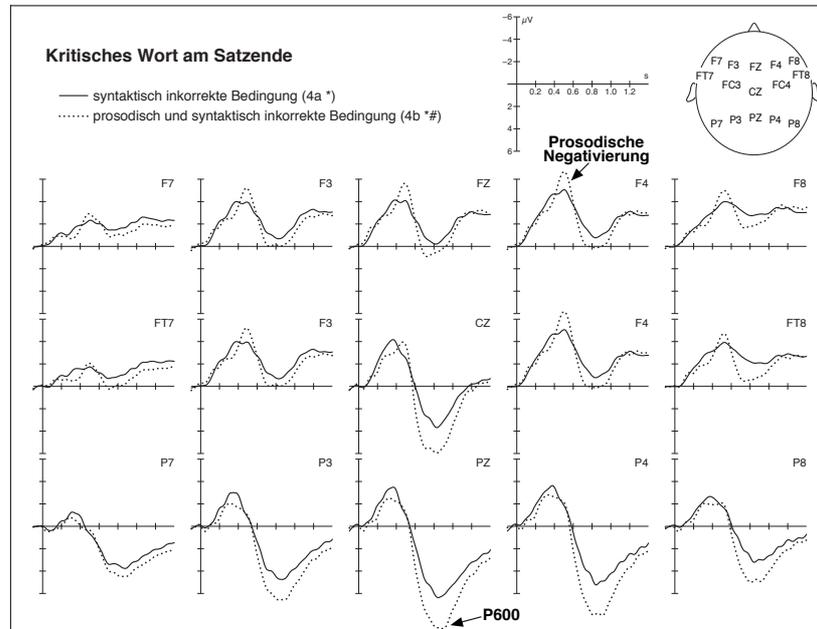


Abbildung 5.6: Paarweise Präsentation der gemittelten EKPs für Bedingungspar 4 in Experiment 2. Die durchgezogene Linie zeigt die prosodisch kongruente Bedingung und die gepunktete Linie die prosodisch inkongruente Bedingung. Der Beginn des kritischen Wortes entspricht dem Nullpunkt der Zeitachse.

Tabelle 5.8: Statistische Analysen der EKPs in Experiment 2 für Bedingungspar 4 (kritisches Wort am Satzende, Syntax inkorrekt). Die ANOVAs beinhalteten die experimentelle Variable PROSODIE (P) sowie die topografischen Variablen HEMISPHERE (H) und REGION (R) für laterale Elektroden (l) sowie ELEKTRODE (E) für die Mittellinienelektroden (m).

	Quelle	dF	Zeitfenster					
			150-400 ms		450-550 ms		600-1200 ms	
			F	p	F	p	F	p
l	P	1,23	5.02	<.05	<1		11.01	<.01
	P x R	2,46	<1		13.5	<.001	2.38	.13
	P x H	1,23	<1		1.09	.31	2.27	.15
	P x R x H	2,46	<1		3.67	.05	3.92	<.05
m	P	1,23	4.12	.05	2.01	.17	12.06	<.01
	P x E	2,46	2.54	.11	13.76	<.001	6.54	.01

Die statistischen Analysen identifizierten zunächst zwischen 150 und 400 ms eine kleinbreit verteilte Positivierung für prosodisch inkongruente Wörter in satzfinaler Position (Haupteffekte PROSODIE auf lateralen Elektroden mit $\Delta=+0.58\mu\text{V}$ und auf Mittellinienelektroden mit $\Delta=+0.71\mu\text{V}$)³². Zwischen 450 und 550 ms fanden Subanalysen nach einer signifikanten Interaktion PROSODIE x REGION x HEMISPHERE eine reliable prosodische Negativierung allein im rechts-anterioren ROI (Haupteffekt PROSODIE rechts-anterior: $F(1,23)=6.49$, $p<.05$, $\Delta=-1.19\mu\text{V}$; alle anderen ROIs: $ps>.10$)³³. Im Zeitfenster 600 bis 1200 ms konnte eine breit verteilte Positivierung abgesichert werden (Haupteffekt PROSODIE mit $\Delta=+0.98\mu\text{V}$ auf lateralen und mit $\Delta=+1.6\mu\text{V}$ auf Mittellinienelektroden). Die signifikante dreifach-Interaktion PROSODIE x REGION x HEMISPHERE zeigte an, dass die späte Positivierung ihre maximale Amplitude im rechts-posterioren ROI erreichte (beide anteriore ROIs $ps>.08$, alle anderen ROIs $ps<.01$: links-temporo-zentral $\Delta=+1.08\mu\text{V}$, rechts-temporo-zentral $\Delta=+1.57\mu\text{V}$, links-posterior $\Delta=+1.13\mu\text{V}$, rechts-posterior $\Delta=+1.72\mu\text{V}$).

Überblick über die EKP-Effekte in den vier Bedingungs paaren in Experiment 2 Zusammenfassend ergibt sich aus den paarweisen Analysen der EKP-Daten für die vier Bedingungs paare in Experiment 2 folgendes Bild (verdeutlicht in Abbildung 5.7):

Für die prosodische Manipulation auf der vorletzten Position im Satz (prosodische Inkongruenz Typ I) kam es zwischen 650 und 850 ms nach Beginn des kritischen Wortes zu

³²Möglicherweise ist die frühe Positivierung als unmittelbare Überraschungsreaktion auf das unvermittelte Satzende durch Abschneiden des Satzes aufzufassen (da sie für Bedingungs paar 1 nicht auftrat und Bedingungs paar 4 durch Abschneiden des Verbs aus Bedingungs paar 1 erzeugt wurde). Deskriptiv scheint die frühe Positivierung aus zwei Teilen zu bestehen, einer ersten Positivierung zwischen 150 und 250 ms und einer zweiten zwischen 250 und 400 ms. Separate statistische Analysen dieser beiden Zeitfenster ergaben keinerlei signifikanten Effekte zwischen 150 und 250 ms (alle $ps>.13$). Allein der zweite Teil der Positivierung zwischen 250 und 400 ms erwies sich als reliabel (Haupteffekt PROSODIE: $F(1,23)=6.2$, $p<.05$, $\Delta=+0.66\mu\text{V}$). Daher könnte vermutet werden, dass der erste Teil unsystematisch ist, während der zweite Teil der frühen Positivierung einen Effekt der experimentellen Manipulation darstellen könnte, der zeitlich zusammenfällt mit dem Ende des kritischen Wortes in Bedingung 4b (mittlere Länge: 330 ms, Minimum: 232 ms). Dennoch bleibt diese Interpretation spekulativ und bedarf der weiteren Validierung.

³³Die Interaktion PROSODIE x ELEKTRODE auf der Mittellinie rührte von einer reliablen Negativierung allein auf der Elektrode FZ ($F(1,23)=5.8$, $p<.05$, $\Delta=-1.33\mu\text{V}$) her.

einer Negativierung über zentro-posterioren Elektroden, welche sich nur für syntaktisch korrekte Sätzen beobachten ließ (Bedingungspaar 1), nicht jedoch für syntaktisch inkorrekte Sätze (Bedingungspaar 2).

Für prosodisch inkongruente Wörter in satzfinaler Position (prosodische Inkongruenz Typ II) wurde zwischen 450 und 550 ms sowohl bei syntaktisch korrekten als auch bei syntaktisch inkorrekten Sätzen eine rechts-anteriore prosodische Negativierung gefunden (Bedingungspare 3 und 4).

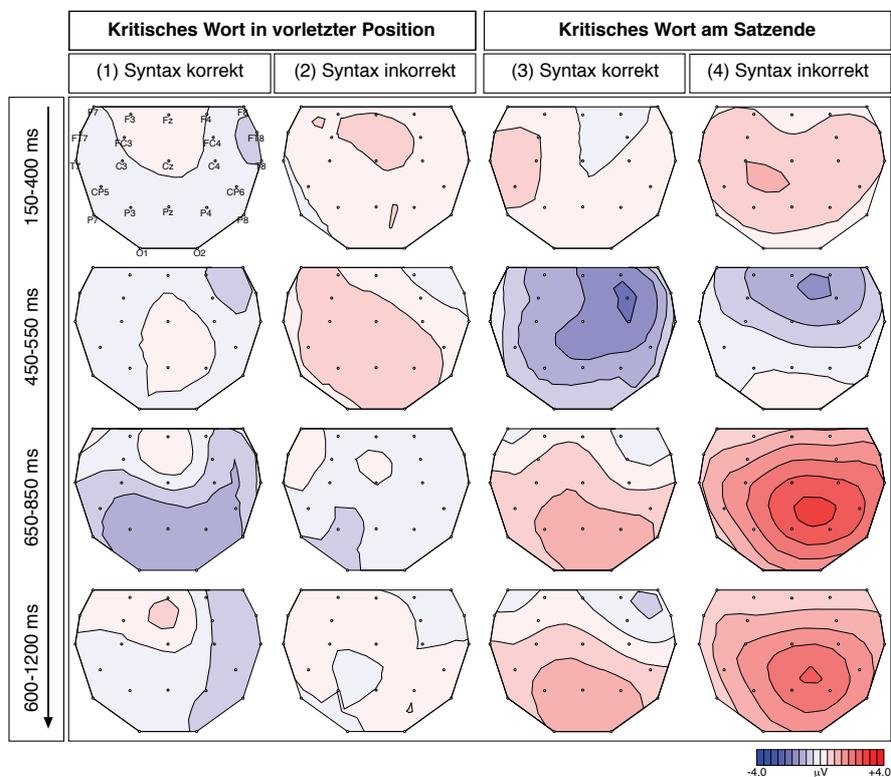


Abbildung 5.7: Topografische Maps in Experiment 2 auf Basis der EKP-Differenzen zwischen der prosodisch inkongruenten (b) minus der prosodisch kongruenten Bedingung (a) für jedes Bedingungspaar in jedem der vier Zeitfenster.

In einem späten Zeitfenster von 600 bis 1200 ms zeigte sich für die prosodische Manipulation auf dem satzfinalen Wort eine Positivierung in den EKPs, welche wiederum sowohl in syntaktisch korrekten Sätzen (Bedingungspaar 3) als auch in syntaktisch inkorrekten Sätzen

zen (Bedingungs paar 4) auftrat und ihr Maximum jeweils über dem rechts-posterioren ROI erreichte. In ihrer Topografie und ihrer Latenz gleicht diese Positivierung einem P600-Effekt.

Zusätzlich zeigte sich auf prosodisch inkongruenten Wörtern in satzfinaler Position für syntaktisch inkorrekte Sätze (Bedingungs paar 4) eine kleine breit verteilte Positivierung zwischen 150 und 400 ms. In weiterführenden Analysen stellte sich jedoch nur der spätere Teil zwischen 250 und 400 ms als reliabel heraus, welcher zeitlich mit einer Reaktion auf das unvermittelte Satzende in Verbindung gebracht werden könnte.

5.3.2.2 Interaktivitätstest

In einer weiteren Analyse sollte bestimmt werden, ob sich bei den in beiden Bedingungs paaren 3 und 4 beobachteten EKP-Komponenten (rechts-anteriore Negativierung 450 bis 550 ms, rechts-posteriore Positivierung 600 bis 1200 ms) Anhaltspunkte für eine Interaktion zwischen Prosodie und Syntax finden ließen. Da ein direkter Vergleich der Bedingungs paare 3 und 4 wegen des unterschiedlichen Satzkontextes bis zum kritischen Wort nicht möglich ist (siehe Tabelle 5.1), wurden die EKPs auf Basis von Differenzkurven weiter analysiert (für ein vergleichbares Vorgehen siehe Kutas & Hillyard, 1980a; Osterhout et al., 1996; Schröger, 1995; Hahne et al., 2002). Ziel war es, sowohl den Einfluss der rein prosodischen Manipulation als auch der rein syntaktischen Verletzung zu extrahieren und mit der kombinierten Verletzungsbedingung zu vergleichen. Dieses Vorgehen lässt eine genaue Untersuchung der Unabhängigkeit bzw. Interaktivität der jeweiligen EKP-Effekte zu und eliminiert zudem den Einfluss des unterschiedlichen Satzkontextes in den EKPs. Folgende EKP-Differenzen wurden berechnet (siehe Abbildung 5.8): Von den EKPs in Bedingung 3b wurden die EKPs in Bedingung 3a subtrahiert, wodurch der Effekt der rein prosodischen Manipulation (Syntax korrekt) auf dem kritischen Wort an satzfinaler Position extrahiert wurde. Weiterhin wurde die Differenz zwischen Bedingung 4a und Bedingung 1a errechnet, um den Effekt der rein syntaktischen Manipulation (Prosodie korrekt) auf dem kritischen Wort an satzfinaler Position zu erhalten. Schließlich wurde die Differenz zwischen Bedingung 4b und Bedingung 1a ermittelt, um die EKP-Effekte der kombinierten prosodisch-syntaktischen Manipulation zu isolieren. Neben diesen empirisch ermittelten EKP-Effekten wurde berechnet, welchen Ver-

lauf die EKP in der kombinierten Bedingung nehmen würden, wenn Prosodie und Syntax in einer streng additiven Relation zueinander stünden. Dieser hypothetische Verlauf im Falle der Unabhängigkeit von Syntax und Prosodie wurde als Summe der rein prosodischen und der rein syntaktische Effekte angenommen, indem die Differenzkurven für den rein prosodischen Effekt (Bedingung 3b-3a) und für den rein syntaktischen Effekt (Bedingung 4a-1a) addiert wurden (siehe Abbildung 5.8).

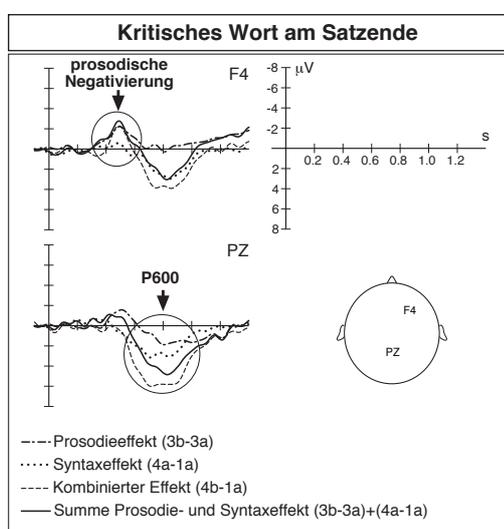


Abbildung 5.8: Vergleich des rein prosodischen EKP-Effekts, des rein syntaktischen EKP-Effekts, des kombinierten prosodisch-syntaktischen EKP-Effekts und der errechneten Summe von Prosodie- und Syntaxeffekt auf dem kritischen Wort am Satzende. Abgetragen sind die EKP-Differenzen, welche aus den EKPs für die jeweilige Verletzungsbedingung minus den EKPs für die korrekte Vergleichsbedingung errechnet wurden. Der Beginn des kritischen Wortes entspricht dem Nullpunkt auf der Zeitachse.

In den statistischen Analysen wurde auf Unterschiede zwischen der empirischen registrierten EKP-Differenzkurve für den kombinierten Syntax-Prosodie-Effekt und der bei angenommener Unabhängigkeit von Prosodie und Syntax errechneten Summe beider einfacher Effekte geprüft. Diese Analysen wurden wiederum für die zuvor berichteten vier Zeitfenster berechnet und beinhalteten weiterhin die bereits beschriebenen topografischen Variablen.

In den ersten beiden Zeitfenstern fanden sich keinerlei signifikante Unterschiede zwischen dem empirischen EKP-Verlauf der kombinierten prosodisch-syntaktischen Verletzung und dem bei Additivität der Variablen Prosodie und Syntax erwarteten hypothetischen EKP-Verlauf (alle $F_s < 1$). Dies belegt, dass die in den Bedingungen 3b (Prosodie inkongruent, Syntax korrekt) und 4b (Prosodie inkongruent, Syntax inkorrekt) beobachtete rechts-anteriore prosodische Negativierung zwischen 450 und 550 ms tatsächlich ein alleiniger Effekt der

prosodischen Inkongruenz ist und unabhängig von der syntaktischen Verletzung auftrat. Dies reflektiert sich auch in den mittleren Amplitudendifferenzen, welche sich zwischen der rein prosodischen Inkongruenz (3b-3a) mit $\Delta = -1.2\mu\text{V}$ und der kombinierten Verletzung (4b-1a) mit $\Delta = -1.3\mu\text{V}$ nicht signifikant voneinander unterschieden.

Im späten Zeitfenster 600-1200 ms fand sich zunächst kein signifikanter Effekt (alle $p > .14$). Die Analyse im kleineren Zeitfenster 650-850 ms ergab jedoch eine signifikante Interaktion mit HEMISPHERE ($F(1,23) = 4.76, p < .05$). Separate Subanalysen für jede Hemisphäre zeigten, dass über der rechten Hemisphäre ein marginaler Haupteffekt zu beobachten war ($F(1,23) = 3.31, p = .08$). Wengleich die Signifikanzschwelle nicht erreicht wurde, so deutet dieser Befund tendenziell an, dass die späte Positivierung zumindest in einem kleineren Zeitfenster zwischen 650 und 850 ms in der kombinierten prosodisch-syntaktischen Verletzung größer war ($\Delta = +3.76\mu\text{V}$), als die berechnete Summe ($\Delta = +2.30\mu\text{V}$) aus rein prosodischem Effekt ($\Delta = +0.54\mu\text{V}$) und rein syntaktischem Effekt ($\Delta = +1.76\mu\text{V}$). Dies weist auf eine eher interaktive Relation zwischen Prosodie und Syntax im Bereich der späten Positivierung hin.

5.4 Diskussion

Im zweiten Experiment wurde sowohl in syntaktisch korrekten als auch inkorrekten Sätzen auf zwei verschiedenen Positionen (vorletztes bzw. letztes Wort im Satz) die Variable Prosodie manipuliert. Damit sollte geprüft werden, ob die im Satzmaterial von Experiment 1 angewandte Splicingprozedur tatsächlich zu einer prosodischen Inkongruenz mit messbaren EKP-Effekten geführt haben könnte. Die Ergebnisse von Experiment 2 zeigten, dass die beiden getesteten Arten prosodischer Inkongruenzen (Typ I und Typ II) zu unterscheidbaren Effekten in den EKPs führen.

Zentro-parietale Negativierung: Indikator lexikalischer Prozesse Wenn die prosodische Information des kritischen Wortes das Ende des Satzes signalisierte, dann jedoch unerwartet noch ein weiteres Wort folgte, war in den EKPs eine zentro-posteriore Negativierung zwischen 650 und 850 ms bezogen auf den Beginn des kritischen Wortes zu beobachten (=

prosodische Inkongruenz Typ I). Dieser Effekt trat jedoch nur auf, wenn der Satz syntaktisch korrekt war (Bedingungs paar 1). Die Topografie der beobachteten Negativierung gleicht der typischen Verteilung der mit lexikalischen Integrationsprozessen in Verbindung gebrachten N400-Komponente (siehe Abschnitt 2.1). Die Latenz der Negativierung in der vorliegenden Studie weist darauf hin, dass der beobachtete Effekt nicht als direkte Reaktion auf das kritische Wort selbst angesehen werden könnte, sondern vielmehr als Korrelat erschwerter lexikalischer Integration des prosodisch unerwarteten Wortes am Satzende: die mittlere Länge des kritischen (prosodisch inkongruenten) Wortes in Bedingungs paar 1 betrug 425 ms (SD= 71 ms), die Dauer des prosodisch unerwarteten satzfinalen Wortes betrug 521 ms (SD= 65 ms). Damit würde die Latenz bezogen auf das prosodisch unerwartete letzte Wort des Satzes mit der typischerweise für die N400-Komponente beobachteten Latenz übereinstimmen. Für die Interpretation der beobachteten Negativierung zwischen 650 und 850 ms als N400 spricht auch der Befund, dass dieser Effekt in syntaktisch inkorrekten Sätzen (Bedingungs paar 2) nicht auftrat. Wenngleich es schwierig ist, aus der Abwesenheit eines EKP-Effekts Rückschlüsse zu ziehen, korrespondiert diese Beobachtung zumindest mit Befunden, die ebenfalls ein Ausbleiben des N400-Effekts bei semantisch unpassenden Wörter fanden, wenn diese syntaktisch nicht lizenziert waren (z.B. Hahne & Friederici, 2002). Damit bestätigte sich die eingangs dieses Kapitels in *Hypothese 2* formulierte Vermutung, dass sich der Einfluss der verwendeten prosodischen Inkongruenz im Rahmen der prosodisch induzierten N400 im Bereich der lexikalisch-semantischen Verarbeitung zeigen könnte.

Über den genauen Mechanismus, der der im vorliegenden Experiment beobachteten „prosodischen N400“ zugrunde liegt, kann jedoch momentan nur spekuliert werden. Möglicherweise könnte die prosodische Information über das Satzende die Integration eines weiteren lexikalischen Elements in die bereits prosodisch geschlossene Satzphrase erschweren oder auch direkt den lexikalischen Zugriff für das prosodisch unerwartete Wort behindern.

Prosodische Negativierung: Index prosodischer Verarbeitung Wenn die prosodische Information des kritischen Wortes die Fortsetzung des Satzes signalisierte (Bedingungs paar 3 und 4), dann jedoch kein weiteres Wort, sondern Stille folgte, zeigte sich für diese Art des prosodischen Widerspruchs (= prosodische Inkongruenz Typ II) unabhängig von der syn-

taktischen Korrektheit des Satzes in den EKPs eine rechts-anteriore Negativierung mit einer Gipfellatenz von etwa 500 ms (gefolgt von einer späten Positivierung). Die rechts-anteriore Negativierung soll entsprechend ihrer Topografie als „RAN“ bezeichnet werden und wird als bislang in der Literatur noch nicht beschriebenes Korrelat prosodischer Verarbeitungsprozesse angesehen. Dabei könnte die RAN einen direkten Indikator für die Detektion einer Inkompatibilität zwischen aufgebauten Erwartungen (top-down) und dem aktuellen Sprachinput (bottom-up) darstellen. Der Befund der RAN bestätigt die in *Hypothese 2* formulierte Erwartung, dass sich eine rein prosodische Verletzung in einem rechts-lateralisierten EKP-Korrelat reflektieren sollte. Im folgenden wird die RAN vor dem Hintergrund verschiedener relativer EKP-Studien diskutiert.

Die RAN kann deutlich zu einer oberflächlich ähnlichen, aber bilateral verteilten Negativierung abgegrenzt werden, wie sie von Hruska und Alter (2004) in einer EKP-Studie zur Fokusstruktur in Dialogen berichtet wurde. In dieser Untersuchung führte die fehlende Akzentuierung eines fokussierten Elements zu einer bilateralen fronto-zentralen Negativierung auf dem Wort, welches den Akzent hätte aufweisen sollen. Eine unlicenzierte Akzentuierung hingegen rief keinerlei Veränderungen im EKP hervor. Hruska und Alter bezeichneten den EKP-Effekt auf fehlenden Akzenten als „Erwartungs-Negativierung“ (EN) und interpretierten ihn als Ausdruck der Erwartung der fokussierten Information. Neben der topografischen Differenz zu der in Experiment 2 der vorliegenden Arbeit beobachteten RAN zeigt sich jedoch ein weiterer gravierender Unterschied zwischen EN und RAN: die RAN wurde allein durch Erwartungen rein prosodischer Natur ausgelöst, die EN hingegen war nicht primär durch rein prosodischen Erwartungen getrieben, sondern resultierte aus Erwartungen auf informationsstruktureller Ebene, welche durch den Diskurs aufgebaut wurden. Dies wird belegt durch die Beobachtung, dass die EN nur auf Dialogebene gefunden wurde, nicht jedoch auf Einzelsatzebene (Hruska, 2004).

Im Bereich der Musikverarbeitung berichten Koelsch und Kollegen (Koelsch, Gunter, Schröger, & Friederici, 2003) eine frühe rechts-anteriore Negativierung (ERAN) um 150 ms für Verletzungen von Harmonieregeln (siehe Abschnitt 2.4). Obwohl die Topografie der ERAN und der RAN vergleichbar ist, unterscheiden sich die beiden Effekte in ihrer La-

tenz. Dieser Latenzunterschied könnte jedoch auf Unterschiede in der zeitlichen Struktur der verwendeten Materialien zurückzuführen sein: Während bei der ERAN die Regelverletzung unmittelbar auf dem Beginn des kritischen irregulären Akkords detektierbar war, konnte die prosodische Inkongruenz in Experiment 2 der vorliegenden Arbeit erst unmittelbar nach dem Ende des kritischen Wortes entdeckt werden. Da das kritische Wort im Mittel 340 ms lang war, beträgt die effektive Latenz der RAN etwa 110 bis 210 ms. Damit scheinen ERAN und RAN auch in Bezug auf die Latenz vergleichbar zu sein. Inwieweit die ERAN in der Musik und die RAN in der Sprache jedoch tatsächlich auf die gleichen elektrophysiologischen Quellen zurückgehen und die selben kognitiven Prozesse involvieren, lässt sich anhand der vorliegenden Daten nicht bestimmen.

Wie bereits in den vorangegangenen Abschnitten ausführlich beschrieben (siehe 2.2 und 4.1), wurde in einer ganzen Reihe von EKP-Studien eine frühe anteriore Negativierung (ELAN) im Zusammenhang mit Verletzungen der syntaktischen Phrasenstruktur beobachtet. Die ELAN zeigte jedoch oft eine bilaterale Verteilung (bzw. in einigen Studien trat sie auch ausschließlich über der linken Hemisphäre auf). Zusätzlich zu diesem topografischen Unterschied kann die in Experiment 2 beobachtete RAN auch funktional klar von der ELAN unterschieden werden, da die RAN unabhängig von der Grammatikalität eines Satzes auftrat. Der Befund eines deutlich rechts-lateralisierten EKP-Effekts für diese Art der prosodischen Inkongruenz (Typ II), bei der Erwartungen bezüglich der Fortführung des Satzes enttäuscht werden, unterstützt die bereits in Experiment 1 untersuchte Vermutung, dass die Lateralisierung der ELAN im Zusammenhang mit einer zeitgleich zum Wortkategoriefehler enthaltenen prosodischen Inkongruenz stehen könnte. Die in Experiment 2 beobachtete RAN für verletzte prosodische Erwartungen bezüglich der Fortführung des Satzes könnte somit in direktem Zusammenhang zu frühen Phrasenstrukturprozessen stehen. Dieser Vermutung wird in Experiment 4 weiter nachgegangen.

Späte Positivierungen: Integrative Prozesse Im Anschluss an die RAN wurde auf dem prosodisch inkongruenten kritischen Wort in satzfinaler Position eine späte Positivierung im EKP registriert, welche in ihrer Latenz (zwischen 600 und 1200 ms), ihrer Verteilung (bilateral posterior, rechts-lateralisiert) und ihrer Morphologie eine hohe Ähnlichkeit zur syn-

taktischen P600 aufweist. Unter der Annahme, dass die P600 allgemein strukturelle Verarbeitungsschwierigkeiten anzeigt, kann die prosodische P600 funktional als Indikator von Integrationsschwierigkeiten bzw. Reanalyseprozessen auf der Ebene der prosodischen Repräsentation angesehen werden. Damit konnte zum ersten Mal ein P600-Effekt in Reaktion auf eine rein prosodische Inkongruenz nachgewiesen werden. Zugleich erbringt das Ergebnis einer prosodischen P600 weitere Evidenz gegen eine strenge Syntaxspezifität der P600 (siehe Abschnitt 2.2).

Eine ebenfalls prosodisch induzierte späte Positivierung wurde von Astesano und Kollegen (Astesano et al., 2004, siehe Abschnitt 2.3) berichtet. Astesano und Kollegen bezeichneten diese Positivierung jedoch entsprechend ihrer erhöhten Latenz als „P800“ und grenzten sie von der P600-Komponente ab. Im Gegensatz zu dem Ergebnis aus der Astesano-Studie, in der die prosodische P800 nur dann beobachtet wurde, wenn die Probanden die prosodische Kongruenz der gehörten Sätze beurteilen sollten, trat die prosodische P600 in der vorliegenden Arbeit auf, obwohl die Probanden nicht instruiert waren, ihre Aufmerksamkeit auf die prosodische Information zu richten³⁴.

Weiterhin wurde im Einklang mit der Experiment 2 zugrunde liegenden *Hypothese 1* für die syntaktische Verletzung (Bedingungspar 4) eine P600 registriert. Besonders wichtig im Zusammenhang mit *Hypothese 3* ist dabei, dass im Bereich der P600-Komponente ein Hinweis für eine Interaktion zwischen prosodischer und syntaktischer Information gefunden wurde, welcher jedoch statistisch nicht vollständig abgesichert werden konnte ($p=.08$).

Zusammenfassung Experiment 2 Um den Zusammenhang zwischen Prosodie und Syntax genauer zu untersuchen, wurden im zweiten Experiment beide Faktoren direkt manipuliert. Die Verwendung zweier unterschiedlicher Satzstrukturen ermöglichte es, zwei verschiedene Typen prosodischer Inkongruenz innerhalb desselben experimentellen Designs zu testen.

³⁴Dennoch erscheint es für künftige Fragestellungen sinnvoll, Experiment 2 mit einer anderen Aufgabe (z.B. mit einer Inhaltsfrage oder einer lexikalischen Entscheidungsaufgabe) zu wiederholen, da möglicherweise sowohl explizit prosodische als auch explizit syntaktische Aufgabenstellungen den Verarbeitungsfokus auf strukturelle Aspekte der Sprache legen könnten.

Für Typ I der prosodischen Inkongruenz, bei der ein Wort an der vorletzten Stelle eines Satzes die prosodische Markierung für das Satzende aufwies, zeigte sich im EKP eine späte zentro-parietale Negativierung, welche zeitlich einherging mit dem prosodisch unerwarteten Wort am Satzende. Diese Negativierung wies starke Ähnlichkeiten zu einer N400 auf und wurde nur dann beobachtet, wenn der Satz syntaktisch korrekt war, nicht jedoch nach einer syntaktischen Verletzung. Dies kann dahingehend interpretiert werden, dass es zu erhöhten Prozesskosten auf der lexikalischen Verarbeitungsebene kommt, wenn zu einer prosodisch bereits abgeschlossenen Phrase ein weiteres Wort hinzukommt. Eine zusätzlich vorhandene syntaktische Verletzung hingegen scheint weitere lexikalische Verarbeitungsprozesse zu blockieren.

Der zweite verwendete Typ von prosodischer Inkongruenz wurde hingegen auf dem letzten Wort im Satz realisiert, welches prosodisch die Weiterführung des Satzes signalisierte, dann jedoch unvermittelt von Stille gefolgt wurde. Für Typ II der prosodischen Manipulation zeigte sich eine rechts-anteriore prosodische Negativierung (RAN), die als Indikator des Widerspruchs zwischen auf Basis bereits vorhandener (prosodischer) Informationen aufgebauten prosodischen Erwartungen bezüglich des weiteren Sprachinputs und dem aktuellen Input interpretiert wird. Die RAN trat unabhängig von der syntaktischen Korrektheit eines Satzes auf und kann damit als rein prosodischer, von der Syntax unabhängiger Effekt angenommen werden. Im Anschluss an die RAN wurde eine späte Positivierung beobachtet. Diese Positivierung trat sowohl nach rein prosodischen Inkongruenzen als auch nach rein syntaktischen Verletzungen auf und wurde als P600 interpretiert. Bemerkenswert ist dabei, dass die P600 in der kombinierten prosodisch-syntaktischen Verletzung marginal größer war, als ein additives Modell über die Relation zwischen Syntax und Prosodie vorhersagen würde. Dies legt nahe, dass eine Interaktion zwischen Prosodie und Syntax in einem späten integrativen Verarbeitungszeitfenster stattfindet. Weiterhin versprechen sowohl die RAN als auch die prosodische P600 neurophysiologische Evidenz für die theoretische psycholinguistische Annahme der Existenz einer prosodischen Repräsentationsebene beim Sprachverstehen, welche separat geparkt werden muss und auf deren Ebene Inkongruenzen detektiert werden (RAN)

sowie späte Integrations- bzw. Reanalyseprozesse stattfinden (P600). Die hier dargestellten Ergebnisse aus Experiment 2 wurden in Eckstein und Friederici (2005) veröffentlicht.

Kapitel 6

Experiment 3: RAN und P600 - Späte Interaktion von Prosodie und Syntax (Phrasenende)

6.1 Fragestellung und Hypothesen

Das dritte Experiment wurde unter folgenden Hauptaspekten durchgeführt: Da die RAN in der Literatur bislang nicht berichtet wurde, sollte zunächst sichergestellt werden, dass sich dieser EKP-Effekt replizieren lässt. Weiterhin sollte Experiment 3 Aufschluss darüber geben, ob die RAN auch auf anderen Positionen im Satz auftritt.

Zu diesem Zweck wurde das Satzmaterial aus Experiment 2 adaptiert und so erweitert, dass die Manipulation der experimentellen Variablen nun auf vorletzter und letzter Position einer Satzphrase stattfand. Unter der Annahme, dass die in Experiment 2 am Satzende beobachteten EKP-Effekte allgemeine Verarbeitungsprozesse reflektieren, sollte in Experiment 3 am Phrasenende ein vergleichbares Muster von EKP-Effekten beobachtet werden.

- *Hypothese 1:* Die in Experiment 2 am Satzende beobachtete prosodische N400 für eine prosodische Inkongruenz Typ I sollte auch am Phrasenende auftreten.

- *Hypothese 2*: Eine prosodische Inkongruenz Typ II sollte auch am Phrasenende zu einer rechts-anterioren Negativierung (RAN) gefolgt von einer späten Positivierung im EKP führen.

Für das Hauptaugenmerk der vorliegenden Arbeit, ob Prosodie und Syntax im Sprachverstehensprozess interagieren, zeigten sich in Experiment 2 tendenzielle Hinweise auf eine Interaktion beider sprachlicher Informationen in einem späten integrativen Verarbeitungszeitfenster (P600). In Experiment 3 wurde versucht, diesen tendenziellen Befund empirisch zu erhärten.

- *Hypothese 3*: Im späten Zeitfenster findet eine Interaktion zwischen Prosodie und Syntax in der P600-Komponente statt.

6.2 Methoden

6.2.1 Versuchsdesign und Satzmaterial

In Experiment 3 wurden parallel zu Experiment 2 die Variablen PROSODIE (kongruent vs. inkongruent) und SYNTAX (korrekt vs. inkorrekt) auf dem kritischen Wort in zwei verschiedenen POSITIONEN einer Satzphrase (vorletzte vs. phrasenfinal) variiert, woraus acht experimentelle Bedingungen resultierten (vgl. Tabelle 6.1). Dabei wurden zunächst die bereits in Experiment 2 verwendeten Sätze übernommen. Mittels der Konjunktion „und“ wurde an jedes der Satzgefüge ein weiterer Komplementsatz angehängt, der durch eine Präposition (z.B. „bevor“) eingeleitet wurde. Das Subjekt dieses Satzkomplements („er“) referierte immer auf das Subjekt des vorangegangenen Komplementsatzes, um die Referentenstruktur der Sätze nicht zusätzlich zu verkomplizieren. Nachfolgend schlossen sich eine Präpositionalphrase und am Satzende ein intransitives Verb an.

6.2.2 Produktion des Stimulusmaterials

Wie im Experiment 2 wurden auch in Experiment 3 alle Experimentalsätze durch eine Splingprozedur aus natürlich eingesprochenen Quellsätzen erstellt. Hierzu wurden alle Quell-

Tabelle 6.1: Übersicht über die verwendeten experimentellen Bedingungen in Experiment 3. Die Farben korrespondieren zu den jeweiligen Quellsätzen, denen die einzelnen Wörter entnommen wurden (siehe Tabelle 6.2). Das kritische Wort für die Auswertung der EKPs ist unterstrichen. Abkürzungen: Bed = Bedingung, korr = korrekt, syn = syntaktisch inkorrekt, pros = prosodisch inkongruent.

Bed	Syntax	Prosodie	Beispiel
1a	korr	korr	Angelika weiß, dass der Vater <u>Fische</u> angelt, bevor er ans Ufer rudert.
1b#	korr	pros	Angelika weiß, dass der Vater <u>Fische</u> angelt, bevor er ans Ufer rudert.
2a*	syn	korr	Angelika weiß, <u>der</u> Vater <u>Fische</u> angelt, bevor er ans Ufer rudert.
2b*#	syn	pros	Angelika weiß, <u>der</u> Vater <u>Fische</u> angelt, bevor er ans Ufer rudert.
3a	korr	korr	Angelika weiß, <u>der</u> Vater <u>angelt</u> <u>Fische</u> , bevor er ans Ufer rudert.
3b#	korr	pros	Angelika weiß, <u>der</u> Vater <u>angelt</u> <u>Fische</u> , bevor er ans Ufer rudert.
4a*	syn	korr	Angelika weiß, dass der Vater <u>Fische</u> , bevor er ans Ufer rudert.
4b*#	syn	pros	Angelika weiß, dass der Vater <u>Fische</u> , bevor er ans Ufer rudert.

sätze in Experiment 3 von derselben professionellen Sprecherin wie in Experiment 2 komplett neu eingesprochen. Die Einsprechprozedur war identisch zu Experiment 2 (siehe Abschnitt 5.2.2). Die Liste der für die Splicingprozedur benötigten Quellsätze für Experiment 3 kann Tabelle 6.2 entnommen werden. Die Splicingprozedur entsprach ebenfalls der bereits in Experiment 2 erfolgreich angewandten Methode (siehe Abschnitt 5.2.2)³⁵. Im Unterschied zu Experiment 2 waren jedoch zwei weitere Quellsätze notwendig (Nummer 7 und 8), um koartikulatorische Störeffekte aufgrund des nachfolgenden Komplementsatzes auszuschließen.

Die von der Sprecherin in den Quellsätzen zwischen dem untergeordneten Satz (welcher das kritische Wort enthielt) und dem angehängten Satzkomplement durchgängig produzierte Pause wurde im Rahmen der Splicingprozedur konstant bei 500 ms gehalten.

³⁵Auch in Experiment 3 wurden die gemittelten EKPs auf dem Subjekt des untergeordneten Satzes zwischen Bedingungs paar 2 (mit einer zusätzlichen Splicingstelle vor dem kritischen Wort, siehe Tabelle 6.1) verglichen mit Bedingungs paar 3 (keine zusätzliche Splicingstelle vor dem kritischen Wort). Weder deskriptiv noch statistisch konnten Unterschiede zwischen beiden Bedingungs paaren in diesem Zeitbereich gefunden werden, so dass ein Einfluss der zusätzlichen Splicingstelle in Bedingungs paar 2 ausgeschlossen werden kann.

Tabelle 6.2: Quellsätze, aus denen alle acht experimentellen Bedingungen in Experiment 3 zusammengeschnitten wurden. Die Farben korrespondieren zu den jeweils für die Experimentalsätze verwendeten Teilen (siehe Tabelle 6.1). Um Koartikulationseffekte auszuschließen, wurden in allen Quellsätzen der Nummern 6 bzw. 8 Pseudowörter vor und/ oder nach dem kritischen Wort verwendet.

Quellsätze	Beispiel
1	Angelika weiß, dass der Vater Fische angelt, bevor er ans Ufer rudert.
2	Angelika weiß, dass der Vater Fische angelt, bevor er ans Ufer rudert.
3	Seit gestern angelt der Vater Fische, an denen er die Schuppen entfernt.
4	Angelika weiß, der Vater angelt Fische, bevor er ans Ufer rudert.
5	Angelika weiß, der Vater angelt Fische, bevor er ans Ufer rudert.
6	Angelika weiß, dass der Langelt Fische bengelt, bevor er ans Ufer rudert.
7	Seit gestern angelt der Vater Fische, bevor er ans Ufer rudert.
8	Angelika weiß, dass der Vater Fische bengelt, bevor er ans Ufer rudert.

6.2.3 Akustische Analysen

Nach demselben Vorgehen wie in Experiment 2 wurden auch in Experiment 3 akustische Analysen der Satzmaterialien hinsichtlich der Wortlängen und der Grundfrequenz vorgenommen³⁶.

Daueranalysen Anfang und Ende eines jeden Wortes (bzw. Wortgruppe) in jedem Satz wurden in allen acht experimentellen Bedingungen mittels auditorischer Inspektion des Sprachsignals und visueller Inspektion sowohl von Oszillogramm als auch Spektrogramm bestimmt. Die Wortlänge wurde als zeitliche Differenz zwischen Wortende und Wortanfang berechnet. Für jedes Element im Satz wurden für alle Bedingungen separat Mittelwerte und Standardabweichung der Wortlänge über alle 48 Items ermittelt (siehe Abbildung 6.1).

³⁶Dabei wurde aus ökonomischen Gründen eine Reihe von Satzkonstituenten zu Wortgruppen zusammengefasst.

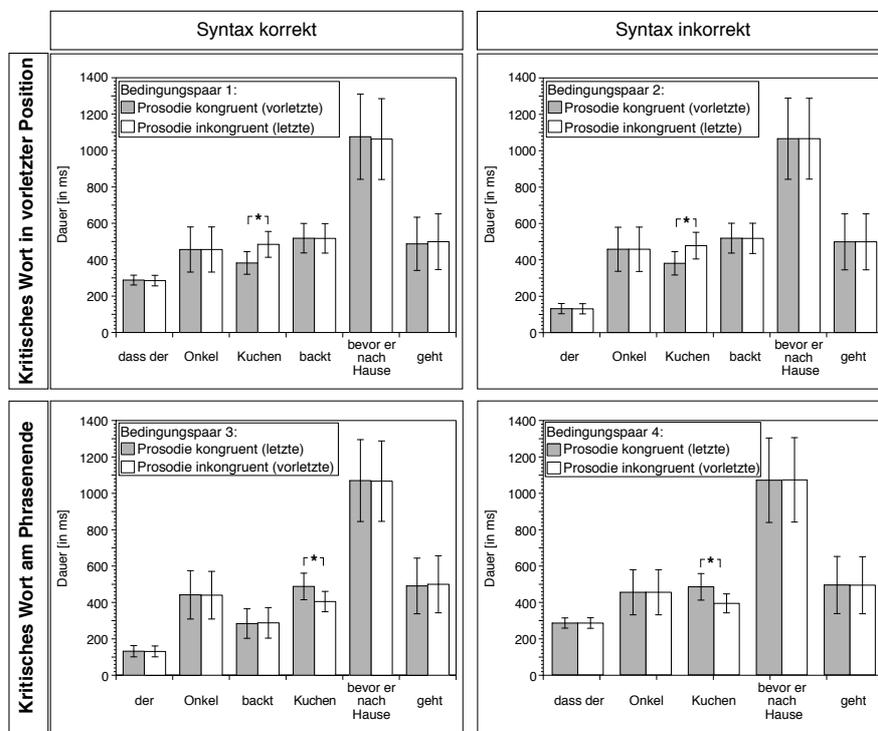


Abbildung 6.1: Paarweise Darstellung der mittleren Wortlängen für jedes Element der vier Bedingungs-paare in Experiment 3. Ein * zeigt statistisch signifikante Unterschiede an.

Die Ergebnisse der für jedes der vier Bedingungs-paare separat berechneten paarweisen t-Tests zu Unterschieden in der Länge des kritischen Wortes zwischen der prosodisch kongruenten (a) und prosodisch inkongruenten (b) Bedingung können Tabelle 6.3 entnommen werden (keine signifikanten Unterschiede auf den übrigen Elementen im Satz, alle $F_s < 1$). Die statistischen Analysen des Dauerparameters bestätigten, dass in letzter Position einer Satzphrase produzierte kritische Wörter signifikant länger waren als kritische Wörter, die in vorletzter Position einer Satzphrase produziert worden waren. Dieser Befund spricht dafür, dass in dem verwendeten Satzmaterial das Ende der kritischen Satzphrase mit dem Ende einer Intonationsphrase zusammenfällt und dies durch eine Intonationsphrasengrenze (IPh) prosodisch markiert wurde. Die Analysen zeigten auch, dass die kritischen Wörter in Experiment 3 im Mittel um 54 ms länger waren als in Experiment 2. Dies kann auf eine infolge

der erhöhten Komplexität und Gesamtlänge der Sätze in Experiment 3 reduzierte allgemeine Sprechgeschwindigkeit zurückgeführt werden, da eine generell erhöhte Wortlänge in Experiment 3 im Vergleich zu Experiment 2 auch auf anderen Satzkonstituenten ermittelt wurde.

Tabelle 6.3: Mittlere Wortlängen des kritischen Wortes (dur in ms) für jede der acht experimentellen Bedingungen in Experiment 3 und Ergebnisse der paarweisen t-Tests.

Bedingung	dur	t	p
1a	382	-14.1	<.0001
1b#	484		
2a*	380	-15.9	<.0001
2b*#	477		
3a	488	14.1	<.0001
3b#	405		
4a*	484	13.3	<.0001
4b*#	393		

Grundfrequenzanalysen Parallel zum Vorgehen in Experiment 2 wurden für die Analyse der Grundfrequenz die F0-Werte an vier verschiedenen Punkten bestimmt: Onset, Maximum, Minimum und Offset der F0-Kontur eines jeden Wortes (bzw. Wortgruppe). Die mittleren Grundfrequenzverläufe für alle acht Bedingungen in Experiment 3 sind in Abbildung 6.2 zu sehen. Um den Einfluss der prosodische Manipulation auf die F0-Kontur zu überprüfen, wurden für jedes der vier Bedingungs-paare für jedes Wort (bzw. Wortgruppe) und jede der vier ermittelten F0-Werte (Onset, Maximum, Minimum, Offset) separat paarweise t-Tests gerechnet, um prosodisch kongruente (a) und prosodisch inkongruente (b) Bedingungen zu vergleichen. Wie schon in Experiment 2 wurden auch hier signifikante Unterschiede ausschließlich auf dem kritischen Wort beobachtet. Diese sind in Tabelle 6.4 zusammengefasst.

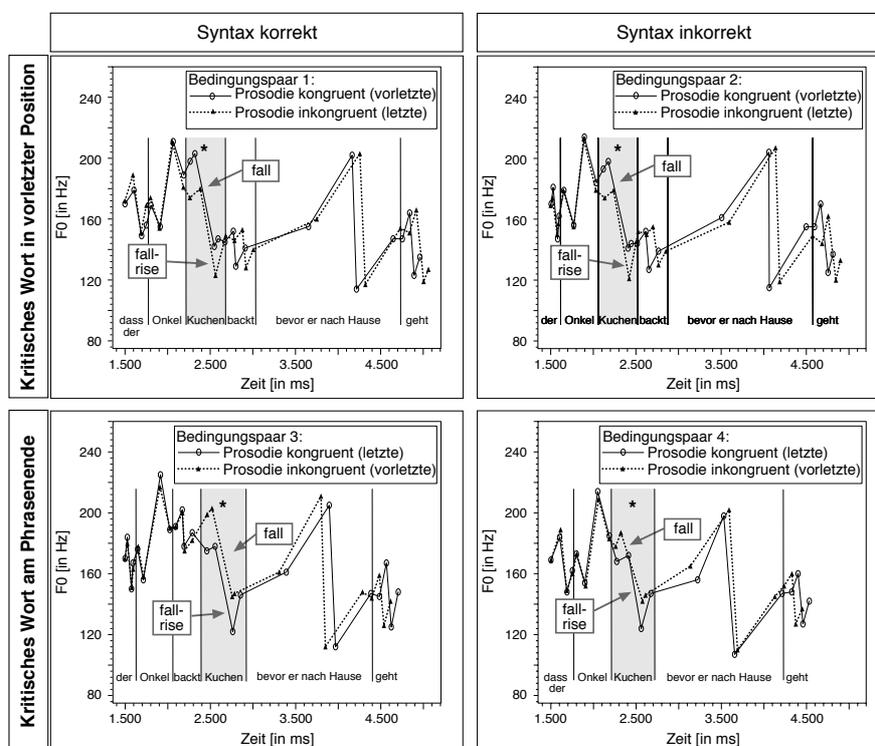


Abbildung 6.2: Darstellung der mittleren Grundfrequenzwerte an Onset, Maximum, Minimum und Offset (abgetragen über den jeweils mittleren Zeitpunkten) jedes Wortes aller acht experimentellen Bedingungen in Experiment 3. Für jedes Bedingungs paar wurde der Satz mit dem in phrasenfinaler Position produzierten kritischen Wort kontrastiert zu dem Satz, der das in vorletzter Position der Satzphrase produzierte kritische Wort enthält. Ein * zeigt statistisch signifikante Unterschiede an.

Vergleichbar zu Experiment 2 ergaben die statistischen Analysen auch in Experiment 3, dass in allen vier Bedingungs paaren signifikante Unterschiede zwischen prosodisch kongruentem und inkongruentem kritischem Wort in der Grundfrequenz bestanden. Am Phrasenende produzierte kritische Wörter lagen generell niedriger und endeten auf einen Grenztone (fall-rise, siehe Abbildung 6.2). Im Gegensatz dazu wiesen in vorletzter Position einer Satzphrase produzierte kritische Wörter durchgängig höhere Grundfrequenzwerte auf und zeigten eine monotone F0-Kontur (fallender Ton)³⁷.

³⁷Wie bereits in Experiment 2 detailliert beschrieben, erfüllen alle erwähnten Grundfrequenzunterschiede das Perzeptionsschwellenkriterium (Rietveld & Gussenhoven, 1985)

Tabelle 6.4: Mittlere Grundfrequenzwerte (F0) des kritischen Wortes (in Hz) für jede der acht experimentellen Bedingungen in Experiment 3 und Ergebnisse der paarweisen t-Tests. Abkürzungen: Bed=Bedingung.

Bed	Wortonset			Maximum			Minimum			Wortoffset		
	F0	t	p	F0	t	p	F0	t	p	F0	t	p
1a	198	2.73	<.01	203	2.6	.01	142	4.2	<.0001	147	-0.67	.49
1b#	174			180			123			149		
2a*	193	2.5	<.05	198	2.5	<.05	141	4.9	<.0001	144	-2.5	.01
2b*#	174			179			121			152		
3a	175	-2.6	.01	178	-2.6	.01	122	-5.5	<.0001	146	-0.2	.83
3b#	199			203			145			147		
4a*	168	-1.5	.15	172	-3.2	<.01	124	-4.3	<.0001	147	0.3	.76
4b*#	178			187			142			146		

Zusammenfassend signalisierten die am Phrasenende produzierten kritischen Wörter (Bedingungen 1b, 2b, 3a und 4a) sowohl über ihre Länge als auch über ihren F0-Verlauf (fall-rise) eine IPH. Im Gegensatz dazu zeigten die in vorletzter Position der Satzphrase produzierten kritischen Wörter (Bedingungen 1a, 2a, 3b und 4b) typische prosodische Merkmale eines phrasenmedialen Elements. Damit belegen die akustischen Analysen, dass die angewandte Splicing-Technik in allen vier Bedingungs-paaren die intendierte prosodische Manipulation erzielte.

6.2.4 Versuchsdurchführung

Randomisierung Das Vorgehen zur Erstellung der Präsentationslisten war identisch zu Experiment 2 (siehe Abschnitt 5.2.4).

Darbietung Wiederum bestand die Aufgabe der Probanden darin, die Grammatikalität der gehörten Sätze zu beurteilen (richtig vs. falsch). Die Darbietung der 384 Experimentalsätze in Experiment 3 erfolgte wie in Experiment 2 beschrieben (siehe Abschnitt 5.2.4)³⁸. Die

³⁸Im Unterschied zu Experiment 2 wurde jedoch nach dem Ende eines jeden Satzes eine Pause von nur 1500 ms eingelegt, bevor der Antwortbildschirm eingeblendet wurde, da die für die EKPs kritische Region nicht am Satzende lag. Um dennoch das Tempo der Präsentation vergleichbar zu Experiment 2 zu halten, wurde das

Präsentation des Satzmaterials wurde jedoch infolge der erhöhten Länge der einzelnen Sätze in sechs Blöcke unterteilt, welche jeweils etwa 11 Minuten dauerten. Zwischen den Blöcken wurden kurze Pausen eingelegt, so dass die Gesamtdauer von Experiment 3 maximal 80 Minuten betrug.

Probanden An Experiment 3 nahmen 24 deutsche Muttersprachler (davon 12 Frauen) im Alter zwischen 21 und 29 Jahren (Mittelwert: 24;4 Jahre) teil. Alle Probanden waren rechtshändig (entsprechend Oldfield, 1971) und berichteten keinerlei neurologische oder sprachliche Beeinträchtigungen. Die Teilnahme am Experiment wurde mit 7,50 Euro/h vergütet.

Elektrophysiologische Ableitung und Datenaufzeichnung Die Messung des EEGs und die Datenaufzeichnung erfolgten in derselben Weise wie in Experiment 2 (siehe Abschnitt 5.2.4).

6.2.5 Datenanalyse

Bei der Datenanalyse in Experiment 3 wurde das gleiche Vorgehen gewählt wie in Experiment 2 (siehe Abschnitt 5.2.5). In Experiment 3 wurden 6,74 % der richtig beantworteten Durchgänge aufgrund von EEG-Artefakten von der weiteren Analyse ausgeschlossen (kein signifikanter Unterschied zwischen den experimentellen Bedingungen).

Die Zeitfenster für die statistische Analyse der EKPs wurden auf Basis visueller Inspektion und ausgehend von den Ergebnissen von sukzessiven 50-ms-Analysen ausgewählt, wobei möglichst vergleichbare Zeitfenster für die einzelnen Bedingungspaare definiert werden sollten. Es wurden drei Zeitfenster festgelegt: 300-500 ms, 500-700 ms und 800-1200 ms. Parallel zu Experiment 2 wurden die topografischen Variablen ELEKTRODE für die Mittellinienelektroden bzw. HEMISPHERE und REGION für die lateralen Elektroden in die Analysen einbezogen. Im Anschluss an die paarweisen Analysen für die Bedingungs-paare 1 bis 4 hinsichtlich der experimentellen Variable PROSODIE wurden weitere Analysen zur Interaktivität der beobachteten EKP-Effekte durchgeführt. Sobald eine der enthaltenen

ISI auf 2500 ms erhöht. Gleichzeitig gab dies den Probanden mehr Zeit, um zwischen den langen Sätzen zu blinzeln und die Augen zu entspannen.

Variablen mehr als zwei Zählerfreiheitsgrade aufwies, wurden korrigierte p-Werte berichtet (Geisser & Greenhouse, 1959).

6.3 Ergebnisse

6.3.1 Behaviorale Daten

Die Performanz beim Grammatikalitätsurteil in Experiment 3 war sehr gut: über Bedingungen hinweg wurden 98.6 % aller Sätze richtig beurteilt. Dabei zeigten sich in einer über die Fehlerdaten gerechneten ANOVA mit Messwertwiederholung mit den Variablen STRUKTUR, PROSODIE und SYNTAX keinerlei Haupteffekte oder Interaktionen (alle $p > .18$).

6.3.2 EKP-Daten

6.3.2.1 Paarweise Analysen

Bedingungspaar 1: Kritisches Wort in vorletzter Position der Satzphrase und Syntax korrekt (Prosodische Inkongruenz Typ I). In den EKPs in Bedingungspaar 1 fällt deskriptiv vor allem eine späte Positivierung nach 800 ms für die prosodisch inkongruenten Sätze auf (siehe Abbildung 6.3). Die Ergebnisse der statistischen Analysen sind in Tabelle 6.5 aufgeführt. In den ersten beiden Zeitfenstern (300-500 und 500-700 ms) erreichten weder Haupteffekte noch Interaktionen zwischen den Variablen das Signifikanzniveau. Im letzten Zeitfenster zwischen 800 und 1200 ms bestätigten reliable Haupteffekte der Variable PROSODIE auf lateralen ($\Delta = +0.75 \mu V$) und Mittellinienelektroden ($\Delta = +1.29 \mu V$) eine späte Positivierung für prosodisch inkongruente Wörter, welche prosodisch das Phrasenende signalisieren, nach denen dann aber doch noch ein weiteres zur aktuellen Satzphrase zugehöriges Wort folgt³⁹.

³⁹Die marginal signifikante dreifach-Interaktion PROSODIE x REGION x HEMISPHERE zeigte an, dass die späte Positivierung zumindest tendenziell einen links-zentralen Schwerpunkt aufwies (links-anterior: $F(1,23)=7.68$, $p=.05$, $\Delta = +1.02 \mu V$; links-zentral: $F(1,23)=10.15$, $p<.01$, $\Delta = +0.97 \mu V$, links-posterior: $F(1,23)=8.35$, $p<.05$, $\Delta = +0.99 \mu V$; rechts-posterior: $F(1,23)=4.87$, $p<.05$, $\Delta = +0.81 \mu V$, alle anderen $p > .22$).

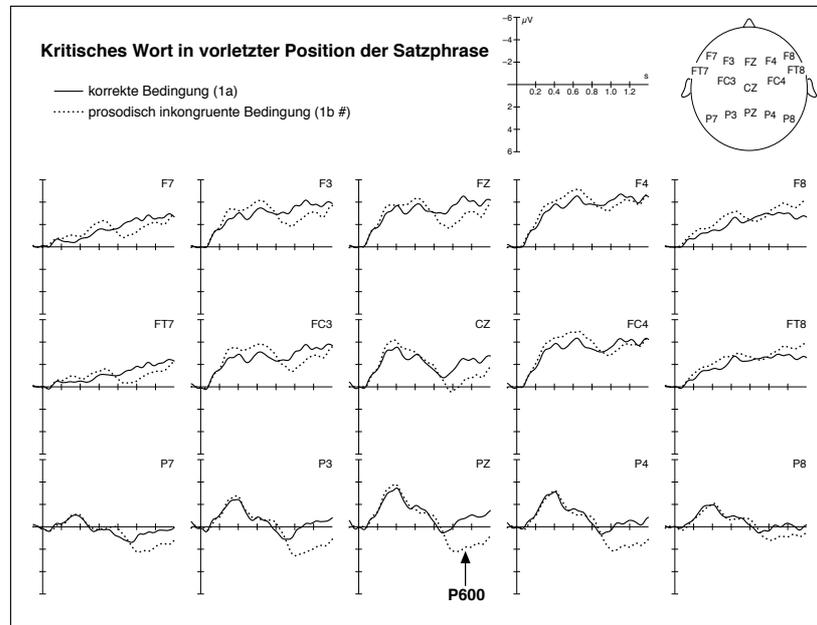


Abbildung 6.3: Gemittelte EKPs für Bedingungspar 1 in Experiment 3. Die durchgezogene Linie entspricht der prosodisch kongruenten Bedingung, die Punktlinie entspricht der prosodisch inkongruenten Bedingung. Der Beginn des kritischen Wortes ist mit dem Nullpunkt der Zeitachse abgeglichen.

Tabelle 6.5: Statistische Analysen der EKPs in Experiment 3 für das Bedingungspar 1 (kritisches Wort in vorletzter Position der Satzphrase, Syntax korrekt). Die ANOVAs beinhalteten die experimentelle Variable PROSODIE (P) sowie die topografischen Variablen HEMISPHERE (H) und REGION (R) für laterale Elektroden (l) sowie ELEKTRODE (E) für die Mittellinienelektroden (m).

	Quelle	dF	Zeitfenster					
			300-500 ms		500-700 ms		800-1200 ms	
			F	p	F	p	F	p
l	P	1,23	3.14	.09	1.67	.21	6.58	<.05
	P x R	2,46	1.24	.28	3.0	.09	<1	
	P x H	1,23	<1		<1		2.56	.12
	P x R x H	2,46	<1		1.64	.21	3.05	.06
m	P	1,23	2.22	.15	<1		7.5	.01
	P x E	2,46	<1		1.52	.23	<1	<.001

Bedingungspaar 2: Kritisches Wort in vorletzter Position der Satzphrase und Syntax inkorrekt (Prosodische Inkongruenz Typ I). Wenn die präsentierten Sätze hingegen wie in Bedingungspaar 2 einen syntaktischen Fehler enthielten, wurden auf dem kritischen Wort in vorletzter Position der Satzphrase keinerlei statistisch bedeutsamen Effekte der prosodischen Manipulation gefunden (siehe Abbildung 6.4 und Tabelle 6.6)⁴⁰.

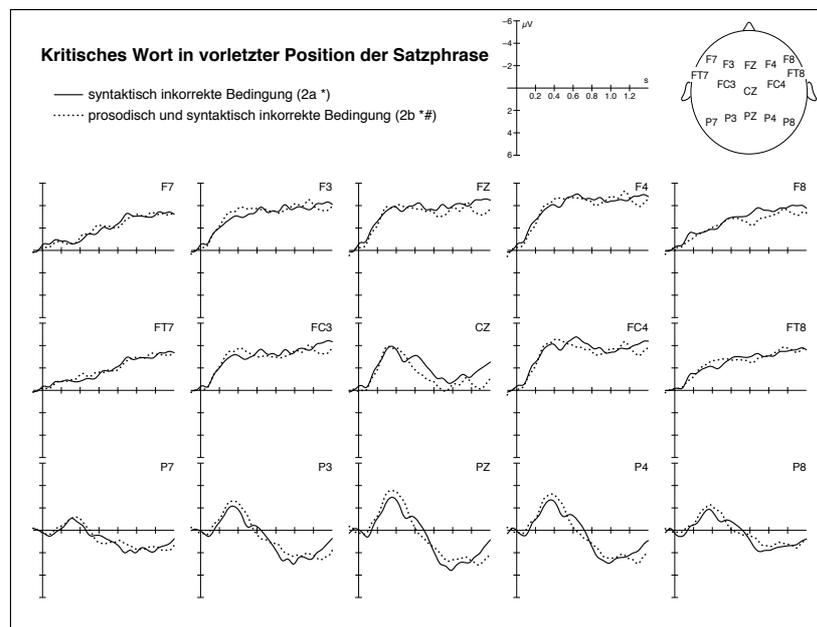


Abbildung 6.4: Gemittelte EKPs für Bedingungspaar 2 in Experiment 3. Die durchgezogene Linie stellt die prosodisch kongruente Bedingung dar, die prosodisch inkongruente Bedingung ist gepunktet abgetragen. Der Beginn des kritischen Wortes entspricht dem Nullpunkt der Zeitachse.

⁴⁰Trotz der signifikanten Interaktion PROSODIE x REGION zwischen 800 und 1200 ms ergaben Subanalysen in keiner Region reliable Haupteffekte (alle ps >.15)

Tabelle 6.6: Statistische Analysen der EKPs in Experiment 3 für das Bedingungspar 2 (kritisches Wort in vorletzter Position der Satzphrase, Syntax inkorrekt). Die ANOVAs beinhalteten die experimentelle Variable PROSODIE (P) sowie die topografischen Variablen HEMISPHERE (H) und REGION (R) für laterale Elektroden (l) sowie ELEKTRODE (E) für die Mittellinienelektroden (m).

	Quelle	dF	Zeitfenster					
			300-500 ms		500-700 ms		800-1200 ms	
			F	p	F	p	F	p
l	P	1,23	2,89	.10	<1		<1	
	P x R	2,46	<1		1,25	.28	4,85	<.05
	P x H	1,23	<1		<1		<1	
	P x R x H	2,46	<1		<1		<1	
m	P	1,23	2,05	.17	<1		<1	
	P x E	2,46	2,43	.13	2,39	.11	3,25	.07

Bedingungspar 3: Kritisches Wort in phrasenfinaler Position und Syntax korrekt (Prosodische Inkongruenz Typ II). Die EKP-Ergebnisse für Bedingungspar 3 sind in Abbildung 6.5 zu sehen. Deskriptiv fällt ein biphasisches Muster bestehend aus einer breit verteilten Negativierung um 600 ms gefolgt von einer späten Positivierung für das prosodisch inkongruente kritische Wort auf. Diese Beobachtung wird in den statistischen Analysen bestätigt (siehe Tabelle 6.7): Während sich für das erste Zeitfenster keine signifikanten Effekte fanden, konnte zwischen 500 und 700 ms eine breit verteilte Negativierung für prosodisch inkongruente Wörter abgesichert werden (Haupteffekt PROSODIE mit $\Delta = -1.42 \mu\text{V}$ auf lateralen Elektroden und $\Delta = -1.91 \mu\text{V}$ auf Mittellinienelektroden). Die nachfolgende Positivierung wurde im Zeitfenster zwischen 800 und 1200 ms statistisch bestätigt: Neben einer reliablen Positivierung auf der Mittellinie ($\Delta = +1.13 \mu\text{V}$)⁴¹ zeigte sich ein marginaler Haupteffekt auf den lateralen Elektroden zusammen mit einer reliablen dreifach-Interaktion PROSODIE x REGION x HEMISPHERE. Subanalysen pro ROI ergaben, dass die späte Positivierung ihre maximale Ausprägung über rechts-posterioren Elektroden erreichte (links-zentral: $F(1,23) = 4.02$, $p = .05$, $\Delta = +0.59 \mu\text{V}$, links-posterior: $F(1,23) = 6.68$, $p < .05$, $\Delta = +0.71 \mu\text{V}$; rechts-posterior: $F(1,23) = 7.59$, $p = .01$, $\Delta = +0.84 \mu\text{V}$).

⁴¹Die Interaktion PROSODIE x ELEKTRODE resultiert aus einer signifikanten Positivierung auf CZ und PZ, jedoch nicht auf FZ.

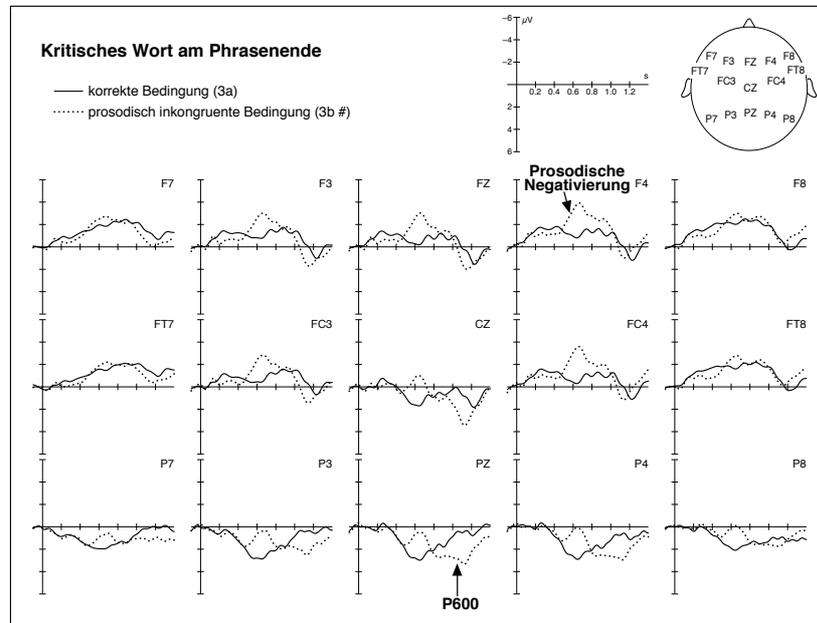


Abbildung 6.5: Gemittelte EKPs für Bedingungspar 3 in Experiment 3. Die durchgezogene Linie zeigt die prosodisch kongruente Bedingung, die prosodisch inkongruente Bedingung ist gepunktet dargestellt. Der Beginn des kritischen Wortes entspricht dem Nullpunkt der Zeitachse.

Tabelle 6.7: Statistische Analysen der EKPs in Experiment 3 für das Bedingungspar 3 (kritisches Wort am Phrasenende, Syntax korrekt). Die ANOVAs beinhalteten die experimentelle Variable PROSODIE (P) sowie die topografischen Variablen HEMISPHERE (H) und REGION (R) für laterale Elektroden (l) sowie ELEKTRODE (E) für die Mittellinienelektroden (m).

	Quelle	dF	Zeitfenster					
			300-500 ms		500-700 ms		800-1200 ms	
			F	p	F	p	F	p
l	P	1,23	<1		17.91	<.001	3.53	.07
	P x R	2,46	2.53	.12	<1		1.67	.21
	P x H	1,23	<1		2.03	.17	<1	
	P x R x H	2,46	<1		<1		4.72	<.05
m	P	1,23	<1		12.58	<.01	5.76	<.05
	P x E	2,46	<1		<1		6.27	<.01

Bedingungspar 4: Kritisches Wort in phrasenfinaler Position und Syntax inkorrekt (Prosodische Inkongruenz Typ II). Abbildung 6.6 zeigt die gemittelten EKPs für Bedingungspar 4. Die statistischen Analysen identifizierten in allen drei Zeitfenstern reliable Effekte der prosodischen Manipulation (siehe Tabelle 6.8):

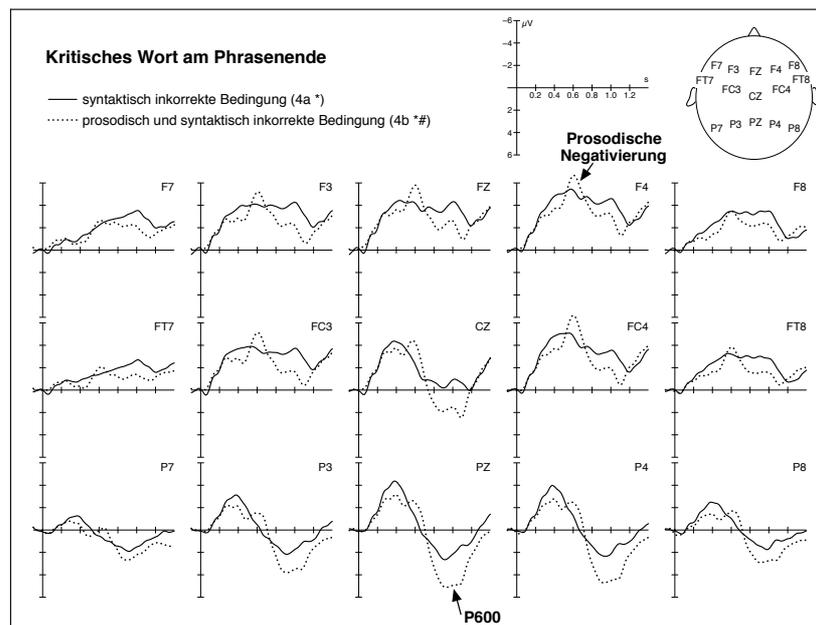


Abbildung 6.6: Gemittelte EKPs für Bedingungspar 4 in Experiment 3. Die durchgezogene Linie stellt die prosodisch kongruente Bedingung dar, die gepunktete Linie zeigt die prosodisch inkongruente Bedingung. Der Beginn des kritischen Wortes entspricht dem Nullpunkt der Zeitachse.

Für das erste Zeitfenster zwischen 300 und 500 ms zeigte sich eine signifikante frühe Positivierung, welche breit verteilt war (Haupteffekt PROSODIE lateral mit $\Delta=+0.96\mu\text{V}$ und auf der Mittellinie mit $\Delta=+0.91\mu\text{V}$). Im zweiten Zeitfenster von 500 bis 700 ms konnte eine breit verteilte Negativierung für prosodisch inkongruente Wörter abgesichert werden (Haupteffekt PROSODIE mit $\Delta=-0.55\mu\text{V}$ auf lateralen Elektroden und $\Delta=-1.04\mu\text{V}$ auf Mittellinienelektroden). Im späten Zeitfenster zwischen 800 und 1200 ms wurde eine nachfolgende Positivierung beobachtet, welche breit über alle Elektroden verteilt war. Die signifikante dreifach-Interaktion PROSODIE \times REGION \times HEMISPHÄRE belegt, dass die späte Positivierung über rechts-posterioren Elektroden ihre maximale Ausprägung auf-

wies (alle ROIs $p < .01$, links-frontal $\Delta = +1.45 \mu\text{V}$, rechts-frontal $\Delta = +1.20 \mu\text{V}$, links-zentral $\Delta = +1.33 \mu\text{V}$, rechts-zentral $\Delta = +1.47 \mu\text{V}$, links-posterior $\Delta = +1.10 \mu\text{V}$, rechts-posterior $\Delta = +1.51 \mu\text{V}$).

Tabelle 6.8: Statistische Analysen der EKPs in Experiment 3 für das Bedingungs paar 4 (kritisches Wort am Phrasenende, Syntax inkorrekt). Die ANOVAs beinhalteten die experimentelle Variable PROSODIE (P) sowie die topografischen Variablen HEMISPHERE (H) und REGION (R) für laterale Elektroden (l) sowie ELEKTRODE (E) für die Mittellinienelektroden (m).

	Quelle	dF	Zeitfenster					
			300-500 ms		500-700 ms		800-1200 ms	
			F	p	F	p	F	p
l	P	1,23	18.15	<.001	4.10	.05	23.09	<.0001
	P x R	2,46	<1		<1		<1	
	P x H	1,23	<1		<1		<1	
	P x R x H	2,46	<1		<1		4.0	<.05
m	P	1,23	5.17	<.05	6.09	<.05	25.81	<.0001
	P x E	2,46	<1		<1		1.47	.24

Überblick über die EKP-Effekte in den vier Bedingungs paaren Zusammenfassend ergibt sich aus den paarweisen Analysen der EKP-Daten für die vier Bedingungs paare in Experiment 3 folgendes Bild (siehe auch Überblick in Abbildung 6.7). Für die prosodische Manipulation auf dem vorletzten Wort einer Satzphrase wurde zwischen 800 und 1200 ms für prosodisch inkongruente Wörter (prosodische Inkongruenz Typ I) eine Positivierung registriert, welche ihre maximale Ausprägung über links-zentralen Elektroden erreichte und nur bei syntaktisch korrekten Sätzen beobachtet werden konnte (Bedingungs paar 1), nicht jedoch für syntaktisch inkorrekte Sätze (Bedingungs paar 2).

Für die prosodische Inkongruenz vom Typ II wurde am Phrasenende zwischen 500 und 700 ms sowohl bei syntaktisch korrekten als auch bei syntaktisch inkorrekten Sätzen eine breit verteilte Negativierung für prosodisch inkongruente kritische Wörter gefunden (Bedingungs paare 3 und 4). In einem späten Zeitfenster von 800 bis 1200 ms zeigte sich für prosodisch inkongruente kritische Wörter am Phrasenende eine Positivierung in den EKPs. Diese als P600 identifizierte späte Positivierung wurde sowohl in syntaktisch korrekten Sät-

zen (Bedingungspar 3) als auch in syntaktisch inkorrekten Sätzen (Bedingungspar 4) mit einem Maximum jeweils über dem rechts-posterioren ROI beobachtet.

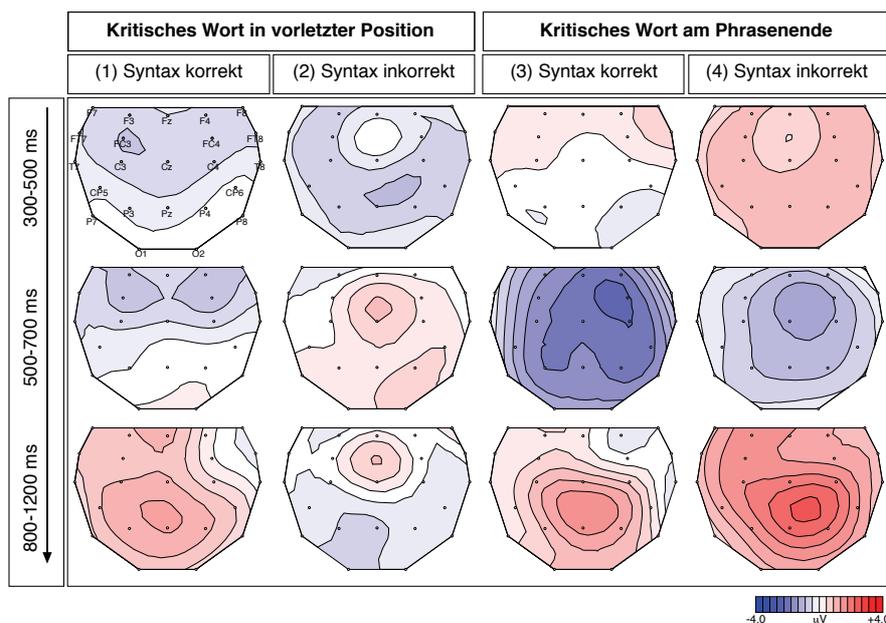


Abbildung 6.7: Topografische Maps in Experiment 3 auf Basis der EKP-Differenzen zwischen der prosodisch inkongruenten (b) minus der prosodisch kongruenten (a) Bedingung für jedes der vier Bedingungs-paare in jedem der drei Zeitfenster.

Zusätzlich fand sich in einem frühen Zeitfenster zwischen 300 und 500 ms für prosodisch inkongruente Wörter am Phrasenende in syntaktisch inkorrekten Sätzen (Bedingungspar 4) eine kleine breit verteilte Positivierung, welche möglicherweise (parallel zu Experiment 2) als unmittelbare Überraschungsreaktion auf das unvermittelte Phrasenende angesehen werden könnte.

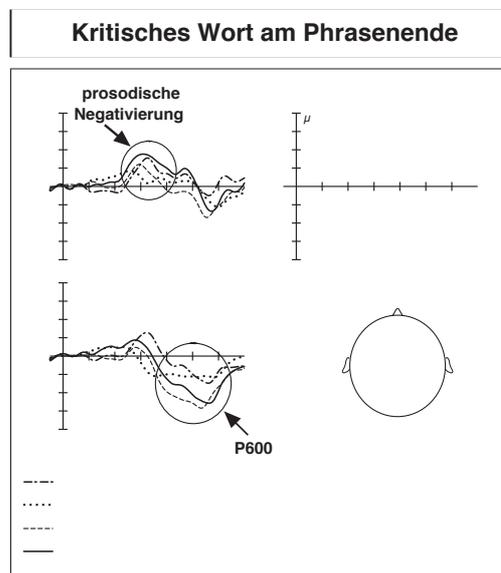
6.3.2.2 Interaktivitätstest

In einer weiteren Analyse sollte bestimmt werden, ob sich bei den in den Bedingungs-paaren 3 und 4 beobachteten EKP-Komponenten (prosodische Negativierung 500-700 ms, rechts-posteriore Positivierung 800-1200 ms) Anhaltspunkte für eine Interaktion zwischen Prosodie

und Syntax finden ließen. Hierfür wurde das gleiche Vorgehen wie in Experiment 2 angewandt (siehe Abschnitt 5.3.2.2).

Folgende EKP-Differenzen wurden berechnet (siehe Abbildung 6.8): Von Bedingung 3b wurde Bedingung 3a subtrahiert, um den Effekt der rein prosodischen Manipulation (Syntax korrekt) auf dem kritischen Wort am Phrasenende zu erhalten. Weiterhin wurde die Differenz zwischen Bedingung 4a und Bedingung 1a berechnet, um den Effekt der rein syntaktischen Manipulation (Prosodie kongruent) auf dem kritischen Wort am Phrasenende zu isolieren. Schließlich wurde die Differenz zwischen Bedingung 4b und Bedingung 1a ermittelt, wodurch sich die EKP-Effekte der kombinierten prosodisch-syntaktischen Manipulation ergaben. Der hypothetische Verlauf der EKPs im Falle der völligen Unabhängigkeit der Variablen Syntax und Prosodie wurde als Summe der rein prosodischen und der rein syntaktischen Effekte angenommen, indem die Differenzkurven für den rein prosodischen Effekt (Bedingung 3b-3a) und für den rein syntaktischen Effekt (Bedingung 4a-1a) addiert wurden (siehe Abbildung 6.8).

Abbildung 6.8: EKP-Differenzen zum Vergleich des rein prosodischen EKP-Effekts, des rein syntaktischen EKP-Effekts, des kombinierten prosodisch-syntaktischen EKP-Effekts und der errechneten Summe von Prosodie- und Syntaxeffekt. Der Beginn des kritischen Wortes entspricht dem Nullpunkt auf der Zeitachse.



In den statistischen Analysen wurde auf Unterschiede zwischen der empirischen registrierten EKP-Differenzkurve für den kombinierten Syntax-Prosodie-Effekt und der hypothe-

tischen Summe beider einfacher Effekte bei angenommener Unabhängigkeit von Prosodie und Syntax geprüft. Diese Analyse wurde für die drei zuvor verwendeten Zeitfenster (300-500 ms, 500-700 ms, 800-1200 ms) berechnet und beinhaltet weiterhin die bereits beschriebenen topografischen Variablen.

Im ersten Zeitfenster fanden sich weder signifikante Haupteffekte noch Interaktionen (alle $p > .10$). Zwischen 500 und 700 ms zeigte sich ein signifikanter Haupteffekt auf den lateralen Elektroden ($F(1,23)=6.04$, $p < .05$, alle anderen $p > .13$). Dieser Befund zeigt an, dass sich die auf prosodisch inkongruenten phrasenfinalen Wörtern beobachtete prosodische Negativierung für syntaktisch korrekte Sätze (3b) von der für dieselbe prosodische Manipulation in syntaktisch inkorrekten Sätzen (4b) registrierten prosodischen Negativierung signifikant unterschied. Dies reflektiert sich auch in den mittleren Amplitudendifferenzen für die prosodische Negativierung, welche bei der rein prosodischen Inkongruenz (3b-3a) mit $\Delta = -1.42 \mu V$ signifikant größer war als bei der kombinierten Verletzung (4b-1a) mit $\Delta = -0.73 \mu V$. Das interaktive Verhältnis der Variablen Prosodie und Syntax im Bereich der prosodischen Negativierung in Experiment 3 muss somit zunächst als unter-additiv charakterisiert werden.

Im späten Zeitfenster zwischen 800 und 1200 ms zeigte sich ebenfalls ein signifikanter Haupteffekt auf den laterale Elektroden ($F(1,23)=7.45$, $p = .01$; alle anderen $p > .15$). Damit lässt sich auch im späten Zeitfenster eine Interaktion zwischen Syntax und Prosodie bestätigen. Die späte Interaktion resultiert daraus, dass die späte Positivierung in der kombinierten prosodisch-syntaktischen Bedingung substanziell größer war ($\Delta = +1.93 \mu V$), als die berechnete Summe ($\Delta = +1.06 \mu V$) aus rein prosodischer Positivierung ($\Delta = +0.47 \mu V$) und rein syntaktischer Positivierung ($\Delta = +0.59 \mu V$). Damit kann das Verhältnis von Prosodie und Syntax im Zeitfenster der P600 in Experiment 3 als über-additiv beschrieben werden.

6.4 Diskussion

Das dritte Experiment wurde primär mit dem Ziel der Replikation der bislang in der Literatur noch nicht berichteten prosodischen Negativierung durchgeführt, welche entsprechend ihrer Verteilung auf der Schädeloberfläche in Experiment 2 als „RAN“ bezeichnet worden war.

Weiterhin sollte getestet werden, ob die in Experiment 2 beobachteten Effekte auch über das Satzende hinaus generalisierbar sind. Dafür wurde das Satzmaterial aus Experiment 2 adaptiert und so erweitert, dass die Manipulation der experimentellen Variablen Prosodie und Syntax nun auf vorletzter und letzter Position einer Satzphrase lokalisiert war.

Im folgenden werden die in Experiment 3 beobachteten Effekte im Kontext der Befunde von Experiment 2 diskutiert:

Prosodische Negativierung: Index prosodischer Verarbeitung Wie in Experiment 2 konnte auch in Experiment 3 für die beiden Bedingungs-paare 3 und 4 eine Negativierung infolge der prosodischen Manipulation (Typ II) beobachtet werden. Allerdings unterschieden sich die in Experiment 3 am Phrasenende registrierten prosodischen Negativierungen von den RAN-Effekten aus Experiment 2 hinsichtlich dreier Parameter:

Erstens begann die prosodische Negativierung in Experiment 3 (ab 500 ms) mit einer Latenzverzögerung von etwa 50 ms im Vergleich zur RAN in Experiment 2 (ab 450 ms). Dieser Latenzunterschied lässt sich im Hinblick auf die Ergebnisse der akustischen Analysen (siehe Abschnitt 6.2.3) durch die erhöhte Länge des kritischen Wortes in Experiment 3 erklären (etwa 50 ms länger als in Experiment 2, siehe Abschnitt 5.2.3), da erst nach Ende des kritischen Wortes die prosodische Inkongruenz detektiert werden konnte.

Zweitens war in Experiment 2 gezeigt worden, dass die RAN statistisch unabhängig von der syntaktischen Manipulation der Sätze war (siehe Abschnitt 5.3.2.2). Daher wurde angenommen, dass die RAN als ein rein prosodischer Effekt angesehen werden könne. Diesbezüglich erscheinen jedoch die Ergebnisse von Experiment 3 zunächst widersprüchlich: In Experiment 3 wurde für die prosodische Negativierung eine signifikante Interaktion zwischen Prosodie und Syntax gefunden. Dieser Widerspruch könnte jedoch ein artifizierlicher Effekt sein, welcher möglicherweise durch prosodische Unterschiede im Satzmaterial bedingt ist. Während in Experiment 2 die akustischen Parameter der prosodisch inkongruenten Bedingungen (3b und 4b) streng vergleichbar waren, stellte sich in Experiment 3 trotz großer Anstrengungen bei der Produktion des Materials ein Unterschied zwischen den beiden prosodisch inkongruenten Bedingungen (3b und 4b) heraus. Sowohl in den Bedingungen 3b und 4b des Experiments 2 als auch in der Bedingung 3b des Experiments 3 wies das unmittelbar

vor dem kritischen Wort befindliche Wort einen vergleichbaren Grundfrequenzverlauf auf (fall-rise, d.h. Maximum vor Minimum). Im Unterschied dazu kann in Bedingung 4b des Experiments 3 der Grundfrequenzverlauf des Wortes vor dem kritischen Wort als rise-fall (Minimum vor Maximum) charakterisiert werden (vgl. Abbildungen 5.2 und 6.2). Dieses Muster reflektiert sich in den Effektgrößen der prosodischen Negativierung (Experiment 2 - Bedingungs paar 3 mit $\Delta=-1.2\mu\text{V}$ und Bedingungs paar 4 mit $\Delta=-1.3\mu\text{V}$ sowie Experiment 3 - Bedingungs paar 3 mit $\Delta=-1.42\mu\text{V}$ im Unterschied zu Experiment 3 - Bedingungs paar 4 mit $\Delta=-0.73\mu\text{V}$). Möglicherweise könnten die beschriebenen prosodischen Abweichungen einer geringeren perceptiven Salienz der prosodischen Manipulation in Bedingung 4b in Experiment 3 geführt haben, was in einer Reduktion der prosodischen Negativierung resultiert haben könnte. Dies würde sich in der statistischen Analyse als scheinbare Interaktion mit der Variable SYNTAX bemerkbar machen. Die Hypothese, dass die verschiedenen prosodischen Muster tatsächlich zu Unterschieden in der wahrgenommenen Salienz des prosodischen Widerspruchs führen und sich dies in der Amplitude der RAN spiegelt, muss jedoch durch weitere empirische Untersuchungen überprüft werden.

Drittens zeigten die statistischen Analysen in Experiment 3, dass die registrierte prosodische Negativierung in den Bedingungs paaren 3 und 4 breit über die Schädeloberfläche verteilt war. Bei genauer Inspektion der topografischen Differenz-Maps scheint jedoch zumindest deskriptiv die Verteilung aller vier prosodischen Negativierungen in den Bedingungs paaren 3 und 4 jeweils in den Experimenten 2 (siehe Abbildung 5.7) und 3 (siehe Abbildung 6.7) weitestgehend vergleichbar zu sein. Daraufhin wurden für Experiment 3 hypothesengeleitet Subanalysen auf ROI-Ebene durchgeführt, welche für beide Bedingungs paare (3 und 4) ein rechts-temporo-zentrales Maximum der prosodischen Negativierung ergaben (Bedingungs paar 3: alle ROIs $p<.01$, Effekt maximal rechts-temporo-zentral: $F(1,23)=16.7$, $p<.001$, $\Delta=-1.64\mu\text{V}$; Bedingungs paar 4: rechts-temporo-zentral $F(1,23)=5.33$, $p<.05$, $\Delta=-0.62\mu\text{V}$, alle anderen $ps>.09$). Daher soll die prosodische Negativierung hier als R(A)N bezeichnet werden. Die Gemeinsamkeiten der prosodischen Manipulationen, die zur RAN in Experiment 2 und zur R(A)N in Experiment 3 führten, und die ähnlichen rechts-lateralisierten Verteilungen legen eine funktionale Äquivalenz beider Effekte nahe.

Zusammenfassend kann damit auch für Experiment 3 festgehalten werden, dass die prosodische Information des kritischen Wortes über die Fortsetzung der Satzphrase in den Bedingungs-paare 3 und 4 (wie schon in Experiment 2) zu spezifischen prosodischen Erwartungen bezüglich des weiteren Inputs führt. Wenn der Input diesen Erwartungen dann nicht entspricht (z.B. Stille), zeigte sich auch am (prosodisch unerwarteten) Phrasenende eine prosodische Negativierung im EKP, womit sich die in *Hypothese 2* formulierte Erwartung bestätigt.

Späte Positivierungen: Integrative Prozesse Wie in Experiment 2 konnte auch in Experiment 3 eine späte Positivierung infolge der prosodischen und syntaktischen Verletzung auf dem kritischen Wort in phrasenfinaler Position beobachtet werden (Bedingungs-paare 3 und 4), was ebenfalls *Hypothese 2* bestätigt. Weiterhin trat in Experiment 3 auch eine späte Positivierung für die prosodisch inkongruente Bedingung mit dem kritischen Wort in vorletzter Position der Satzphrase auf (prosodische Inkongruenz Typ I), allerdings nur dann, wenn die Syntax korrekt war (Bedingungs-paar 1). Wiederum sollen im folgenden drei Unterschiede zwischen den in Experiment 2 und den in Experiment 3 beobachteten späten Positivierungen diskutiert werden.

Erstens kann die erhöhte Latenz der späten Positivierungen in Experiment 3 (zwischen 800 und 1200 ms) wiederum durch die generell erhöhte Länge der Wörter in den Sätzen von Experiment 3 erklärt werden.

Zweitens wurde in Experiment 3 für die prosodischen Manipulation des Typs I mit dem kritischen Wort an vorletzter Position der Satzphrase (Bedingungs-paar 1) nicht wie in Experiment 2 eine zentro-parietale Negativierung beobachtet, sondern vielmehr eine späte posteriore Positivierung, welche einer P600 gleicht. Damit kann *Hypothese 1* bezüglich der Generalisierbarkeit der in Experiment 2 am Satzende beobachteten prosodischen Negativierung auf andere Positionen im Satz nicht bestätigt werden: Die prosodische N400 trat nur am Satzende auf (Experiment 2), nicht jedoch am Phrasenende (Experiment 3). Der Befund, dass in Experiment 2 eine prosodische N400 auftrat, in Experiment 3 jedoch eine vergleichbare prosodische Manipulation am Phrasenende zu einem P600-Effekt führte, könnte folgendermaßen interpretiert werden: Die prosodische N400 kann als Indiz dafür angesehen werden,

dass infolge eines prosodischen Signals für das Ende des aktuellen Satzes auf lexikalischer Ebene keine weiteren Elemente erwartet werden. Wenn dann dennoch ein (prosodisch unerwartetes) weiteres Wort in den aktuellen Satz integriert werden muss, führt dies zu erhöhten lexikalischen Verarbeitungskosten. Anders jedoch bei einem prosodischen Signal für das Ende einer Satzphrase: Hier wird eine Fortsetzung des aktuellen Satzes in der nächsten Satzphrase erwartet, wodurch auch auf lexikalischer Ebene die Integration weiterer Elemente bereits antizipiert wird. Die in Experiment 3 beobachtete P600 könnte vielmehr als Korrelat der Revision der prosodischen Struktur des Satzes interpretiert werden, welche die Integration weiteren Inputs in die korrigierte prosodische Struktur ermöglicht (vgl. Steinhauer et al., 1999).

Drittens gelang es, die auf Basis tendenzieller Befunde aus Experiment 2 in *Hypothese 3* vermutete Interaktion zwischen Prosodie und Syntax im Zeitfenster der P600 in Experiment 3 statistisch abzusichern. Hierbei soll betont werden, dass ein interaktives P600-Muster beobachtet wurde, obwohl die Salienz der prosodischen Inkongruenz in der kombinierten Verletzungsbedingung (4b) möglicherweise reduziert war (reduzierte prosodische Negativierung).

Innerhalb von Experiment 3 ließen sich weiterhin folgende topografischen Unterschiede im Bereich der späten Positivierungen ausmachen: Die P600-Effekte am Phrasenende (Bedingungspaare 3 und 4) wiesen eine vergleichbare Verteilung mit einem Maximum über rechts-posterioren Elektroden auf (siehe Abbildung 6.7). Dies stimmt mit den Befunden aus Experiment 2 überein (ebenfalls rechts-posteriore Maxima der P600-Effekte in den Bedingungs-paaren 3 und 4, siehe Abbildung 5.7). In Bedingungs-paar 1 von Experiment 3 (kritisches Wort in vorletzter Position der Satzphrase) hingegen zeigte die P600 ein Maximum über links-zentralen Elektroden (siehe Abbildung 6.7). In der Literatur finden sich bei der Frage nach der funktionellen Relevanz topografischer Unterschiede der P600-Komponente zwar eine Reihe von Studien, die frontale vs. posteriore P600-Komponenten voneinander abgrenzen. Jedoch konnte bei der Frage nach der Lateralisierung der P600 keine Systematik in den bislang vorhandenen Studien entdeckt werden. Damit kann über die Bedeutung dieses Hemisphärenunterschieds in der vorliegenden Arbeit nur spekuliert werden. Bei genauer Be-

trachtung des Lateralisierungsmusters der späten Positivierungen in den Experimenten 2 und 3 fällt auf, dass die P600 immer dann rechts-lateral auftrat, wenn das kritische Wort, nach dessen Ende die prosodische Manipulation detektierbar war, am Satz- bzw. Phrasenende stand (prosodische Inkongruenz Typ II). Damit trat eine rechts-posteriore P600 immer dann auf, wenn die prosodische Inkongruenz durch (unerwartete) Stille hervorgerufen wurde (Satzende in Experiment 2 bzw. 500 ms Pause vor dem angehängten Komplementsatz in Experiment 3). Im Gegensatz dazu trat die links-lateralisierte P600 dann auf, wenn die prosodische Manipulation nach dem Ende des vorletzten Wortes der Satzphrase detektiert wurde (prosodische Inkongruenz Typ I), auf das ein prosodisch unerwartetes Wort folgte (Experiment 3, Bedingungspar 1). Entsprechend den Annahmen des Dual-Pathway-Modells (Friederici & Alter, 2004) könnte vermutet werden, dass die Lateralisierung der P600 in Abhängigkeit davon moduliert werden kann, auf Basis welchen Inputs die prosodische Inkongruenz entdeckt wird: Wenn der prosodische Widerspruch durch Stille signalisiert wird und damit mittels einer akustischen Analyse allein detektiert werden kann, scheint besonders die rechte Hemisphäre angesprochen zu werden. Sobald aber der prosodische Widerspruch in einem prosodisch abweichendes Sprachsignal enthalten ist, wird die linke Hemisphäre stärker aktiviert, da der zu verarbeitende Sprachinput linguistische Information über primär akustische Parameter hinaus enthält.

Zusammenfassung Experiment 3 Ausgehend von den EKP-Befunden in Experiment 2 wurden im nachfolgenden Experiment 3 sowohl die prosodische Negativierung als auch die prosodische und syntaktische P600 am Phrasenende beobachtet, nicht so jedoch eine prosodische N400. Damit konnte sowohl die zuvor berichtete RAN-Komponente als Reaktion auf einen rein prosodischen Widerspruch sowie die prosodische P600 als Ausdruck von Reanalyseprozessen auf prosodischer Ebene repliziert werden und die Generalisierbarkeit dieser Effekte auch auf eine andere Satzposition nachgewiesen werden. Zusätzlich zum vorangegangenen Experiment 2 ließ sich nun in Experiment 3 auch die Interaktion zwischen Prosodie und Syntax im Bereich der P600-Komponente statistisch absichern.

Kapitel 7

Experiment 4: RAN, ELAN und P600 - Frühe Interaktion von Prosodie und Syntax

7.1 Fragestellung und Hypothesen

In Experiment 4 sollte der Vermutung nachgegangen werden, dass Prosodie und Syntax nicht nur in einer späten integrativen Phase miteinander interagieren (wie in den Experimenten 2 und 3 gezeigt), sondern dass prosodische Informationen möglicherweise initiale Phrasenstrukturprozesse beeinflussen können, wie von einer Reihe von Autoren angenommen (siehe Abschnitt 1.4, s.a. Schafer, 1997; Marslen-Wilson et al., 1992; Warren et al., 1995). Um diese Hypothese zu testen, wurde ein neues Satzmaterial erstellt mit dem Ziel, die experimentellen Manipulationen der Experimente 1 bis 3 zu integrieren: Parallel zu Experiment 1 sollte mit Hilfe eines Wortkategoriefehlers eine ELAN-Komponente ausgelöst werden (Variable SYNTAX: korrekt vs. inkorrekt). Gleichzeitig sollte vergleichbar zu den Experimenten 2 und 3 eine kontrollierte prosodische Manipulation vorgenommen werden (Variable PROSODIE: kongruent vs. inkongruent).

Dabei musste die in Experiment 1 vermutete Konfundierung der syntaktischen Manipulation mit einer prosodischen Inkongruenz vermieden werden. Bei der parallelen Untersuchung

der Verarbeitung von Prosodie und Syntax besteht eine besondere Herausforderung darin, dass die Zeitverläufe, mit denen prosodische und syntaktische Informationen im Sprachsignal verfügbar werden, oft nicht perfekt synchronisiert sind (Marslen-Wilson et al., 1992). Syntaktische Information kann im günstigsten Fall bereits in einem einzigen Phonem kodiert sein (z.B. bei Flexionsmorphemen), prosodische Information hingegen beruht auf suprasegmentalen Merkmalen, welche sich über einen längeren Zeitraum erstrecken (siehe Abschnitt 1.2). Daher wurden die beiden Variablen PROSODIE und SYNTAX in Experiment 4 zeitlich auseinander gezogen, indem die Manipulation der prosodischen Information auf dem Stamm des kritischen Wortes erfolgte, die syntaktische Information jedoch erst auf der Endung des kritischen Wortes variiert wurde. Dieses Design stellte sicher, dass die prosodische In-/Kongruenz auf dem kritischen Wort in jedem Fall bereits verarbeitet worden war, bevor die am Wortende kodierte Wortkategorieinformation zur Erstellung der syntaktischen Phrasenstruktur herangezogen werden konnte. Infolge des komplett gekreuzten 2 x 2 Designs war es in Experiment 4 möglich, sowohl den Einfluss beider Variablen separat voneinander zu untersuchen, als auch eine mögliche Interaktion beider Variablen direkt zu prüfen.

Auf Basis der Ergebnisse aus den Experimenten 2 und 3 wird für die prosodische Inkongruenz auf dem Wortstamm eine prosodische Negativierung (RAN, R(A)N) erwartet.

- *Hypothese 1:* Infolge der prosodischen Manipulation auf dem Wortstamm sollte eine prosodische Negativierung im EKP auftreten.

Wie bereits in den vorangegangenen Kapiteln erläutert (siehe Abschnitte 2.2 und 4.1), wurde in einer ganzen Reihe von EKP-Studien im Zusammenhang mit Wortkategoriefehlern eine frühe anteriore Negativierung (ELAN) gefolgt von einer P600 beobachtet. Daher wurde für die Wortkategorieverletzung in Experiment 4 folgende Voraussage getroffen:

- *Hypothese 2:* Auf der Endung des kritischen Wortes, welche die Information über die Wortkategorie enthält, sollte sich eine Wortkategorieverletzung in einer frühen Negativierung (ELAN) gefolgt von einer späten Positivierung (P600) reflektieren.

Dabei berichten in der Literatur vorhandene EKP-Studien zu Wortkategorieverletzungen links-latera-

lisierte frühe anteriore Negativierungen sowohl bei visueller Präsentation als auch bei auditiver Präsentation natürlich eingesprochener Sätze. Bei der auditiven Präsentation gesplicter Sätze, welche durch das Herausschneiden eines obligatorischen Wortes aus dem Sprachstrom erzeugt worden waren, wurden häufig bilateral verteilte frühe Negativierungen beobachtet (siehe ausführliche Darstellung der Literatur in den Abschnitten 2.2 und 4.1). Basierend auf diesen Beobachtungen und den Ergebnissen aus Experiment 1 wird vermutet, dass eine zusätzliche Inkongruenz in der prosodischen Domäne, welche möglicherweise durch die Splicing-Prozedur hervorgerufen worden sein könnte, zu einer stärkeren rechts-hemisphärischen Aktivierung führt. Dies motiviert die Annahme, dass sich ein reiner Wortkategoriefehler in einer links-hemisphärischen ELAN äußern sollte.

- *Hypothese 3*: Eine rein syntaktische Verletzung der Phrasenstruktur sollte bei intakter prosodischer Struktur des Satzes zu einer links-lateralen ELAN führen.

Das Hauptziel in Experiment 4 war es nachzuweisen, ob eine kombinierte prosodisch-syntaktische Verletzung zu einem bilateralen EKP-Effekt führt. Genauer gesagt galt es zu überprüfen, ob eine prosodische Inkongruenz im Vorfeld einer Wortkategorieverletzung zu einer Modulation der ELAN führen würde. Mögliche Veränderungen der Charakteristiken der ELAN (z.B. bezüglich der Topografie, der Amplitude oder der Latenz) könnten als Beleg für einen direkten Einfluss prosodischer Information auf der Ebene der initialen Phrasenstrukturierung gewertet werden. Erste (wenn auch indirekte) Evidenz für diesen Zusammenhang stammt aus Experiment 1 der vorliegenden Arbeit, in dem gezeigt werden konnte, dass interindividuelle Unterschiede in der prosodischen Beurteilungsleistung die Lateralisierung der ELAN beeinflussen.

- *Hypothese 4*: Wenn parallel zu einem Wortkategoriefehler eine prosodische Inkongruenz im Satz enthalten ist, sollte dies zu einem bilateralen ELAN-Effekt führen.

Diese Vermutung wird weiterhin unterstützt durch Befunde aus bildgebenden Verfahren und neuropsychologischen Studien, welche bei der Verarbeitung prosodischer Informationen besonders die rechte Hemisphäre aktiv finden (vgl. Abschnitt 2.5). Auch die Beobachtungen einer prosodischen Negativierung in den Experimenten 2 (RAN) und 3 (R(A)N) der vorlie-

genden Arbeit stützen die Erwartung, dass sich eine zusätzliche prosodische Inkongruenz in verstärkter rechts-hemisphärischer Aktivität äußern könnte.

7.2 Methoden

7.2.1 Versuchsdesign und Satzmaterial

Das 2 x 2 Design umfasste vier experimentelle Bedingungen, welche jeweils 48 Sätze enthielten (siehe Tabelle 7.1). Jeder Satz setzte sich zusammen aus einem Matrixsatz (bestehend aus einem Eigennamen und dem Verb „weiß“) und einem Nebensatz, welcher durch die Konjunktion „dass“ eingeleitet wurde. Nach dem Subjekt des Nebensatzes folgte eine Präpositionalphrase bestehend aus einer Präposition (z.B. „im“) und dem kritischen Wort (z.B. „Alter“). An letzter Position schloss sich das Verb des Nebensatzes an (z.B. „kränkele“). Um bei der Produktion der Sätze für alle 48 Items ein möglichst vergleichbares prosodisches Muster zu erhalten, bestanden das Subjekt des Nebensatzes, das kritische Wort selbst und auch das satzfinale Verb des Nebensatzes jeweils aus zwei Silben und wiesen ein trochäisches Betonungsmuster auf.

Die Manipulation beider experimenteller Variablen PROSODIE und SYNTAX wurde auf der Präpositionalphrase vorgenommen. Als kritische Wörter dienten Items, deren Wortstamm im Deutschen sowohl in einer Verbform als auch in einer Nomenform existiert (z.B. ALTE-)⁴². Bei gesprochener Sprache werden diese Wörter erst auf ihrer Endung entweder als Nomen (z.B. ALTE-r in „im Alter“) oder als Verb (z.B. ALTE-rt in „er altert“) disambiguiert.

Die prosodische Manipulation wurde realisiert, indem das prosodisch kongruente kritische Wort (welches die Fortsetzung des Satzes signalisierte) durch dasselbe lexikalische Item mit satzfinaler prosodischer Markierung ersetzt wurde. Diese Art der prosodischen Verletzung ist identisch zu der in Experiment 1 enthaltenen prosodischen Inkongruenz, da bei Experiment 1 ebenfalls das obligatorische Objekt der Präpositionalphrase herausgeschnitten

⁴²An dieser Stelle sei Anna Hasting herzlich gedankt, die einen Großteil der in Experiment 4 verwendeten wortkategorieambigen Wörter zur Verfügung stellte.

worden war und damit das Partizip mit satzfinaler Prosodie direkt auf die Präposition folgte (siehe Abbildung 4.3).

Die syntaktische Manipulation wurde realisiert, indem prosodisch kongruente und inkongruente Sätze jeweils sowohl mit einer korrekten Phrasenstruktur als auch mit einer Phrasenstrukturverletzung konstruiert wurden: In syntaktisch korrekten Sätzen disambiguierte die Endung des kritischen Wortes selbiges als Nomen (z.B. „im ALTE-r“), wodurch die Präpositionalphrase korrekt vervollständigt wurde und der Satz somit eine intakte syntaktische Phrasenstruktur aufwies. In syntaktisch inkorrekten Sätzen hingegen wurde das kritische Wort auf der Endung als Verb disambiguiert (z.B. „im ALTE-rt“), was zu einer Verletzung der Phrasenstruktur führt, da auf die vorausgegangene Präposition ein Nomen folgen muss.

Der besondere Vorteil des Designs im Experiment 4 besteht darin, dass die in Experiment 1 vorhandene Konfundierung von prosodischer Inkongruenz und syntaktischer Verletzung (beide auf dem Beginn des satzfinalen Verbs detektiert) vermieden wird, indem in Experiment 4 die prosodische Manipulation (auf dem Wortstamm) separat von der syntaktischen Manipulation (auf der Endung) untersucht werden kann.

Um mögliche strategische Einflüsse auszuschließen, die auf der Tatsache beruhen könnten, dass in den vier experimentellen Bedingungen das Auftreten des kritischen Wortes in der Verbform immer mit einem Wortkategoriefehler zusammenfiel, wurden zwei prosodisch und syntaktisch korrekte Füllbedingungen ergänzt (ebenfalls je 48 Items), in denen das jeweilige kritische Wort in der Verbform in einem völlig korrekten Kontext auftrat (bezogen auf das Beispiel in Tabelle 7.1: Füllsatz 1: „Maria weiß, dass der Rentner im Rollstuhl altert.“ / Füllsatz 2: „Maria weiß, dass der Rentner altert.“). Zusätzlich wurde durch die Verwendung der zwei Füllbedingungen auch das Verhältnis zwischen völlig korrekten und prosodisch und/oder syntaktisch inkorrekten Sätzen ausgeglichen (Verhältnis 3:3).

7.2.2 Produktion des Stimulusmaterials

Die Produktion des Stimulusmaterials und die Splicingprozedur waren weitestgehend identisch zu Experiment 2 (siehe Abschnitt 5.2.2). Beide Füllbedingungen wurden natürlich eingesprochen. Wie in den Experimenten 2 und 3 wurden auch in Experiment 4 alle Experimen-

Tabelle 7.1: Übersicht über die verwendeten experimentellen Bedingungen in Experiment 4. Das # markiert prosodisch inkongruente Bedingungen, das * markiert syntaktisch inkorrekte Sätze. Abkürzungen: Bed = Bedingung, CC = korrekte Bedingung, CS = syntaktisch inkorrekte Bedingung, PC = prosodisch inkongruente Bedingung, PS = prosodisch-syntaktisch inkorrekte Bedingung.

Bed	Prosodie	Syntax	Beispiel
CC	kongruent	korrekt	„Maria weiß, dass der Rentner im <u>Alter</u> kränkelt.“
CS*	kongruent	inkorrekt	„Maria weiß, dass der Rentner im <u>Altert</u> kränkelt.“
PC#	inkongruent	korrekt	„Maria weiß, dass der Rentner im <u>Alter</u> kränkelt.“
PS#*	inkongruent	inkorrekt	„Maria weiß, dass der Rentner im <u>Altert</u> kränkelt.“

talsätze aus natürlich eingesprochenen Quellsätzen zusammengeschnitten. Im Unterschied zu den Experimenten 2 und 3 waren die Anzahl der Splicing-Stellen und deren Positionen zwischen den vier experimentellen Bedingungen identisch. Um die Experimentalsätze zu erzeugen, wurden in Experiment 4 sieben verschiedene Quellsätze aufgenommen, welche in Tabelle 7.2 aufgelistet sind. Alle Sätze wurden mit gleichbleibender Geschwindigkeit und möglichst neutraler Betonung (d.h. weiter Satzfokus, Phrasenakzente auf dem Verb des Matrixsatzes und auf dem Subjekt des untergeordneten Satzes) eingesprochen. Alle Sätze wurden von derselben professionellen Sprecherin wie in den Experimenten 2 und 3 eingesprochen.

Tabelle 7.2: Quellsätze, aus denen alle vier experimentellen Bedingungen zusammengeschnitten wurden. Die Farben korrespondieren zu den jeweils für die Experimentalsätze verwendeten Teilen (siehe Tabelle 7.1).

Quellsätze	Beispiel
1	Maria weiß, dass der Rentner im Alter kränkelt.
2	Maria weiß, dass der Rentner im Alterk kränkelt.
3	Maria weiß, der Rentner kränkelt im Alterk.
4	Maria weiß, dass der Rentner im Alter kränkelt.
5	Maria weiß, dass der Rentner im Altert kränkelt.
6	Maria weiß, der Rentner kränkelt im Alter.
7	Maria weiß, dass der Rentner ungeru altert.

Der erste Teil der Sätze war in allen vier experimentellen Bedingungen physikalisch identisch (aus Quellsatz 1). Der Wortstamm des kritischen Wortes für die beiden prosodisch kongruenten Bedingungen (CC, CS) stammte aus Quellsatz 2 und markierte prosodisch die Weiterführung des Satzes. Für die beiden prosodisch inkongruenten Bedingungen wurde der kritische Wortstamm aus Quellsatz 3 entnommen und trug damit satzfinale prosodische Merkmale. Um Koartikulationseffekte auf den kritischen Wortstämmen auszuschließen und zu vermeiden, dass bereits auf dem Wortstamm die Endung des Wortes und damit dessen Wortkategorie antizipiert werden könnte, wurde die Endung des kritischen Wortes in den Quellsätzen 2 und 3 durch das Phonem /k/ ersetzt. Der stimmlose Stop-Konsonant /k/ ist gekennzeichnet durch eine stille Phase vor dem Verschluss, durch die vorausgehende koartikulatorische Effekte auf dem Wortstamm minimiert werden. Dieses Vorgehen stellte sicher, dass auf dem Wortstamm selbst kein Hinweis auf die (wortkategoriedisambiguierende) Endung verfügbar war.

Die Endungen zur Disambiguierung der Wortkategorie des kritischen Wortes wurden für die syntaktisch korrekten Bedingungen aus den Quellsätzen 4 (CC) und 6 (PC) entnommen, für die syntaktisch inkorrekten Bedingungen stammten die Endungen aus den Quellsätzen 5 (CS) und 7 (PS). Damit stimmten die prosodischen Eigenschaften der jeweiligen Endungen mit dem jeweils vorhergehenden Wortstamm überein. Das satzfinale Verb des untergeordneten Satzes war wiederum für alle vier experimentellen Bedingungen physikalisch identisch und stammte erneut aus Quellsatz 1.

7.2.3 Akustische Analysen

Das Vorgehen bei den akustischen Analysen für das Satzmaterial von Experiment 4 war identisch zu der bereits für Experiment 2 beschriebenen Prozedur (siehe Abschnitt 5.2.3). Da in Experiment 4 alle Elemente außer den kritischen Wörtern in allen vier experimentellen Bedingungen physikalisch identisch waren, werden die akustischen Analysen nur für das kritische Wort berichtet.

Daueranalysen Die ermittelten Wortlängen für Experiment 4 sind in Abbildung 7.1 dargestellt. Dabei wurden die Längen des Wortstamms und der Endung des kritischen Wortes separat voneinander bestimmt. Die Ergebnisse der jeweils durchgeführten statistischen Analysen können Tabelle 7.3 entnommen werden.

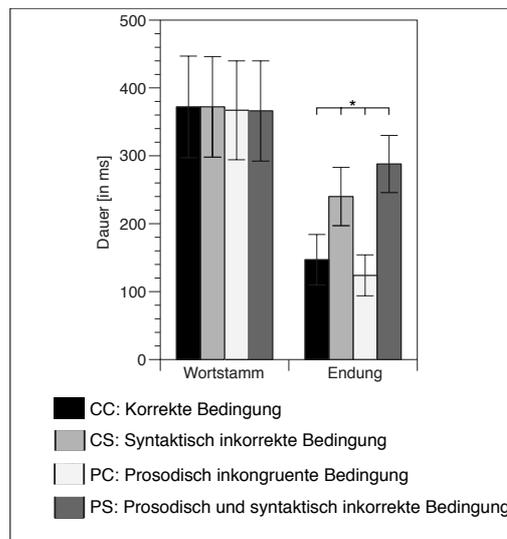


Abbildung 7.1: Darstellung der mittleren Längen des Stammes und der Endung des kritischen Wortes für jede der vier experimentellen Bedingungen in Experiment 4. Ein * zeigt statistisch signifikante Unterschiede an.

Tabelle 7.3: Mittleren Längen (in ms) des Stammes und der Endung des kritischen Wortes für jede der vier experimentellen Bedingungen in Experiment 4 und Ergebnisse der über alle 48 Items für die Variablen PROSODIE (=PROS) und SYNTAX (=SYN) durchgeführten ANOVA (dF=1,47).

	Bedingung				PROS		SYN		PROS x SYN	
	CC	CS	PC	PS	F	p	F	p	F	p
Wortstamm	372	372	367	366	1.37	.25	1.57	.22	1.98	.17
Endung	147	240	124	289	3.70	<.06	1206.3	<.0001	66.21	<.0001

Auf dem Stamm des kritischen Wortes zeigten sich keinerlei signifikante Einflüsse der experimentellen Variablen auf die Wortlänge. Auf der Endung des kritischen Wortes hingegen fanden sich sowohl reliable Haupteffekte PROSODIE und SYNTAX als auch eine signifikante Interaktion zwischen beiden. Bonferoni-korrigierte Post-hoc-Vergleiche (Bortz,

1999) ergaben signifikante Unterschiede in der Länge der Endung zwischen allen vier experimentellen Bedingungen (alle $p < .005$, $PC < CC < CS < PS$)⁴³.

Grundfrequenzanalysen Die Ergebnisse der Grundfrequenzanalysen für Experiment 4 sind in Abbildung 7.2 dargestellt.

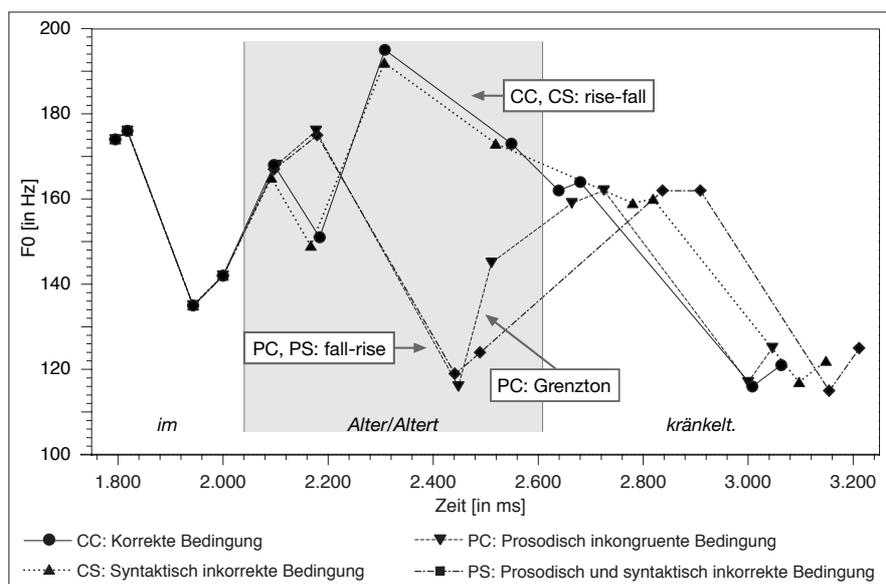


Abbildung 7.2: Darstellung der mittleren Grundfrequenzwerte an Onset, Maximum, Minimum und Offset (und deren mittlere Zeitpunkte) des kritischen Wortes aller vier experimentellen Bedingungen in Experiment 4.

Deskriptiv zeigten die kritischen Wörter in den prosodisch kongruenten Bedingungen (CC, CS) ein rise-fall-Muster (F0-Minimum vor dem Maximum). Die kritischen Wörter in

⁴³Damit zeigte sich, dass bei den in vorletzter Position des Satzes produzierten Wörtern die Verbendung länger war als die Nomenendung, was durch die Anzahl der enthaltenen Phoneme (-rt vs. -r) erklärt wird. Der Befund, dass bei satzfinal produzierten kritischen Wörtern die Nomenendung (mit einem Phonem) deutlich verkürzt ist, die Verbendung (mit zwei Phonemen) hingegen deutlich gelängt ist im Vergleich zum jeweiligen Pendant in vorletzter Position des Satzes, war überraschend. Genauere Analysen der entsprechenden Quellsätze (6) und (7) ergaben, dass in den Quellsätzen des Typs (6) die satzfinale Längung besonders auf der ersten Silbe des kritischen Wortes realisiert wurde, während die zweite Silbe mit der Nomenendung eher verkürzt war. Bei Quellsätzen des Typs (7) hingegen wurde die zweite Silbe und damit die Verbendung selbst gelängt.

den prosodisch inkongruenten Bedingungen (PC, PS) hingegen wiesen ein fall-rise-Muster auf - ein typisches prosodisches Merkmal für das Satzende (Selkirk, 1984; Beckman, 1996)⁴⁴.

Tabelle 7.4: Mittlere Grundfrequenzwerte (F0) des kritischen Wortes für jede der vier experimentellen Bedingungen in Experiment 4 und Ergebnisse der über alle 48 Items für die Variablen PROSODIE (=PROS) und SYNTAX (=SYN) durchgeführten ANOVA (dF=1,47).

Position	Bedingung				PROS		SYN		PROS x SYN	
	CC	CS	PC	PS	F	p	F	p	F	p
Onset	168	165	168	167	<1		2.8	.10	<1	
Maximum	199	193	176	175	3.44	.07	<1		2.67	.11
Minimum	151	149	114	119	132.3	<.0001	<1		3.4	.07
Offset	173	173	145	125	103.31	<.0001	9.5	<.01	9.6	<.01

Die Ergebnisse der ANOVA über die Grundfrequenzwerte mit den Variablen PROSODIE und SYNTAX können Tabelle 7.4 entnommen werden. Auf dem F0-Minimum zeigten sich reliable Unterschiede zwischen prosodisch kongruenten und inkongruenten kritischen Wörtern (Haupteffekt PROSODIE). Auf dem F0-Offset wurde neben reliablen Haupteffekten beider experimentellen Variablen eine signifikante Interaktion PROSODIE x SYNTAX beobachtet. Bonferoni-korrigierte Post-hoc-Vergleiche wiesen signifikante Unterschiede im F0-Offset zwischen allen Bedingungen außer CC vs. CS nach ($p < .0001$, $PS < PC < CS = CC$).

7.2.4 Versuchsdurchführung

Randomisierung Das Vorgehen zur Erstellung der Präsentationslisten war identisch zu dem in den Experimenten 2 und 3 angewandten (siehe Abschnitt 5.2.4). Die Randomisierungskriterien wurden an das veränderte experimentelle Design angepasst: Sätze der gleichen Experimentalbedingung sollte höchstens zweimal aufeinander folgen. Weiterhin sollten prosodisch kongruente bzw. syntaktisch korrekte Sätze nicht öfters als sechs mal nacheinander auftreten, prosodisch inkongruente und syntaktisch inkorrekte Sätzen durften höchstens vier-

⁴⁴Ein weiteres Merkmal des Satzendes, ein Grenzton, wurde nur in Bedingung PC beobachtet. Das Fehlen eines Grenztons in der anderen prosodisch inkongruenten Bedingung (PS) könnte der Tatsache geschuldet sein, dass in diesem Fall das kritische Wort auf ein stimmloses Phonem (Konsonant -t) endet, welches nicht in der Grundfrequenz realisiert wird.

mal hintereinander zu hören sein. Entsprechend diesen Beschränkungen wurden vier pseudorandomisierte Präsentationslisten erstellt, welche in vier gleichgroße Blöcke mit jeweils 72 Sätzen unterteilt wurden. Dabei wurde sichergestellt, dass die verschiedenen Experimentalbedingungen und die zwei Füllbedingungen in allen vier Blöcken gleich häufig auftraten. Weiterhin wurden für jede der vier Randomisierungslisten jeweils fünf weitere Sublisten erstellt, in denen die Reihenfolge der Satzblöcke identisch blieb, aber die jeweils anderen fünf Bedingungen systematisch durchrotiert wurden. Dies ergab insgesamt 24 Präsentationslisten, welche auf die Probanden verteilt wurden.

Darbietung Wie schon bei den vorangegangenen Experimenten bestand die Aufgabe der Probanden darin, die Grammatikalität der gehörten Sätze zu beurteilen (richtig vs. falsch). Die Darbietung der 288 Items (vier experimentelle Bedingungen plus zwei Füllbedingungen, jeweils 48 Sätze) in Experiment 4 erfolgte wie in Experiment 3 beschrieben (siehe Abschnitt 6.2.4). Im Unterschied zu Experiment 3 wurde das Satzmaterial in vier Blöcken präsentiert, welche jeweils etwa 10 Minuten dauerten. Zwischen den Blöcken wurden kurze Pausen eingelegt, so dass die Gesamtdauer von Experiment 4 etwa 50 Minuten betrug.

Probanden An Experiment 4 nahmen 24 deutsche Muttersprachler (davon 12 Frauen) zwischen 19 und 29 Jahren (Mittelwert: 22;6 Jahre) teil. Alle Probanden waren rechtshändig (entsprechend Oldfield, 1971) und berichteten keinerlei neurologische oder sprachliche Beeinträchtigungen. Die Teilnahme am Experiment wurde mit 7,50 Euro/h vergütet.

Elektrophysiologische Ableitung und Datenaufzeichnung Die Messung des EEGs und die Datenaufzeichnung erfolgten in exakt derselben Weise wie in den Experimenten 2 und 3 (siehe Abschnitt 5.2.4).

7.2.5 Datenanalyse

Da die Antwortabgabe zeitverzögert erfolgte, wurden für die Verhaltensdaten nur die Fehlerraten ausgewertet. Die EEG-Daten wurden zunächst offline auf die virtuell verbundenen

Mastoiden (A1+A2)/2 rereferenziert. Für die Berechnung der EKPs wurden nur korrekt beantwortete Durchgänge berücksichtigt. Die Identifikation artefaktbehafteter Durchgänge erfolgte nach dem gleichen Schema wie in den Experimenten 2 und 3 (siehe Abschnitt 5.2.5). Artefaktbehaftete Durchgänge wurden aus der weiteren Analyse ausgeschlossen (12,7 % der richtig beantworteten Durchgänge, kein signifikanter Unterschied zwischen den experimentellen Bedingungen). Die Satzanfänge wurden im EEG auf Basis der online registrierten ERTS-Markierungen identifiziert. Die jeweilige Position der einzelnen Worte in jedem Satz wurde dann nachträglich aus der Position der für die akustischen Analysen ermittelten Wortanfänge in der Audiodatei errechnet und im EEG markiert. Im Anschluss wurden die EKPs für jede experimentelle Bedingung und Elektrode separat für zwei verschiedene Epochen zunächst pro Versuchsperson und dann über alle Versuchspersonen hinweg gemittelt: Die erste Mittelungsepoche (I) reichte von -100 ms bis 1600 ms bezogen auf den Beginn des kritischen Wortes. Da die Variation in der Länge der kritischen Wörter möglicherweise zur Verschmierung von EKP-Effekten der experimentellen Manipulation auf deren Endung führen könnte, wurde eine zweite Mittelungsepoche (II) zwischen -100 ms bis 1200 ms bezogen auf den Beginn der Endung des kritischen Wortes berechnet. In beiden Mittelungsepochen wurde mit einer prästimulus Baseline (-100 bis 0 ms) gerechnet. Da in Mittelungsepoche II (bezogen auf die Endung des kritischen Wortes) die experimentellen Bedingungen bereits auf dem Wortstamm und damit im Bereich der Baseline variierten (CC und CS vs. PC und PS), wurden für die Mittelungsepoche II nur paarweise Vergleiche (CC vs. CS und PC vs. PS) durchgeführt.

Für alle grafischen Darstellungen wurde ein 8 Hz Tiefpass-Filter gewählt, alle statistischen Analysen wurden jedoch mit ungefilterten Daten gerechnet. Die Zeitbereiche für die statistische Analyse der EKPs wurden auf Basis visueller Inspektion und ausgehend von den Ergebnissen von sukzessiven 50-ms-Analysen festgelegt. Für Mittelungsepoche I (auf dem Beginn des kritischen Wortes) wurden die Zeitfenster 300 - 500 ms, 600 - 800 ms und 800 - 1200 ms analysiert⁴⁵. Für die Mittelungsepoche II (auf der Endung des kritischen Wortes) wurden statistische Analysen der EKPs für 200-400 ms und 400-800 ms

⁴⁵Dabei sollten das erste der drei Zeitfenster EKP-Effekte auf dem Wortstamm aufzeigen, die beiden späteren Zeitfenster würden EKP-Effekte nach der Endung des kritischen Wortes beinhalten.

gerechnet. Neben den experimentellen Variablen wurden folgende topografischen Variablen in die Varianzanalysen mit Messwertwiederholung einbezogen: ELEKTRODE für die Mittelinienelektroden (FZ vs. CZ vs. PZ) bzw. HEMISPHERE (links vs. rechts) und REGION (fronto-temporal vs. fronto-zentral vs. posterior) für die lateralen Elektroden. Letztere ergaben folgende sechs ROIs: links-fronto-temporal (F7, FT7, T7), rechts-fronto-temporal (F8, FT8, T8), links-fronto-zentral (F3, FC3, C3), rechts-fronto-zentral (F4, FC4, C4), links-posterior (P7, P3, O1) und rechts-posterior (P8, P4, O2). Wie auch in den vorangegangenen Experimenten folgten alle statistischen Analysen einem hierarchischen Schema: Haupteffekte wurden ab einem Signifikanzniveau von $p \leq .05$ interpretiert. Zusätzlich wurde für signifikante Haupteffekte jeweils die entsprechende mittlere Differenz der EKPs zwischen den Bedingungen (Δ in μV) angegeben. Sobald eine Interaktion zwischen einer experimentellen Variable und einer oder mehreren topografischen Variablen das Signifikanzniveau $p \leq .05$ erreichte, wurden entsprechende Subanalysen (pro Region oder Hemisphäre oder ROI) berechnet. Wann immer eine der enthaltenen Variablen mehr als zwei Zählerfreiheitsgrade aufwies, wurden korrigierte p-Werte berichtet (Geisser & Greenhouse, 1959).

7.3 Ergebnisse

7.3.1 Behaviorale Ergebnisse

Die Performanz der Probanden beim Grammatikalitätsurteil war sehr gut: Über Bedingungen hinweg wurden 98.0 % aller Sätze richtig beurteilt. Obwohl die über Fehlerdaten gerechnete ANOVA eine signifikante Interaktion PROSODIE x SYNTAX ergab ($F(1,23)=5.67$, $p < .05$), fanden nachfolgende multiple Mittelwertvergleiche keinerlei signifikanten Differenzen zwischen den vier experimentellen Bedingungen (alle $p > \alpha_{Bonferroni}$).

7.3.2 EKPs

7.3.2.1 Mittelungsepoche I: Effekte bezogen auf den Beginn des kritischen Wortes

Die gemittelten EKPs bezogen auf den Beginn des kritischen Wortes sind für alle vier experimentellen Bedingungen in Abbildung 7.3 dargestellt. Die Ergebnisse der statistischen Analysen sind in Tabelle 7.5 aufgelistet.

Im ersten Zeitfenster zwischen 300 und 500 ms wurde ein reliabler Haupteffekt PROSODIE sowohl auf lateralen Elektroden ($\Delta=-0.40\mu\text{V}$) als auch auf der Mittellinie ($\Delta=-0.48\mu\text{V}$) beobachtet. Dies belegt eine breit verteilte Negativierung für prosodisch inkongruente Wortstämme (PC und PS) im Vergleich zu prosodisch kongruenten Wortstämmen (CC und CS).

Im zweiten Zeitfenster zwischen 600 und 800 ms fanden die statistischen Analysen reliable Haupteffekte sowohl für die Variable PROSODIE ($\Delta=+0.79\mu\text{V}$) als auch für SYNTAX ($\Delta=+1.60\mu\text{V}$)⁴⁶ jeweils auf der Mittellinie.

Tabelle 7.5: Ergebnisse der statistischen Analysen für die erste Mittelungsepoche (bezogen auf den Beginn des kritischen Wortes). Die ANOVAs beinhalteten die experimentellen Variablen SYNTAX (S) und PROSODIE (P) sowie die topografischen Variablen HEMISPHERE (H) und REGION (R) für laterale Elektroden (l) bzw. ELEKTORDE (E) für die Mittellinienelektroden (m).

Quelle	dF	Zeitfenster für Mittelungsepoche I						
		300-500 ms		600-800 ms		800-1200 ms		
		F	p	F	p	F	p	
l	P	1,23	9.33	<.01	3.78	.06	9.44	<.01
	S	1,23	1.32	.26	2.59	.12	36.5	<.0001
	P x R	2,46	2.93	.08	<1		2.89	.07
	S x R	2,46	<1		16.96	<.0001	35.77	<.0001
	S x H	1,23	<1		4.37	<.05	18.27	<.001
	S x R x H	2,46	<1		1.31	.28	3.08	.06
	P x S	1,23	<1		<1		5.07	<.05
	P x S x R x H	2,46	<1		3.77	<.05	<1	
m	S	1,23	5.4	<.05	6.22	<.05	13.79	.001
	P	1,23	<1		13.53	<.01	59.94	<.0001
	S x E	2,46	<1		5.25	<.05	39.74	<.0001

⁴⁶Die signifikante Interaktion SYNTAX x ELEKTRODE resultiert von einer stärkeren Positivierung über posterioren Elektroden (PZ>CZ>FZ).

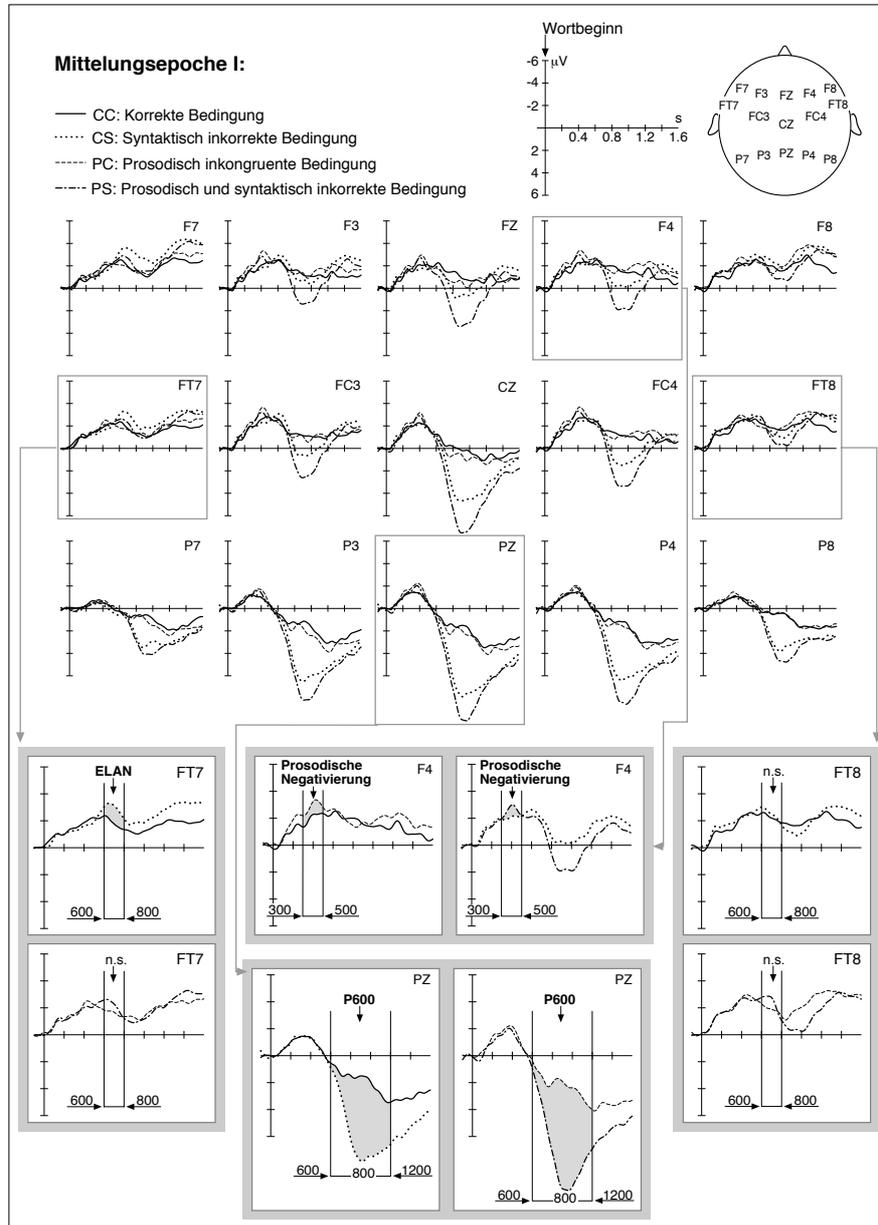


Abbildung 7.3: Gemittelte EKPs für alle vier experimentellen Bedingungen in Experiment 4. Die durchgezogene Linie zeigt die korrekte Bedingung (CC), die Punktlinie steht für die rein syntaktische Verletzung (CS), die Strichlinie steht für die rein prosodische Verletzung (PC) und die Strich-Punkt-Linie stellt die kombinierte prosodisch-syntaktische Verletzung (PS) dar. Der Beginn des kritischen Wortes entspricht dem Nullpunkt der Zeitachse.

Darüber hinaus wurde neben einigen zweifach-Interaktionen auch eine signifikante vierfach-Interaktion PROSODIE x SYNTAX x REGION x HEMISPHERE für die lateralen Elektroden beobachtet. Da die Frage nach dem Einfluss der prosodischen Manipulation auf die Verarbeitung des Wortkategoriefehlers im Mittelpunkt stand, wurden für jedes ROI separate Subanalysen hinsichtlich des Effekts der Variable SYNTAX in prosodisch kongruenten (CC vs. CS) bzw. prosodisch inkongruenten Bedingungen (PC vs. PS) durchgeführt. Dabei zeigte sich im links-fronto-temporalen ROI nur für prosodisch kongruente Sätze (CC vs. CS) eine reliable Negativierung für die syntaktisch inkorrekte Bedingung (Haupteffekt SYNTAX links-fronto-temporal: $F(1,23)=10.19$, $p<.001$, $\Delta=-1.02\mu V$), nicht jedoch in prosodisch inkongruenten Sätzen (PC vs. PS: links-fronto-temporal $p>.15$). Weiterhin fanden sich unabhängig von der prosodischen Manipulation reliable Positivierungen für die syntaktisch inkorrekten Sätze über den beiden posterioren ROIs (CC vs. CS: links-posterior: $F(1,23)=6.22$, $p<.01$, $\Delta=+1.22\mu V$, rechts-posterior: $F(1,23)=9.86$, $p<.01$, $\Delta=+1.10\mu V$; PC vs. PS: links-posterior: $F(1,23)=10.33$, $p<.01$, $\Delta=+1.22\mu V$, rechts-posterior: $F(1,23)=15.34$, $p<.001$, $\Delta=+1.46\mu V$).

Im dritten Zeitfenster zwischen 800 und 1200 ms wurden in der globalen Analyse ebenfalls die Haupteffekte PROSODIE (lateral: $\Delta=+0.54\mu V$; Mittellinie: $\Delta=+1.09\mu V$) und SYNTAX (lateral: $\Delta=+1.56\mu V$; Mittellinie: $\Delta=+4.01\mu V$, $PZ>CZ>FZ$) beobachtet, welche eine reliable Positivierung sowohl für prosodisch inkongruente als auch für syntaktisch inkorrekte Sätze anzeigten. Die signifikanten zweifach-Interaktionen SYNTAX x REGION und SYNTAX x HEMISPHERE zeigten, dass die späte Positivierung nur auf fronto-zentralen und posterioren Elektroden signifikant war (fronto-zentral: $F(1,23)=23.10$, $p<.0001$, $\Delta=+2.45\mu V$; posterior: $F(1,23)=80.38$, $p<.0001$, $\Delta=+3.41\mu V$) und eine klare Rechtslateralisierung aufwies (links: $F(1,23)=6.53$, $p<.05$, $\Delta=+0.54\mu V$; rechts: $F(1,23)=57.98$, $p<.0001$, $\Delta=+2.45\mu V$). Weiterhin demonstrierte die signifikante Interaktion PROSODIE x SYNTAX auf lateralen Elektroden, dass die Positivierung zwischen 800 und 1200 ms für die syntaktische Verletzung in prosodisch inkongruenten Sätzen signifikant größer war (PC vs. PS: SYNTAX: $F(1,23)=30.42$, $p<.0001$, $\Delta=+2.59\mu V$) als in prosodisch kongruenten Sätzen (CC vs. CS: SYNTAX: $F(1,23)=19.06$, $p<.001$, $\Delta=+1.53\mu V$).

7.3.2.2 Mittelungsepoche II: Effekte bezogen auf die Endung des kritischen Wortes

Die in Bezug auf den Beginn der Endung des kritischen Wortes ermittelten EKPs sind für prosodisch kongruente Sätze in Abbildung 7.4 und für prosodisch inkongruente Sätze in Abbildung 7.5 dargestellt. Die Ergebnisse der statistischen Analysen der syntaktischen Manipulation für die jeweiligen Bedingungs-paare CC vs. CS (Prosodie kongruent) und PC vs. PS (Prosodie inkongruent) können Tabelle 7.6 entnommen werden. In beiden Bedingungs-paaren wurden die EKPs in den Zeitfenstern von 200-400 ms und von 400-800 ms statistisch ausgewertet.

Paarweise Vergleiche: CC vs. CS Im ersten Zeitfenster zwischen 200 und 400 ms, welches EKP-Effekte unmittelbar nach Eintreffen der Wortkategorieinformation zeigt, fanden sich neben einer signifikanten Positivierung auf der Mittellinie (Haupteffekt SYNTAX: $\Delta = +1.12\mu\text{V}$) auf den lateralen Elektroden einige zweifach-Interaktionen und eine signifikante dreifach-Interaktion SYNTAX x REGION x HEMISPHERE. Daraufhin separat für jedes ROI durchgeführte Subanalysen ergaben einen Haupteffekt SYNTAX auf links-fronto-temporalen Elektroden, welcher eine reliable frühe Negativierung für die rein syntaktische Verletzung (CS) anzeigt (links-fronto-temporal: $F(1,23)=22.62, p<.0001, \Delta=-1.25\mu\text{V}$). Eine Positivierung zeigte sich hingegen sowohl über dem rechts-fronto-zentralen ROI als auch über posterioren Elektroden (rechts-fronto-zentral: $F(1,23)=4.18, p=.05, \Delta=+0.69\mu\text{V}$; links-posterior: $F(1,23)=3.93, p=.06, \Delta=+0.60\mu\text{V}$; rechts-posterior: $F(1,23)=7.64, p=.01, \Delta=+0.75\mu\text{V}$).

Zwischen 400 und 800 ms wurde eine breit verteilte Positivierung für die rein syntaktische Verletzung (CS) bestätigt (lateral: $\Delta=+1.70\mu\text{V}$; Mittellinie: $\Delta=+3.66\mu\text{V}$, PZ>CZ>FZ). Die signifikante Interaktion SYNTAX x REGION x HEMISPHERE zeigte, dass diese Positivierung über rechts-posterioren Elektroden maximal ausgeprägt war (rechts-fronto-temporal: $F(1,23)=6.86, p<.05, \Delta=+0.68\mu\text{V}$; links-fronto-zentral: $F(1,23)=8.66, p<.01, \Delta=+1.34\mu\text{V}$; rechts-fronto-zentral: $F(1,23)=45.14, p<.0001, \Delta=+2.51\mu\text{V}$; links-posterior: $F(1,23)=56.05, p<.0001, \Delta=+3.15\mu\text{V}$; rechts-posterior: $F(1,23)=58.31, p<.0001, \Delta=+3.60\mu\text{V}$). Weiterhin

wurde eine späte Negativierung im links-fronto-temporalen ROI signifikant (links-fronto-temporal: $F(1,23)=5.84$, $p<.05$, $\Delta=-0.85\mu\text{V}$).

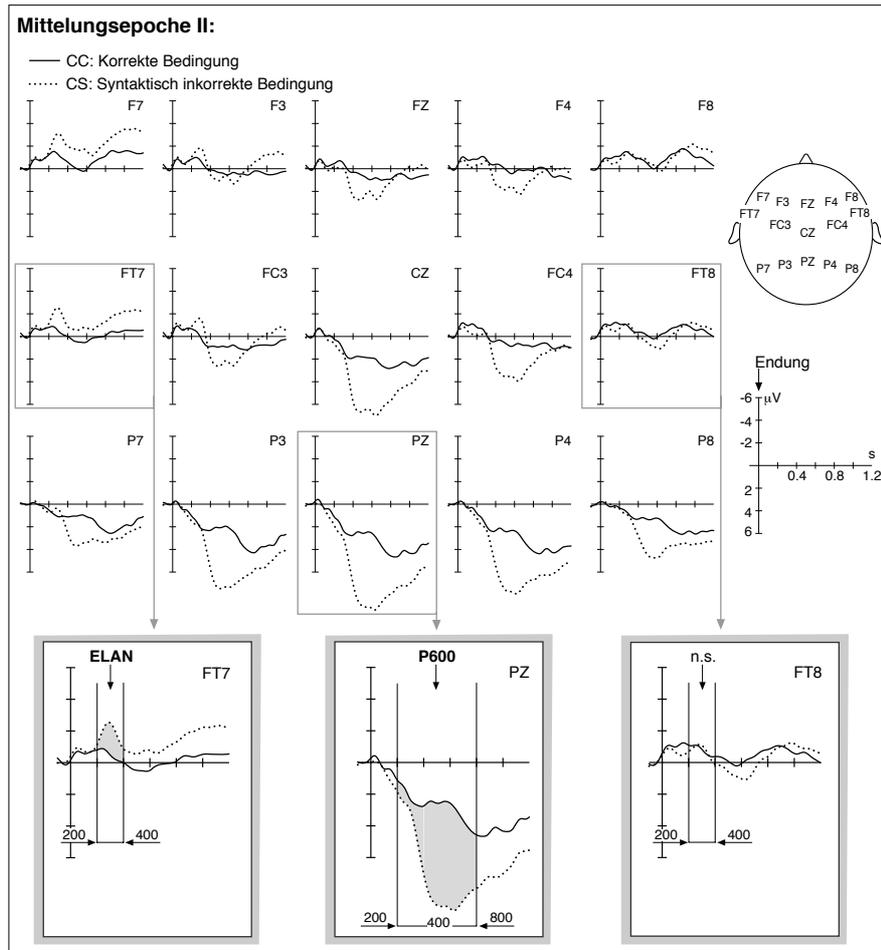


Abbildung 7.4: Gemittelte EKPs für die beiden prosodisch kongruenten experimentellen Bedingungen in Experiment 4. Die durchgezogene Linie zeigt die korrekte Bedingung (CC), die Punktlinie steht für die rein syntaktische Verletzung (CS). Der Beginn der Endung des kritischen Wortes entspricht dem Nullpunkt der Zeitachse.

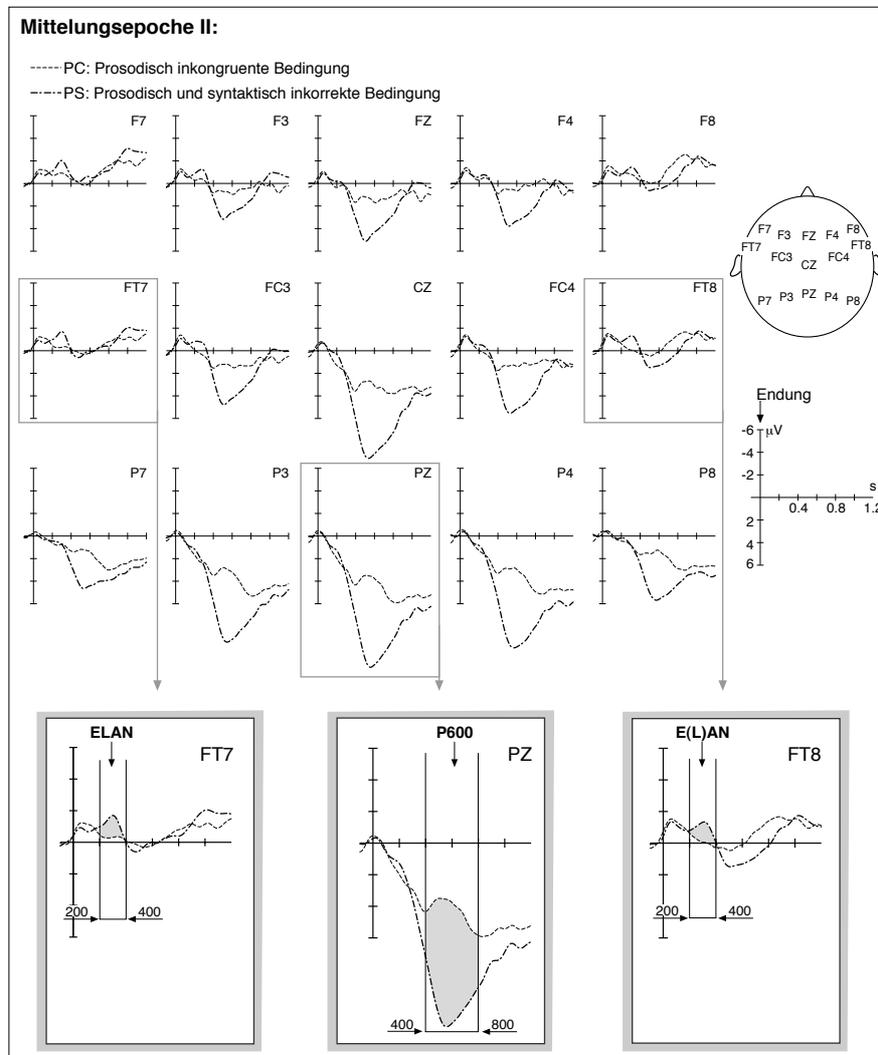


Abbildung 7.5: Gemittelte EKPs für die beiden prosodisch inkongruenten experimentellen Bedingungen in Experiment 4. Die gestrichelte Linie zeigt die rein prosodisch inkongruente Bedingung (PC), die Punktlinie steht für kombinierte prosodisch-syntaktische Verletzung (PS). Der Beginn der Endung des kritischen Wortes entspricht dem Nullpunkt der Zeitachse.

Tabelle 7.6: Ergebnisse der statistischen Analysen für die zweite Mittelungsepoche (bezogen auf die Endung des kritischen Wortes). Die für prosodisch kongruente (CC vs. CS) und inkongruente (PC vs. PS) Sätze separat gerechneten ANOVAs beinhalteten die experimentelle Variable SYNTAX (S) sowie die topografischen Variablen HEMISPHERE (H) und REGION (R) für laterale Elektroden (l) bzw. ELEKTORDE (E) für die Mittellinienelektroden (m).

Prosodie	Quelle	dF	Zeitfenster Mittelungsepoche II						
			200-400 ms		400-800 ms				
			F	p	F	p			
kongruent	l	S	1,23	<1		41.09	<.0001		
		S x R	2,46	9.9	<.001	33.25	<.0001		
		S x H	1,23	13.19	<.01	13.0	<.01		
		S x R x H	2,46	17.26	<.0001	12.57	<.0001		
	m	S	1,23	7.43	.01	61.15	<.0001		
		S x E	2,46	2.11	.15	38.07	<.0001		
		inkongruent	l	S	1,23	<1		33.23	<.0001
				S x R	2,46	6.01	<.01	30.27	<.0001
S x H	1,23			<1		10.49	<.01		
S x R x H	2,46			1.54	.23	<1			
m	S		1,23	<1		48.21	<.0001		
	S x E		2,46	<1		27.18	<.0001		

Paarweise Vergleiche: PC vs. PS Im Gegensatz zum vorherigen Vergleich erreichte im frühen Zeitfenster zwischen 200 und 400 ms nur die Interaktion SYNTAX x REGION die Signifikanzschwelle. Nachfolgende Subanalysen separat für jede Region ergaben eine reliable frühe Negativierung für die kombinierte prosodisch-syntaktische Verletzungsbedingung (PS) über den fronto-temporalen Elektroden beider Hemisphären (fronto-temporal: $F(1,23)=9.13$, $p<.01$, $\Delta=-0.68\mu V$).

Im späten Zeitfenster zwischen 400 und 800 ms zeigten sich vergleichbare EKP-Effekte wie für die prosodisch kongruenten Bedingungen (CC vs. CS): Für PS wurde im Vergleich zu PC eine Positivierung sowohl auf den Mittellinienelektroden ($\Delta=+4.47\mu V$, $PZ>CZ>FZ$) als auch auf den lateralen Elektroden ($\Delta=+2.40\mu V$) beobachtet. Die zweifach-Interaktionen SYNTAX x REGION und SYNTAX x HEMISPHERE belegten, dass die späte Positivierung rechts-lateralisiert war (links: $F(1,23)=19.32$, $p<.001$, $\Delta=+1.99\mu V$; rechts: $F(1,23)=45.54$, $p<.0001$, $\Delta=+2.82\mu V$) und posterior maximal war (fronto-temporal: $F(1,23)=3.63$, $p=.07$,

$\Delta=+0.69\mu\text{V}$; fronto-zentral: $F(1,23)=19.08$, $p<.001$, $\Delta=+2.86\mu\text{V}$; posterior: $F(1,23)=112.34$, $p<.0001$, $\Delta=+3.67\mu\text{V}$).

7.3.2.3 Interaktivitätstest

Mittelungsepoche I Die globale Analyse in Mittelungsepoche I hatte zwischen 800 und 1200 ms eine reliable Interaktion PROSODIE x SYNTAX ergeben (siehe Tabelle 7.5). Um nun die Relation der Variablen SYNTAX und PROSODIE im Bereich der späten Positivierung noch genauer zu testen, wurde in Anlehnung an die Interaktivitätstests in den Experimenten 2 und 3 folgender Vergleich angestellt: Von PC wurde CC subtrahiert, um die EKP-Effekte der rein prosodischen Manipulation auf dem kritischen Wort zu erhalten. Weiterhin wurde die Differenz zwischen der rein syntaktisch inkorrekten Bedingung (CS) und der korrekten Bedingung (CC) errechnet, um die Effekte der rein syntaktischen Manipulation auf dem kritischen Wort zu isolieren. Schließlich wurde die Differenz zwischen der kombinierten Bedingung (PS) und der korrekten Bedingung (CC) ermittelt, wodurch sich die EKP-Effekte der kombinierten prosodisch-syntaktischen Manipulation ergaben. Der hypothetische Verlauf der EKPs im Falle der völligen Unabhängigkeit der Variablen Syntax und Prosodie wurde als Summe der rein prosodischen und der rein syntaktischen Effekte angenommen (Summe aus PC-CC und CS-CC), welche gegen die empirischen EKP-Differenz der kombinierten Verletzung (PS-CC) getestet wurde. Die durchgeführte ANOVA identifizierte einen reliablen Haupteffekt ($F(1,23)=5.07$, $p<.05$). Dies zeigt, dass die späte Positivierung in der kombinierten Verletzungsbedingung ($\Delta=+2.6\mu\text{V}$) signifikant größer war, als eine Addition des rein prosodischen Effekts und des rein syntaktischen Effekts erwarten lassen würde (Summe: $\Delta=+1.54\mu\text{V}$). Damit konnte im Einklang mit den Ergebnissen aus den Experimenten 2 und 3 die interaktive Relation zwischen Syntax und Prosodie im Zeitfenster der späten Positivierung erneut repliziert werden.

Mittelungsepoche II Derselbe Interaktivitätstest konnte für die als Korrelat der Wortkategoriefehler beobachteten fronto-temporalen Negativierungen nicht angewendet werden, da in den EKP-Daten aus Mittelungsepoche I infolge der unterschiedlichen Wortlängen die ver-

hältnismäßig kleinen Effekte auf der Endung des kritischen Wortes verschmierten und nur Mittelungsepoche II ein realistisches Bild der tatsächlichen Effekte lieferte. Um dennoch die in Mittelungsepoche II beobachtete links-laterale Negativierung für rein syntaktische Verletzungen und die bilaterale Negativierung für kombinierte prosodisch-syntaktische Verletzungen direkt miteinander vergleichen zu können, wurden stattdessen die entsprechenden Differenzkurven gegeneinander getestet (CS-CC vs. PS-PC, siehe Abbildung 7.6).

Die über die Differenzkurven gerechnete ANOVA prüfte den Einfluss der Variable PROSODIE unter Einbezug der bereits beschriebenen topografischen Variablen. Im Zeitfenster der frühen syntaktischen Negativierung (zwischen 200 und 400 ms bezogen auf die Endung des kritischen Wortes) zeigten sich auf den lateralen Elektroden eine zweifach-Interaktion PROSODIE x HEMISPHERE ($F(1,23)=9.17$, $p<.01$) sowie eine dreifach-Interaktion PROSODIE x REGION x SYNTAX ($F(2,46)=12.74$, $p<.0001$). Subanalysen auf ROI-Ebene fanden einen reliablen Einfluss der prosodischen Manipulation im rechts-fronto-temporalen ROI ($F(1,23)=5.11$, $p<.05$), was die Ergebnisse der paarweisen Analysen bestätigt: Demnach trat eine reliable frühe Negativierung über rechts-fronto-temporalen Elektroden nur für die kombinierte Verletzung auf (PS: $\Delta=-0.68\mu V$), jedoch nicht für die rein syntaktische Verletzung (CS: $\Delta=+0.07\mu V$). Dies demonstriert, dass eine zusätzliche prosodische Inkongruenz vor der Wortkategorieverletzung die Topografie der frühen fronto-temporalen Negativierung moduliert. Weiterhin fand sich auf dem links-fronto-temporalen ROI ein marginal signifikanter Einfluss der prosodischen Manipulation ($F(1,23)=3.05$, $p=.09$). Dies weist zumindest tendenziell auf eine Reduktion der Amplitude der frühen Negativierung im links-fronto-temporalen ROI hin (PS: $\Delta=-0.66\mu V$) im Vergleich zu einer rein syntaktischen Verletzung (CS: $\Delta=-1.25\mu V$), wenn eine zusätzliche prosodische Inkongruenz vorausgegangen war.

Überblick über die EKP-Effekte in den Mittelungsepochen I und II Zusammenfassend zeigte sich in Experiment 4 eine breit verteilte prosodische Negativierung zwischen 300 und 500 ms bezogen auf den Beginn des kritischen Wortes, welche auf die prosodische Manipulation auf dem Wortstamm zurückgeführt werden kann (Mittelungsepoche I: sowohl für PC als auch für PS beobachtet).

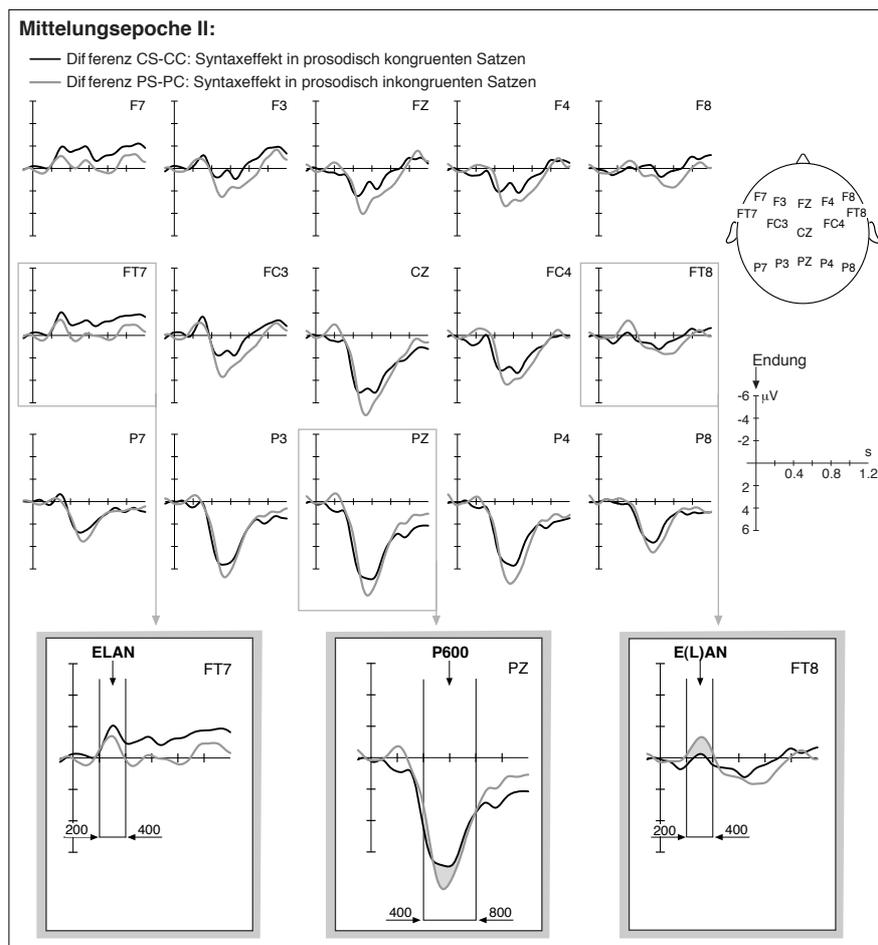


Abbildung 7.6: EKP-Differenzen zum Vergleich des syntaktischen EKP-Effekts ohne vorangegangene prosodische Inkongruenz (schwarze Linie) und mit einer prosodischen Inkongruenz im Vorfeld (graue Linie). Der Beginn der Endung des kritischen Wortes entspricht dem Nullpunkt auf der Zeitachse.

In Mittelungsepoche I (bezogen auf den Beginn des kritischen Wortes) wurde zwischen 600 und 800 ms (in etwa der Zeitraum, in dem die Wortkategorieinformation verfügbar war), die Interaktion PROSODIE x SYNTAX x REGION x HEMISPHÄRE statistisch signifikant. Dies resultierte daraus, dass eine links-fronto-temporale Negativierung nur für die rein syntaktische Verletzung (CS) statistisch nachgewiesen werden konnte, nicht aber für die kombinierte Verletzungsbedingung (PS).

Es konnte jedoch demonstriert werden, dass die EKP-Effekte auf der Endung des kritischen Wortes in Mittelungsepoche I durch die unterschiedlichen Längen der kritischen Wortstämme verschmierten (Jittering) und dadurch unterschätzt wurden: Bei einer zeitgenauen Mittelung der EKPs in Bezug auf die Endung des kritischen Wortes konnte die frühe links-fronto-temporale Negativierung für die rein syntaktische Verletzung (CS) bestätigt werden (Mittelungsepoche II, Zeitfenster 200-400 ms). Darüber hinaus erreichte in Mittelungsepoche II aber auch in der kombinierten prosodisch-syntaktischen Bedingung (PS) eine frühe fronto-temporale Negativierung die Signifikanzgrenze. Während die frühe Negativierung in der rein syntaktischen Verletzung auf links-fronto-temporale Elektroden beschränkt war, zeigte sie in der kombinierten Bedingung eine klare bilaterale Verteilung.

In einem späten Zeitfenster wurde in beiden Mittelungsepochen (800-1200 ms bezogen auf den Beginn des kritischen Wortes bzw. 400-800 ms bezogen auf die Endung des kritischen Wortes) eine zentro-posterior verteilte Positivierung sowohl für die syntaktische Verletzung als auch (mit einer breiteren Verteilung) für die prosodische Verletzung beobachtet⁴⁷. Weiterhin konnte gezeigt werden, dass die späte Positivierung für die kombinierte Verletzung signifikant größer war als die Summe der Positivierungen für die rein prosodische bzw. rein syntaktische Verletzung, wodurch die bereits in den Experimenten 2 und 3 gefundene interaktive Relation zwischen Prosodie und Syntax im späten Zeitfenster bestätigt wird.

⁴⁷Dabei begann die posteriore Positivierung in der rein syntaktischen Verletzungsbedingung (CS) bereits früher (ab 200 ms bezogen auf die Endung des kritischen Wortes) als in der kombinierten Bedingung (PS, ab 400 ms). Eine funktionale Interpretation dieses Latenzunterschieds ist schwierig, zumal da eine Reduktion der Positivierung in der kombinierten Bedingung infolge einer stärkeren Komponentenüberlappung mit der breiter verteilten frühen Negativierung als Einflussfaktor nicht ausgeschlossen werden kann.

7.4 Diskussion

In Experiment 4 stand die Frage im Mittelpunkt, ob prosodische und syntaktische Informationen bereits während der initialen Phrasenstrukturierung miteinander interagieren können, oder ob beide Informationsarten erst in einer späten Verarbeitungsphase integriert werden. Zu diesem Zweck wurde ein 2 x 2 Design verwendet, in dem auf dem kritischen Wort (dem Objekt einer Präpositionalphrase) die beiden Variablen Prosodie und Syntax komplett gekreuzt wurden: Prosodisch kongruente kritische Wörter bildeten mit der vorausgegangenen Präposition eine phonologische Phrase (vgl. Abschnitt 1.2) und signalisierten die Fortsetzung des Satzes, prosodisch inkongruente kritische Wörter hingegen markierten prosodisch das Ende des Satzes. Auf der Endung des kritischen Wortes wurde dessen Wortkategorie disambiguiert, wobei eine Nomenendung eine erfolgreiche Integration des kritischen Wortes als Objekt der Präpositionalphrase ermöglichte (Syntax korrekt), während eine Verbendung zu einem Wortkategoriefehler führte, da ein Verb nicht in die aktuelle Phrasenstruktur integriert werden konnte (Syntax inkorrekt). Im Folgenden werden die einzelnen Befunde von Experiment 4 diskutiert:

Prosodische Negativierung auf dem Wortstamm: Index prosodischer Verarbeitung In Reaktion auf die prosodische Inkongruenz wurde eine breit verteilte prosodische Negativierung zwischen 300 und 500 ms bezogen auf den Beginn des kritischen Wortes beobachtet (siehe Abbildung 7.7, links), wodurch *Hypothese 1* bestätigt werden konnte. Da die prosodische Negativierung allein durch die prosodische Manipulation beeinflusst war, wird dieser Effekt als Korrelat des Widerspruchs zwischen den bis zur Präposition online aufgebauten prosodischen Erwartungen bezüglich der Fortsetzung des Satzes (inklusive Vervollständigung der Präpositionalphrase auf phonologischer Ebene zu einer phonologischen Phrase) und dem aktuellen Sprachinput (in dem das kritische Wort prosodisch das Satzende signalisiert). Folgende Aspekte sollen im Zusammenhang mit diesem Effekt besonders herausgestellt werden:

Erstens replizierte der Befund einer prosodischen Negativierung in Experiment 4 die Beobachtung einer prosodischen Negativierung in den Experimenten 2 und 3 für ähnliche

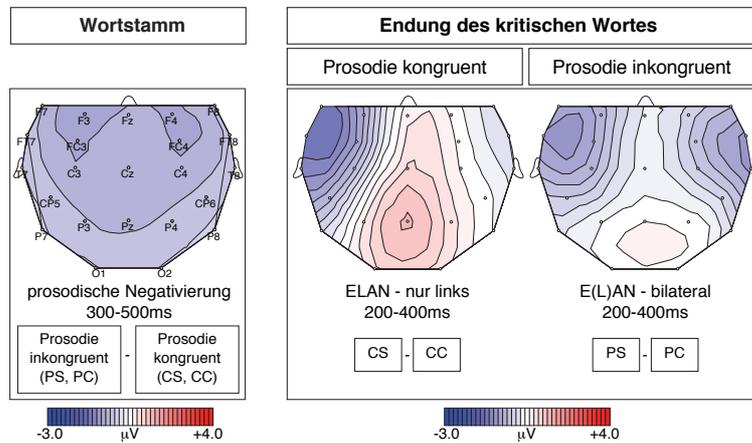


Abbildung 7.7: Topografische Maps in Experiment 4. Auf der linken Seite ist der Effekt der prosodischen Manipulation auf dem Wortstamm abgebildet (Mittelungsperiode I: EKP-Differenz der prosodisch inkongruenten (PC,PS) minus der prosodisch kongruenten (CC,CS) Bedingungen). Auf der rechten Seite werden für Mittelungsperiode II die Effekte der syntaktischen Verletzung auf der Endung der prosodisch kongruenten kritischen Wörter (EKP-Differenz CS minus CC) verglichen mit dem Effekt der syntaktischen Manipulation für prosodisch inkongruente kritische Wörter (EKP-Differenz PS minus PC).

prosodische Inkongruenzen (Typ II). Allerdings zeigte der prosodische Effekt in Experiment 4 eine breite Verteilung über der Schädeloberfläche im Gegensatz zu einem rechts-lateralen Maximum in den Experimenten 2 und 3 (RAN). Dieser topografische Unterschied kann unter Bezug auf das Dual-Pathway-Modell (Friederici & Alter, 2004) erklärt werden: In den Experimenten 2 und 3 war die entsprechende prosodische Manipulation auf dem kritischen Wort in satzfinaler bzw. phrasenfinaler Position erfolgt und der prosodische Widerspruch durch die Auslassung des satzfinalen bzw. phrasenfinalen Elements realisiert (Stille bzw. Pause). Damit konnte in den Experimenten 2 und 3 der prosodische Widerspruch durch eine rein akustische Analyse detektiert werden, für die den Annahmen des Dual-Pathway-Modells zufolge besonders die rechte Hemisphäre zuständig zu sein scheint. In Experiment 4 hingegen war der prosodische Widerspruch in einem prosodisch abweichenden Sprachsignal enthalten, nämlich auf dem kritischen Wort selbst. Damit beinhaltete der dargebotene Input über die rein akustische Information hinausgehende weitere linguistische Informationen, welche zu einer stärkeren Aktivierung links-hemisphärischer Areale geführt haben könnten. Daher

wird angenommen, dass die breit verteilte prosodische Negativierung auf satzmedialer Position in Experiment 4 vergleichbare Prozesse reflektiert wie die in den Experimenten 2 und 3 am Satzende bzw. am Phrasenende beobachtete RAN.

Zweitens belegt der Befund einer prosodischen Negativierung auf dem Wortstamm, dass prosodische Information unmittelbar verarbeitet wird und nicht an die Verfügbarkeit syntaktischer Information gebunden ist. Es konnte demonstriert werden, dass prosodische Information auch dann bereits verarbeitet wird, wenn die syntaktische Information über die Wortkategorieinformation des aktuellen Elements noch nicht verfügbar ist. Damit gelingt in Experiment 4 erstmals der neurophysiologische Beleg, dass Prosodie syntax-unabhängig bereits *vor* der primären syntaktischen Information eines Wortes verarbeitet werden kann, da der prosodische Effekt bereits vor der Verfügbarkeit der Wortkategorieinformation des kritischen Wortes auftrat. Somit nimmt prosodische Information eine besondere Rolle in der Sprachverarbeitung ein, da für andere sprachliche Informationen (z.B. lexikalische, morphosyntaktische) gezeigt wurde, dass diese zeitlich erst nach der Wortkategorieinformation verarbeitet werden (vgl. Friederici et al., 2004; Rossi et al., 2005).

Drittens schließen die Ergebnisse in Experiment 4 aus, dass die prosodische Negativierung lediglich als Indikator einer basalen akustischen Überraschungsreaktion interpretiert werden kann, wie dies allein auf Basis der Befunde aus den Experimenten 2 und 3 möglich gewesen wäre, da dort die prosodische Negativierung durch eine Auslassung des satzfinalen (bzw. phrasenfinalen) Wortes hervorgerufen wurde. Im Gegensatz dazu wurde in Experiment 4 die prosodische Negativierung in Reaktion auf eine akustisch völlig andere, aber auf Ebene der prosodischen Repräsentation sehr wohl vergleichbare Manipulation beobachtet. Somit kann die prosodische Negativierung als Korrelat eines Abgleichs zwischen prosodischen Erwartungen (top-down) und dem aktuellen Sprachinput (bottom-up) auf der Ebene der prosodischen Repräsentation charakterisiert werden.

Frühe fronto-temporale Negativierung auf der Wortendung: Index initialer syntaktischer Verarbeitung Für die syntaktische Manipulation wurde in Experiment 4 im Einklang mit der eingangs formulierten *Hypothese 2* ein biphasisches Muster aus früher Negativierung gefolgt von einer späten Positivierung beobachtet. Die syntaktische Negativierung

trat in einem Zeitfenster zwischen 200 und 400 ms nach der Endung des kritischen Wortes auf, welche die syntaktische Information über die Wortkategorie enthielt, und wird daher als ELAN-Komponente interpretiert, welche Prozesse der initialen Phrasenstrukturierung reflektiert. Die frühe syntaktische Negativierung zeigte sich nach einer reinen Wortkategorieverletzung in prosodisch kongruenten Sätzen ausschließlich über links-fronto-temporalen Elektroden. In prosodisch inkongruenten Sätzen hingegen wies sie eine bilaterale Verteilung auf (siehe Abbildung 7.7, rechts). Dabei erreichte die bilaterale syntaktische Negativierung die statistische Signifikanzschwelle nur dann, wenn die EKPs in Bezug auf die Endung des kritischen Wortes gemittelt wurden: Nur so konnte eine bei Mittelung auf dem Beginn des kritischen Wortes resultierende Verschmierung der auf der Endung des kritischen Wortes hervorgerufenen EKP-Effekte vermieden werden (eine Diskussion ähnlicher Verschmierungseffekte infolge variabler Wortlängen findet sich z.B. für die N400 bei Mäkelä, Mäkinen, Nikkilä, Ilmoniemi, & Tiitinen, 2001). Da auf der Endung des kritischen Wortes keine rechts-fronto-temporale Negativierung infolge einer rein prosodischen Inkongruenz hervorgerufen wurde, kann ein simples additives Modell als Erklärung für die bilaterale syntaktische Negativierung in der kombinierten prosodisch-syntaktischen Verletzungsbedingung ausgeschlossen werden. Vielmehr bestätigten weitere Analysen auf Basis von Differenzkurven, dass die Verteilungsunterschiede der frühen fronto-temporalen syntaktischen Negativierung abhängig waren von der prosodischen In-/Kongruenz der Sätze (links-fronto-temporale Negativierung für prosodisch kongruente Sätze, bilaterale fronto-temporale Negativierung für prosodisch inkongruente Sätze, siehe Abschnitt 7.3.2.3). Die bilaterale Verteilung der frühen syntaktischen Negativierung im ELAN-Zeitfenster kann daher als direkter Beleg für eine Interaktion zwischen prosodischer und syntaktischer Information während der initialen Phrasenstrukturierung angesehen werden. Somit stützen die Befunde aus Experiment 4 die in *Hypothese 3* formulierte Annahme, dass die Detektion eines reinen Wortkategoriefehlers, welcher auf segmentaler Ebene kodiert wird (Endung -r vs. -rt), mit der links-hemisphärischen frühen fronto-temporalen Negativierung (korrespondierend zur ELAN) einhergeht. Gleichmaßen konnte auch *Hypothese 4* in Experiment 4 bestätigt werden: Sobald der sprachliche Input zusätzlich eine prosodische Inkongruenz enthält, welche auf suprasegmentaler Ebene analysiert

werden muss, rekrutiert die initiale Phrasenstrukturanalyse zusätzlich rechts-hemisphärische Areale, was sich in einer bilateralen fronto-temporalen Negativierung im ELAN-Zeitfenster äußert. Diese Annahme vermag die in der Literatur gefundenen Unterschiede in der Lateralisierung der ELAN-Komponente zu erklären, wo eher links-lateralisierte frühe anteriore Negativierungen sowohl bei visueller Präsentation als auch bei auditiver Präsentation natürlich eingesprochener Sätze berichtet wurden, bei denen eine kongruente prosodische Struktur angenommen werden kann. Bilateral verteilte frühe Negativierungen hingegen wurden in Studien mit auditiver Präsentation geschnittener Sätze gefunden, bei denen die Splicing-Prozedur nicht hinsichtlich suprasegmentaler Merkmale kontrolliert worden war und eine parallele prosodische Inkongruenz enthalten war.

Späte Positivierung: Integrative Prozesse Wie in *Hypothese 2* vermutet, wurden für die syntaktischen Verletzungen späte Positivierungen registriert, die als P600-Komponenten interpretiert werden können. Parallel zu den Ergebnissen aus den Experimenten 2 und 3 konnte die interaktive Relation von Prosodie und Syntax im späten Zeitfenster bestätigt werden, da der P600-Effekt (bestimmt in Mittelungsepoche I, siehe Abschnitt 7.3.2.3) in der kombinierten Verletzungsbedingung signifikant größer war als die Summe der P600-Effekte für die rein prosodische und die rein syntaktische Verletzung.

Zusammenfassung Experiment 4 In Experiment 4 konnte ein ELAN-Effekt als Folge einer Wortkategorieverletzung registriert werden. Im Einklang mit den Hypothesen der vorliegenden Arbeit wurde dabei für eine rein syntaktische Verletzung eine links-laterale ELAN beobachtet, während sich die ELAN in der kombinierten prosodisch-syntaktischen Verletzung über beiden Hemisphären zeigte. Dies lässt sich als direkte Evidenz für eine Interaktion zwischen Prosodie und Syntax bei der initialen syntaktischen Strukturbildung (ELAN) interpretieren, wobei der prosodische Einfluss durch eine zusätzliche Aktivierung von rechts-hemisphärischen Arealen offenkundig wird. Damit ist erstmals ein direkter neurophysiologischer Nachweis dafür erbracht, dass prosodische Information initiale syntaktische Strukturbildungsprozesse beeinflusst. Der Befund des Auftretens der prosodischen Negativierung zeitlich vor der ELAN belegt weiterhin, dass prosodische Information unabhängig von syn-

taktischer Information verarbeitet werden kann, und dass prosodische Prozesse der initialen syntaktischen Strukturbildung vorausgehen können. Die hier dargestellten Ergebnisse aus Experiment 4 wurden in Eckstein und Friederici (2006) veröffentlicht.

Kapitel 8

Allgemeine Diskussion und Ausblick

Die vorliegende Arbeit soll einen Beitrag zur Klärung der Frage leisten, ob und wann während des Sprachverstehens prosodische Informationen und syntaktische Informationen interagieren. Ausgehend von den in Kapitel 1 dargestellten linguistischen Annahmen schieben syntaktische Prozesse auf Ebene der Phrasenstrukturierung und phrasale Prosodie die erfolgversprechendsten Kandidaten für die Untersuchung des Zusammenhangs zwischen Prosodie und Syntax zu sein: Die meisten Prosodiemodelle gehen derzeit davon aus, dass in der prosodischen Hierarchie nur lokale Beziehungen zwischen unmittelbar benachbarten Ebenen ausgebildet werden, jedoch keine globalen Beziehungen über hierarchische Ebenen hinweg existieren. Auch auf der Ebene der syntaktischen Information kann ein rein lokaler Abgleich (benachbarter) syntaktischer Konstituenten auf Basis von Wortkategorieinformation im Rahmen der initialen Phrasenstrukturanalyse unterschieden werden von eher globalen syntaktischen Abhängigkeiten (z.B. Morphosyntax bei der Subjekt-Verb-Kongruenz) über Satzelemente hinweg.

Diese Parallelen werfen die Frage auf, inwieweit die prosodische und die syntaktische Repräsentation auf Phrasenebene lokal aufeinander bezogen werden können und wie der Zeitverlauf eines solchen Abgleichs charakterisiert werden kann. Um speziell den zeitlichen Ablauf des Zusammenspiels beider Faktoren möglichst präzise untersuchen zu können, wurde die Methode der ereigniskorrelierten Potentiale gewählt, welche eine millisekundengenaue Abbildung intern ablaufender kognitiver Prozesse erlaubt. Im Folgenden soll eine

Zusammenfassung der wichtigsten Ergebnisse gegeben werden und deren Schlussfolgerungen in experimenteller und theoretischer Hinsicht dargelegt werden.

Ausgangspunkt waren Befunde aus EKP-Studien zur initialen Syntaxverarbeitung, in denen im Einklang mit linguistischen Syntax-first-Theorien eine frühe, hochautomatische EKP-Komponente nachgewiesen werden konnten, welche offenbar ausschließlich durch Wortkategorieinformation moduliert wird und bei Verletzungen der syntaktischen Phrasenstruktur beobachtet wird - die ELAN (early left-anterior negativity). Beim Überblick über die Literatur fiel auf, dass die mit Wortkategorieverletzungen assoziierte ELAN bei visueller Präsentation durchgängig links-anterior auftrat. Bei auditiver Präsentation hingegen berichtet ein Teil der Studien ebenfalls eine links-anteriore ELAN, in anderen Untersuchungen zeigte sich die ELAN hingegen bilateral verteilt. Dabei lassen sich innerhalb der auditiven Studien einerseits interindividuelle Unterschiede in der Lateralisierung der ELAN ausmachen. Andererseits kann innerhalb der auditiven Domäne auch ein Zusammenhang zwischen der Lateralisierung der ELAN und den Spezifika des verwendeten Stimulusmaterials beobachtet werden, da natürlich eingesprochene Sätze mit einem Wortkategoriefehler zu einer links-lateralisierten ELAN führten, hingegen durch das Herausschneiden eines obligatorischen syntaktischen Elements künstlich erzeugte Sprachmaterialien eher bilaterale ELAN-Effekte hervorriefen (ausführlich hierzu siehe Kapitel 3). Basierend auf Befunden aus der Psychophysik und Neuropsychologie (siehe Abschnitte 2.3, 2.4 und 2.5), welche dafür sprechen, dass prosodische Information besonders rechts-hemisphärisch verarbeitet wird, nimmt die vorliegende Arbeit diese Beobachtungen zum Anlass für die Hypothese, dass die Lateralisierung der ELAN durch prosodische Verarbeitungsprozesse moduliert wird.

Um diese Arbeitshypothese zu prüfen, wurden zwei Vorgehensweisen gewählt: Erstens sollte mit Hilfe eines differentiellen Ansatzes beleuchtet werden, ob die interindividuellen Lateralisierungsunterschiede der ELAN im Zusammenhang mit individuellen Unterschieden in der prosodischen Verarbeitung gesehen werden können. Dieser Ansatz wird in Experiment 1 verfolgt. Zweitens sollte geprüft werden, ob sich ein Zusammenhang zwischen prosodischer Information und syntaktischer Information auch intraindividuell nachweisen lässt. Zu

diesem Zweck wurden in den Experimenten 2, 3 und 4 die beiden Variablen Prosodie und Syntax direkt manipuliert.

Der Vermutung, dass die Lateralisierung der ELAN im Zusammenhang mit der individuellen Verarbeitung prosodischer Information stehen könnte, wurde in **Experiment 1** nachgegangen. Darin wurde ein bereits mehrfach erfolgreich zur Untersuchung der ELAN-Komponente eingesetztes Satzmaterial verwendet (z.B. Hahne & Friederici, 1999, 2002), um zu überprüfen, inwieweit individuelle Unterschiede in der Verarbeitung prosodischer Information einen Einfluss auf die Lateralisierung der ELAN haben. In diesem Material war die syntaktische Verletzung als Wortkategoriefehler realisiert, welcher durch das nachträgliche Herausschneiden eines obligatorischen syntaktischen Elements erzeugt worden war. Da hierbei nicht bezüglich einer Veränderung der prosodischen Parameter kontrolliert wurde, war durch die Splicing-Prozedur gleichzeitig eine prosodische Inkongruenz entstanden.

In Ermangelung eines normierten Testverfahrens im Deutschen, welches zur Erfassung der prosodischen Fähigkeiten eines (sprachunauffälligen) Probanden geeignet wäre, wurden die Probanden des ersten Experiments entsprechend ihrer Fehlerraten in einer zuvor durchgeführten prosodischen Beurteilungsaufgabe in drei Gruppen unterteilt (Prosodievor-test: unter 3 % Fehler = Gruppe A - gut, 3-17 % Fehler = Gruppe B - mittel, über 17 % Fehler = Gruppe C - schlecht).

Die Wortkategorieverletzung rief in der Gesamtstichprobe ein biphasisches Muster aus ELAN (150 - 350 ms) gefolgt von einer posterioren P600 (400 - 1000 ms) hervor. Dieses Muster entspricht den Befunden aus früheren Studien, welche dasselbe Satzmaterial verwendeten. Darüber hinaus zeigten sich in den EKPs Unterschiede in der Lateralisierung der ELAN zwischen den auf Basis der Leistungen im Prosodievor-test unterschiedenen Probandengruppen: Während bei Probanden mit guten Leistungen im Prosodievor-test (Gruppe A) eine ELAN über dem links-anterioren ROI lediglich marginal signifikant wurde, zeigten Probanden mit mittleren Leistungen im Prosodievor-test (Gruppe B) eine reliable ELAN über links-anterioren Elektroden. Bei Probanden mit schlechten prosodischen Leistungen im Vor-test (Gruppe C) schließlich wurde eine ELAN sowohl links-anterior als auch tendenziell rechts-anterior registriert. Das heißt: je schlechter das Abschneiden der Probanden bei der

prosodischen Beurteilungsaufgabe war, desto stärker war der ELAN-Effekt über der linken Hemisphäre und desto deutlicher trat eine rechts-hemisphärische E(L)AN hinzu. Arbeitsgedächtnis und Geschlecht zeigten hingegen keinen Einfluss auf die Lateralisierung der ELAN. Auch konnten Unterschiede zwischen den drei Prosodiegruppen in Bezug auf Prozesse der primären akustischen Verarbeitung (N1-P2-Komplex) ausgeschlossen werden. Die Tatsache, dass die beschriebenen ELAN-Effekte in Experiment 1 innerhalb der Gruppen teilweise nur marginal signifikant wurden, kann sicherlich nicht zuletzt auch auf den geringen Stichprobenumfang ($n=14$) der Subgruppen zurückgeführt werden.

Ähnliche Ergebnisse wie Experiment 1 fanden auch Pakulak und Neville (2004) in einer Studie, in der Probanden mit hohen und niedrigen Leistungen in einem allgemeinen Sprachfähigkeitstest bezüglich ihrer elektrophysiologischen Korrelate auf einen Wortkategoriefehler miteinander verglichen wurden. Dabei zeigten Probanden mit guten Leistungen im Sprachtest eine links-lateralisierte ELAN, während Probanden mit schlechten Leistungen im Sprachtest eine bilaterale ELAN aufwiesen. Pakulak und Neville interpretieren die zusätzliche Aktivierung rechts-hemisphärischer Areale bei Probanden mit schlechten Sprachleistungen als Indiz einer breiter verteilten neuronalen Aktivität infolge allgemeiner geringerer Verarbeitungsressourcen. Die Befunde aus Experiment 1 der vorliegenden Arbeit präzisieren diese Interpretation insofern, als dass weniger geringe allgemeinsprachliche Leistungen als Ursache für die unterschiedlichen Verteilungen der ELAN verantwortlich erscheinen, sondern spezifisch die Verarbeitung prosodischer Information als kritisch angesehen werden kann.

Das beobachtete Datenmuster ist kompatibel mit der Annahme, dass sich interindividuelle Unterschiede bei prosodischen Sprachverarbeitungsprozessen auf die Topografie der ELAN auswirken können. Dennoch bleibt die Evidenz für die Arbeitshypothese bezüglich der Relation von Prosodie und Syntax aus Experiment 1 eher indirekt, da in diesem Design die Effekte der Variablen Prosodie und Syntax nicht separat evaluiert werden konnten.

In **Experiment 2** wurden deshalb Prosodie und Syntax vor dem Hintergrund folgender Überlegungen direkt variiert: Da in Experiment 1 die Topografie der ELAN entsprechend der prosodischen Fähigkeiten der Probanden moduliert wurden, muss die Wortkategoriever-

letzung auf dem kritischen Wort auch auf prosodischer Ebene von den verschiedenen Probandengruppen unterschiedlich verarbeitet worden sein. Dies ließ vermuten, dass sich die Verarbeitung der parallel zur Wortkategorieverletzung infolge der Splicing-Prozedur enthaltenen prosodischen Inkongruenz in den EKPs reflektieren könnte. Eine solche prosodische Inkongruenz kann aus theoretischer Perspektive unter zwei verschiedenen Blickwinkeln charakterisiert werden: Einerseits könnte durch das Herausschneiden des vorletzten Wortes das satzfinale Partizip als unerwartetes Satzende aufgefasst werden (prosodische Inkongruenz Typ I). Zweitens könnte das Herausschneiden eines Wortes auch als Fehlen eines prosodisch antizipierten Elements interpretiert werden (prosodische Inkongruenz Typ II). Daher wurden in Experiment 2 beide möglichen Typen getestet, um einerseits festzustellen, welcher Typ prosodischer Inkongruenz zu Verarbeitungsschwierigkeiten führen könnte, und andererseits zu klären, wie die Korrelate der Verarbeitung einer solchen prosodischen Inkongruenz im EKP aussehen.

Dafür wurde in Experiment 2 neues Satzmaterial kreiert, in dem an zwei verschiedenen Positionen im Satz (vorletztes bzw. letztes Wort) die Variablen Syntax und Prosodie manipuliert wurden. Dabei erlaubte die Variation der Position des kritischen Wortes, beide Typen von prosodischer Inkongruenz innerhalb ein und desselben experimentellen Designs zu überprüfen und somit zu klären, ob die im Satzmaterial von Experiment 1 angewandte Splicingprozedur tatsächlich zu einer vergleichbaren prosodischen Inkongruenz geführt hat.

Im Ergebnis von Experiment 2 zeigte sich, dass beide Arten prosodischer Inkongruenzen unterscheidbare Effekte in den EKPs hervorrufen: Wenn die prosodische Information des kritischen Wortes unerwartet das Ende des Satzes signalisierte (Typ I) und dann doch noch ein weiteres Wort folgte, war in den EKPs für syntaktisch korrekte Sätze eine zentroposteriore Negativierung (zwischen 650 und 850 ms bezogen auf den Beginn des kritischen Wortes) zu beobachten. Entsprechend ihrer Topografie und Latenz wurde diese Negativierung als prosodie-getriebene N400 interpretiert, welche als Korrelat des prosodisch unerwarteten satzfinalen Wortes angesehen werden kann, nachdem das vorhergehende kritische Wort bereits prosodisch das Satzende markiert hatte. Für die Interpretation des beobachteten Effekts als N400 spricht auch die Tatsache, dass die prosodische N400 in syntaktisch

inkorrekten Sätzen nicht auftrat. Wenngleich es schwierig ist, aus der Abwesenheit eines EKP-Effekts Rückschlüsse zu ziehen, korrespondiert diese Beobachtung zumindest zu Befunden, die ebenfalls ein Ausbleiben des N400-Effekts bei semantisch unpassenden Wörtern fanden, wenn diese syntaktisch nicht lizenziert waren (z.B. Hahne & Friederici, 2002). Die prosodische N400 wird als Indiz für einen Einfluss prosodischer Information auf Prozesse der lexikalisch-semantischen Verarbeitung angesehen.

Weiterhin wurde in Experiment 2 für Typ II der prosodischen Inkongruenz eine rechts-anteriore Negativierung beobachtet, welche unmittelbar im Anschluss an ein kritisches Wort (zwischen ca. 110 und 220 ms bezogen auf den Zeitpunkt der prosodischen Verletzung) auftrat, das zwar prosodisch die Weiterführung des Satzes signalisiert hatte, dann aber unerwartet von Stille gefolgt wurde. Dieser rein prosodische Widerspruch zwischen auf Basis des vorangegangenen Sprachinputs aufgebauten prosodischen Erwartungen und der prosodischen Information des aktuellen Sprachinputs war unabhängig von der syntaktischen Korrektheit des Satzes. Die rechts-anteriore Negativierung soll als RAN bezeichnet werden und wird als bislang in der Literatur noch nicht beschriebenes Korrelat prosodischer Verarbeitungsprozesse angesehen. Dabei kann die RAN als direkter Indikator für die Detektion einer Inkompatibilität von aufgebauten Erwartungen (top-down) und dem aktuellen Sprachinput (bottom-up) verstanden werden. Die Tatsache, dass die RAN ihr Maximum über der rechten Hemisphäre erreicht, ist vereinbar mit einer ganzen Reihe von Befunden, die rechts-hemisphärische Aktivierungen für die Verarbeitung prosodischer Information finden (siehe Abschnitt 2.5).

EKP-Effekte mit einer ähnlichen Topografie wie die RAN sind bislang eher aus dem Bereich der Musikverarbeitung bekannt: So berichteten Koelsch und Kollegen (2003) eine frühe rechts-anteriore Negativierung (ERAN) um 150 ms für Verletzungen von Harmonieregeln (siehe Abschnitt 2.4, s.a. Patel, Peretz, et al., 1998). Bezüglich der Verteilung über die Schädeloberfläche scheinen ERAN und RAN vergleichbar zu sein. Ein offensichtlicher Unterschied in der Latenz der beiden Effekte könnte auf Unterschiede in der zeitlichen Struktur der jeweils verwendeten Materialien zurückgeführt werden, da unter Berücksichtigung des Zeitpunktes, zu dem der prosodische Widerspruch bzw. die musikalische Regelverletzung detektierbar waren, ERAN und RAN auch bezüglich ihrer Latenz vergleichbar sind. Daher

wäre es interessant herauszufinden, inwieweit die ERAN in der Musik und die RAN in der Sprache auf die gleichen elektrophysiologischen Quellen zurückgehen und die selben kognitiven Prozesse involvieren. Zukünftige Untersuchungen sind in diesem Zusammenhang notwendig, da die vorliegende Arbeit ihren Fokus auf die Beschreibung des zeitlichen Verlaufs einer möglichen Interaktion prosodischer und syntaktischer Information legte.

Neben einer syntaktischen P600 als Korrelat von Reanalyse- und Reparaturprozessen infolge der syntaktischen Verletzung wurde als weiteres Hauptergebnis in Experiment 2 zum ersten Mal eine P600 auch als Reaktion auf eine rein prosodische Inkongruenz beobachtet, was eindeutig gegen die Annahme einer strengen Syntaxspezifität der P600-Komponente spricht. Die prosodische P600 wurde in diesem Zusammenhang als Indikator von Integrationsschwierigkeiten bzw. Reanalyseprozessen auf prosodischer Ebene interpretiert. Eine ebenfalls prosodisch induzierte späte Positivierung wurde zwar auch in einer anderen EKP-Studie berichtet, gleichzeitig jedoch von den Autoren (Astesano et al., 2004) entsprechend der erhöhten Latenz als „P800“ bezeichnet und von der P600-Komponente explizit abgegrenzt. Im Gegensatz zu dem Ergebnis aus der Astesano-Studie, in der die prosodische P800 nur bei einer expliziten prosodischen Beurteilungsaufgabe registriert wurde, trat die prosodische P600 in Experiment 2 bei einer impliziten Aufgabe auf. Gleichwohl kann nicht völlig ausgeschlossen werden, dass beide, die syntaktische Beurteilungsaufgabe in Experiment 2 und die prosodische Beurteilungsaufgabe in der Studie von Astesano und Kollegen, die Aufmerksamkeit der Probanden auf strukturelle Aspekte der Sätze lenkten. Gewissheit in dieser Frage könnte allein die erneute Durchführung von Experiment 2 mit einer ausgesprochen nicht-strukturellen Aufgabe (z.B. Inhaltsfrage, lexikalische Entscheidungsaufgabe etc.) liefern.

In Bezug auf die Relevanz der EKP-Befunde aus Experiment 2 für die psycholinguistische Modellbildung soll hervorgehoben werden, dass sowohl die RAN als auch die prosodische P600 wertvolle neurophysiologische Evidenz für die psycholinguistische Annahme der Existenz einer prosodischen Repräsentationsebene beim Sprachverstehen bieten, welche separat geparkt werden muss und auf deren Ebene Inkongruenzen sowohl detektiert als auch reanalysiert werden.

Besonders wichtig im Zusammenhang mit der Arbeitshypothese der vorliegenden Arbeit ist schließlich, dass eine tendenzielle Interaktion prosodischer und syntaktischer Information in der P600-Komponente ermittelt wurde, welche jedoch zunächst in Experiment 2 statistisch nicht vollständig abgesichert werden konnte.

Experiment 3 wurde mit drei Hauptzielen durchgeführt: Erstens sollte der bislang in der Literatur noch nicht berichtete prosodie-getriebene EKP-Effekt der RAN repliziert werden. Zweitens sollte geprüft werden, inwieweit die in Experiment 2 beobachteten Effekte auch über die Satzendposition hinaus generalisierbar sind. Dafür wurde das Satzmaterial aus Experiment 2 adaptiert und so erweitert, dass die Manipulationen der experimentellen Variablen Prosodie und Syntax nun auf vorletzter und letzter Position einer Satzphrase lokalisiert waren. Drittens sollte weitere Evidenz für die in Experiment 2 beobachtete Tendenz einer späten Interaktion zwischen Prosodie und Syntax erbracht werden.

Im Ergebnis von Experiment 3 ließen sich sowohl die RAN-Komponente (zwischen ca. 100 und 200 ms relativ zum Zeitpunkt der prosodischen Verletzung) als Reaktion auf einen rein prosodischen Widerspruch (Typ II) als auch die prosodische P600 replizieren. Eine Abweichung in den Latenzen der EKP-Effekte konnte den akustischen Unterschieden im Satzmaterial (längere Wortdauer in Experiment 3) zugeschrieben werden. Weiterhin zeigte die prosodische Negativierung in Experiment 3 zwar eine breitere Verteilung über die Schädeloberfläche, zumindest deskriptiv war die Topografie jedoch vergleichbar zur RAN in Experiment 2 und wies ein Maximum über der rechten Hemisphäre auf (daher als R(A)N bezeichnet). Im Unterschied zur RAN in Experiment 2 variierte die R(A)N in Experiment 3 in Abhängigkeit von der syntaktischen Korrektheit des Satzes (reduziert bei syntaktisch inkorrekten Sätzen). Dies würde jedoch der Annahme widersprechen, dass die prosodische Negativierung (RAN/R(A)N) ein unabhängiger prosodischer Effekt ist. Unter Bezug auf die Ergebnisse der detaillierten akustischen Analysen der Satzmaterialien in den Experimenten 2 und 3 konnte jedoch demonstriert werden, dass die Reduktion der R(A)N vermutlich nicht durch die syntaktische Manipulation selbst bedingt ist, sondern möglicherweise durch eine reduzierte Salienz der prosodischen Inkongruenz in der kombinierten Verletzungsbedingung aufgrund abweichender prosodischer Parameter hervorgerufen wurde. Die Argumentation,

dass die verschiedenen prosodischen Muster tatsächlich zu Unterschieden in der wahrgenommenen Salienz des prosodischen Widerspruchs führen und sich dies in der Amplitude der RAN spiegelt, stellt eine interessante Frage für weitere empirische Untersuchungen dar.

Anders als in Experiment 2 konnte in Experiment 3 am Ende einer Satzphrase keine prosodische N400 für die prosodische Inkongruenz Typ I beobachtet werden - stattdessen trat ein P600-Effekt auf. Daher kann die in Experiment 2 registrierte prosodische N400 nicht ohne weiteres auf andere Positionen im Satz generalisiert werden, sondern beschränkt sich bislang auf das Satzende. Bei der Frage nach dem genauen Mechanismus der in Experiment 2 beobachteten prosodischen N400 hilft dieses Ergebnis insoweit, als dass basierend auf dem Ausbleiben der prosodischen N400 am Phrasenende vermutet werden kann, dass möglicherweise die prosodische Information über das Satzende zu abschließenden lexikalischen Prozessen führt, welche an einem Phrasenende noch nicht auftreten. Damit würde die Verarbeitung eines weiteren lexikalischen Elements nur nach dem prosodischen Signal für ein Satzende erschwert, nicht jedoch nach einem Phrasenende. Die hingegen am Phrasenende für eine vergleichbare prosodische Manipulation auf dem vorletzten Wort beobachtete P600 kann als Indikator für prosodische Reparatur- bzw. Reanalyseprozesse interpretiert werden (s.a. Steinhauer et al., 1999), infolge derer die Integration nachfolgenden Inputs der nächsten Satzphrase in die korrigierte prosodische Struktur ermöglicht wird.

Die in Experiment 3 nach einer prosodischen Inkongruenz auf dem vorletzten Wort der Satzphrase registrierte P600 war im Gegensatz zu den für satzfinale Elemente beobachteten P600-Effekten (Experiment 2) und anders als bei den prosodischen und syntaktischen P600-Effekten auf dem phrasenfinalen kritischen Wort in Experiment 3 links-lateralisiert. Über die Bedeutung dieses Hemisphärenunterschieds können bislang nur Vermutungen angestellt werden: Im Datenmuster der Experimente 2 und 3 findet sich eine rechts-laterale P600 immer dann, wenn das kritische Wort in satzfinaler bzw. phrasenfinaler Position stand. Damit trat eine rechts-laterale P600 immer dann auf, wenn die prosodische Inkongruenz durch (unerwartete) Stille hervorgerufen wurde (Satzende in Experiment 2 bzw. 500 ms Pause vor dem angehängten Komplementsatz in Experiment 3). Im Gegensatz dazu trat die links-lateralisierte P600 dann auf, wenn die prosodische Manipulation nach dem Ende des vorletzten Wortes

der Satzphrase detektiert wurde, auf das ein weiteres (prosodisch unerwartetes) Wort folgte. Ausgehend von den Annahmen des Dual-Pathway-Modells (siehe Abschnitt 2.6) lässt sich vermuten, dass die Lateralisierung der P600 in Abhängigkeit vom linguistischen Informationsgehalt des Sprachinputs moduliert wird, auf dessen Basis die prosodische Inkongruenz entdeckt wird.

Der weitaus wichtigste Befund in Experiment 3 im Zusammenhang mit der vorliegenden Arbeit war jedoch, dass nun auch die Interaktion zwischen Prosodie und Syntax im Bereich der P600-Komponente statistisch bestätigt werden konnte. Damit kann eine Interaktion zwischen prosodischen und syntaktischen Informationen im Bereich der P600-Komponente als gesichert angesehen werden. Bezogen auf das der vorliegenden Arbeit zugrunde gelegte Neurokognitive Modell der auditiven Sprachverarbeitung (Friederici, 2002) kann somit konstatiert werden, dass prosodische Informationen und syntaktische Informationen in der dritten Phase während des Sprachverstehensprozesses integriert werden: Basierend auf den Befunden der Experimente 2 und 3 lässt sich festhalten, dass ein Abgleich zwischen der syntaktischen Repräsentationsebene und der prosodischen Repräsentationsebene spätestens in einem späten integrativen Zeitfenster stattfindet.

Nachdem der Zusammenhang zwischen prosodischer und syntaktischer Information im Zeitbereich später integrativer Sprachverarbeitungsprozesse (P600) demonstriert werden konnte, stand abschließend als Kern der vorliegenden Arbeit die Frage im Mittelpunkt, ob sich auch für das frühe Verarbeitungsfenster der initialen Phrasenstrukturierung eine solche Interaktion nachweisen ließe. Hierfür wurde in **Experiment 4** ein neues Design erstellt, in dem mit Hilfe einer Wortkategorieverletzung eine ELAN hervorgerufen werden sollte und gleichzeitig auch eine kontrollierte Variation der prosodischen Kongruenz vorgenommen werden konnte. Die besondere Herausforderung, die auf verschiedenen Zeitskalen präsenten Variablen Syntax (segmentale Information) und Prosodie (suprasegmentale Information) getrennt voneinander zu manipulieren, wurde gelöst, indem beide Variablen zeitlich auseinander gezogen wurden, so dass die prosodische Manipulation auf dem Wortstamm und die syntaktische Manipulation auf der Endung desselben kritischen Wortes erfolgte.

Im Ergebnis von Experiment 4 konnte zunächst die prosodische Negativierung für prosodisch inkongruente Sätze erneut repliziert werden. Parallel zu den Experimenten 2 und 3 wird dieser Effekt als Korrelat des Widerspruchs zwischen der online aufgebauten prosodischen Erwartung bezüglich der Fortsetzung des Satzes und dem aktuellen Sprachinput (das prosodisch als satzfinal gekennzeichnete kritische Wort) gesehen. Allerdings zeigte die prosodische Negativierung in Experiment 4 eine breite bilaterale Verteilung über der Schädeloberfläche (im Gegensatz zu einem rechts-lateralen Maximum der RAN und R(A)N in den Experimenten 2 und 3). Dieser topografische Unterschied kann wiederum unter Bezug auf das Dual-Pathway-Modell adressiert werden: In den Experimenten 2 und 3 konnte der prosodische Widerspruch durch eine rein akustische Analyse (prosodisch unerwartete Stille bzw. Pause) detektiert werden, für die primär die rechte Hemisphäre zuständig zu sein scheint. In Experiment 4 hingegen war der prosodische Widerspruch in einem prosodisch abweichenden Sprachsignal enthalten, nämlich auf dem kritischen Wort selbst. Da der dargebotene Input über die rein akustische Information hinausgehende weitere linguistische Informationen beinhaltete, könnte eine stärkere Aktivierung links-hemisphärischer Areale resultieren. Unter dieser Annahme wird argumentiert, dass die breit verteilte prosodische Negativierung auf dem kritischen Wort in phrasenmedialer Position in Experiment 4 funktional vergleichbare Prozesse reflektiert wie die in den Experimenten 2 und 3 am Satzende bzw. am Phrasenende beobachtete RAN.

Somit schließen die Ergebnisse von Experiment 4 aus, dass die prosodische Negativierung lediglich als Indikator einer basalen akustischen Überraschungsreaktion (vgl. z.B. McCallum, 1980) interpretiert werden kann, wie dies allein auf Basis der Befunde aus den Experimenten 2 und 3 möglich gewesen wäre, da dort die prosodische Negativierung durch eine Auslassung des satzfinalen (bzw. phrasenfinalen) Wortes hervorgerufen wurde. Im Gegensatz dazu wurde in Experiment 4 die prosodische Negativierung in Reaktion auf eine akustisch völlig andere, aber auf Ebene der prosodischen Repräsentation vergleichbare Manipulation registriert. Dies belegt, dass die prosodische Negativierung treffender als Korrelat eines Abgleichs zwischen prosodischen Erwartungen (top-down) und dem aktuellen Spra-

chinput (bottom up) auf der Ebene einer prosodischen Repräsentation charakterisiert werden kann.

Die Beobachtung der prosodischen Negativierung auf dem Wortstamm des kritischen Wortes ist auch von bedeutender theoretischer Relevanz, da sie belegt, dass prosodische Information unmittelbar verarbeitet wird und nicht an die Verfügbarkeit syntaktischer Information gebunden ist. Damit weist Experiment 4 erstmals nach, dass Prosodie unabhängig von Syntax bereits *vor* der primären syntaktischen Information eines Wortes verarbeitet werden kann. Dies zeigt, dass prosodische Information eine besondere Rolle in der Sprachverarbeitung einnimmt, da andere sprachliche Informationen (z.B. lexikalische, morphosyntaktische) zeitlich erst nach der Wortkategorieinformation berücksichtigt werden (z.B. Friederici et al., 2004; Rossi et al., 2005). Dieser Befund stützt auch die Annahme von Modellen der Prosodieverarbeitung, in denen argumentiert wurde, dass die prosodische Repräsentation verarbeitungsinitial und noch *vor* einer syntaktischen Repräsentation erstellt wird (z.B. Schafer, 1997).

Im Zusammenhang mit der syntaktischen Manipulation wurde in Experiment 4 für eine rein syntaktische Verletzung eine links-fronto-temporale ELAN beobachtet. Damit konnte gezeigt werden, dass die ELAN tatsächlich ausschließlich über der linken Hemisphäre auftritt, wenn die prosodische Struktur des Satzes völlig kohärent ist. Wenn der Wortkategorieverletzung jedoch eine prosodische Inkongruenz vorausgegangen war, zeigte sich die ELAN über beiden Hemisphären. Da bei einer rein prosodischen Inkongruenz keine vergleichbare rechts-fronto-temporale Negativierung beobachtbar war, kann ein additives Modell von Syntax und Prosodie die bilaterale Verteilung der ELAN in der kombinierten Verletzungsbedingung nicht erklären. Dies lässt sich als direkte Evidenz für eine Interaktion zwischen Prosodie und Syntax bei der initialen syntaktischen Strukturbildung (ELAN) interpretieren. Die Modulation der Topografie der ELAN in Abhängigkeit von der prosodischen Kongruenz des Materials erbringt damit erstmals einen direkten neurophysiologischen Nachweis dafür, dass prosodische Information initiale syntaktische Strukturbildungsprozesse beeinflusst: Die Detektion eines reinen Wortkategoriefehlers, welcher auf segmentaler Ebene kodiert wird (Endung -r vs. -rt), geht somit mit einer links-hemisphärischen ELAN einher. Sobald

der sprachliche Input gleichzeitig eine prosodische Inkongruenz enthält, welche auf supra-segmentaler Ebene analysiert werden muss, stützt sich die initiale Phrasenstrukturanalyse zusätzlich auf die rechte Hemisphäre, was sich im EKP in einer bilateralen ELAN äußert.

Weiterhin konnte das interaktive Verhältnis von Prosodie und Syntax in der späten integrativen Sprachverstehensphase (P600) erneut bestätigt werden, was die Daten aus den vorangegangenen Experimenten 2 und 3 weiter stützt.

Der Befund einer verarbeitungsinitialen Interaktion zwischen prosodischer und syntaktischer Information vermag die in der Literatur gefundenen Unterschiede in der Lateralisierung der ELAN-Komponente zu erklären.

Implikationen für Sprachverstehensmodelle Im Ergebnis der vorliegenden Arbeit wird der Forderung nach der Implementierung der Verarbeitung prosodischer Information in Sprachverarbeitungsmodelle Nachdruck verliehen. Darüber hinaus gelang es, einen wesentlichen Beitrag zur Aufklärung des genauen Zeitverlaufs für das Zusammenspiel syntaktischer und prosodischer Informationen auf Phrasenebene zu leisten. Die theoretischen Konsequenzen der Befunde aus der vorliegenden Arbeit sollen am Beispiel des Dual-Pathway-Modells (DPM, Friederici & Alter, 2004) skizziert werden:

Die vorliegenden Daten sind mit der Grundannahme des DPM vereinbar, dass beim Sprachverstehen eine Unterscheidung zwischen segmentaler vs. supra-segmentaler Information getroffen werden kann, wobei segmentale Informationen vornehmlich in der linken Hemisphäre und supra-segmentale Informationen primär in der rechten Hemisphäre verarbeitet werden. Auf segmentaler Ebene wurde im Einklang mit den Vorhersagen des DPM für eine reine Wortkategorieverletzung eine frühe links-hemisphärische Negativierung (ELAN) gefolgt von einer späten Positivierung (P600) registriert. Die links-hemisphärische ELAN kann dabei als Ausdruck einer Verletzung rein syntaktischer Erwartungen bezüglich der Wortkategorie des aktuellen Elements interpretiert werden. Auch auf supra-segmentaler Ebene gelang es, empirische Belege für erwartungsbasierte prosodische Verarbeitungsprozesse zu finden: So zeigte sich für Verletzungen rein prosodischer Erwartungen bezüglich der supra-segmentalen Merkmale des aktuellen Elements eine frühe rechts-anteriore Negativierung (RAN), welche ebenfalls von einer späten Positivierung (prosodische P600) gefolgt wurde. Diese

Ergebnisse sind im Einklang mit der Annahme des DPM, dass syntaktische Verarbeitungsprozesse in Isolation (segmentaler Pfad) primär durch links-hemisphärische Areale gestützt werden (ELAN), die isolierte Verarbeitung phrasaler Prosodie (suprasegmentaler Pfad) hingegen vor allem rechts-hemisphärisch getrieben ist (RAN).

Weiterhin bieten die Befunde der RAN und der prosodischen P600 psychophysiologische Evidenz für die Annahme der Existenz einer prosodischen Repräsentation bei der Sprachverarbeitung. Darüber hinaus legen sie die Vermutung eines separaten prosodischen Parsers nahe, welcher - ähnlich zum Aufbau des syntaktischen Parsers - sowohl frühe, erwartungsbasierte Prozesse (reflektiert in der RAN) als auch späte integrative Prozesse (reflektiert in der prosodischen P600) involvieren könnte. Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit stützen die Annahme des DPM, dass sowohl auf der Ebene der syntaktischen Phrasenstruktur als auch auf der Ebene der prosodischen Phrasenstruktur ein verarbeitungsinitialer Abgleich zwischen zuvor ausgebildeten Erwartungen und dem aktuellen Input stattfindet. Wenn das aktuelle Wort nicht mit den ausgebildeten syntaktischen bzw. prosodischen Erwartungen übereinstimmt, führt die Detektion dieses Widerspruchs zu messbaren Korrelaten im EKP (ELAN bzw. RAN). Wie auch bei der initialen syntaktischen Analyse hängt dabei der Zeitverlauf der initialen prosodischen Verarbeitung direkt von dem Zeitpunkt ab, an dem die kritische (suprasegmentale) Information im kontinuierlichen Sprachstrom extrahiert werden kann.

Die Befunde der vorliegenden Arbeit belegen erstmals eine unmittelbare Interaktion prosodischer und syntaktischer Information bereits während der initialen Verarbeitungsphase. Damit läßt sich die vom DPM angenommene Interaktion zwischen syntaktischer und prosodischer Information zeitlich bereits auf die initiale Verarbeitungsphase spezifizieren. Auf neuronaler Ebene stützen die vorliegenden Ergebnisse die Annahme, dass sich die Interaktion zwischen Prosodie und Syntax auf der Ebene der Aktivierung der beiden Hemisphären äußert: Wenn der syntaktischen Verletzung eine prosodische Inkongruenz vorausgegangen war, wurde eine zusätzliche Aktivierung rechts-hemisphärischer Regionen beobachtet (welche nicht durch die Annahme additiver Aktivität aufgrund der prosodischen Inkongruenz erklärbar war). Der Befund der verarbeitungsinitialen Interaktion von Syntax und Proso-

die bestätigt psycholinguistische Annahmen, dass obligatorische Elemente der prosodischen Struktur die Analyse der syntaktischen Struktur eines Satzes beeinflussen können (siehe z.B. Frazier, Carlson, & Clifton, 2006, für eine aktuelle Diskussion). Zusätzlich konnte eine Interaktion zwischen Prosodie und Syntax auch während der späten integrativen Verarbeitungsphase beobachtet werden, welche sich in einer Modulation der P600 äußerte.

Die vorliegende Arbeit konnte erstmalig direkt nachweisen, dass prosodische Information unter bestimmten Umständen bereits *vor* der primären syntaktischen Information (Wortkategorie) verarbeitet werden kann. Besonders strukturgetriebene Modelle, welche davon ausgehen, dass phrasale syntaktische Information zeitlich und funktionell Vorrang vor der Verarbeitung anderer sprachlicher Informationsarten (wie Semantik) hat, sind mit diesem Befund nur dann vereinbar, wenn phrasale Prosodie explizit als Einflussfaktor für die initiale Strukturerstellung zugelassen wird (s.a. Steinhauer, 2001, S. 159).

Ausblick Im Folgenden soll ein kurzer Überblick über potentielle Fragestellungen, die sich aus den hier präsentierten Ergebnissen ableiten lassen, gegeben werden:

Für die in der vorliegenden Arbeit erstmalig beobachtete EKP-Komponente der RAN gilt es, eine Reihe von Fragen zu untersuchen: Handelt es sich bei der initialen prosodischen Analyse - parallel zur initialen syntaktischen Verarbeitung - ebenfalls um einen hochautomatischen Prozess? Der Grad der Automatizität der RAN könnte beispielsweise mit Hilfe einer Probabilitätsvariation der prosodischen Inkongruenz, über die Variation der Aufgabe (z.B. Inhaltsfrage), oder über die systematische Reduktion des syntaktischen und/ oder lexikalischen Gehalts des Materials exploriert werden. Weiterhin sollte die mögliche Abhängigkeit der RAN von der Salienz der prosodischen Inkongruenz systematisch überprüft werden. Die RAN, welche als Korrelat enttäuschter prosodischer Erwartungen interpretiert wurde, konnte auf Ebene von Intonationsphrasen und phonologischen Phrasen beobachtet werden. Offen bleibt, ob auch auf anderen Ebenen der prosodischen Hierarchie (z.B. dem prosodischen Wort) Erwartungen bezüglich des weiteren sprachlichen Inputs aufgebaut werden.

Auch die Lokalisation der neuronalen Generatoren der RAN stellt eine interessante Herausforderung dar, besonders vor dem Hintergrund der Frage, ob die RAN ähnliche Prozesse reflektiert wie die bei der Detektion musikalischer Regelverletzungen beobachtete ERAN

und somit beide Komponenten domänenübergreifende neuronale Prozesse abbilden könnten.

Im Zusammenhang mit der neuronalen Organisation der Verarbeitung syntaktischer und prosodischer Information schlägt das DPM vor, dass der dynamische Abgleich zwischen prosodischer und syntaktischer Information über das Corpus Callosum realisiert wird. Für die zweite Verarbeitungsphase, in der thematisch-semantic Relationen verarbeitet werden, konnte dies bereits demonstriert werden (Friederici, von Cramon, & Kotz, in Vorbereitung). Weitere Studien müssen zeigen, ob dem Corpus Callosum beim Informationsabgleich zwischen Syntax und Prosodie auch für die initiale und die späte integrative Verarbeitungsphase eine entscheidende Rolle zukommt.

Vor dem Hintergrund einer aktuellen Veröffentlichung von Frazier und Kollegen (Frazier et al., 2006) lassen sich weitere wichtige Fragestellungen ableiten: Darin treffen die Autoren eine Unterscheidung zwischen obligatorischen Elementen der prosodischen Struktur, welche die syntaktische Analyse eines Satzes lokal beeinflussen können, und optionalen prosodischen Elementen, welche unter Bezugnahme auf das globale Muster prosodischer Elemente eines Satzes zur Interpretation herangezogen werden. Die untersuchten prosodischen Inkongruenzen (welche sich im EKP in einer RAN reflektierten) lassen sich diesbezüglich auf der lokalen Ebene prosodischer Verarbeitung ansiedeln. Daraus lässt sich schlussfolgern, dass die Verarbeitung lokaler prosodischer Information sehr schnell und unmittelbar erfolgt. Weitere Studien müssten die Vermutung prüfen, dass die prosodische Verarbeitung auf globaler Ebene unter Berücksichtigung des gesamten prosodischen Musters des Satzes zeitlich nachgeordnet erfolgen sollte. Auch wäre es interessant herauszufinden, inwieweit die globale prosodische Struktur lokal aktualisiert wird. EKPs scheinen auch zur Untersuchung dieser Frage eine geeignete Methode darzustellen.

Zudem schlagen Frazier und Kollegen vor, dass eine besondere Funktion von Prosodie in der Gruppierung zusammengehöriger sprachlicher Einheiten im Arbeitsgedächtnis liegen könnte:

„...we speculate that the prosodic representation of the sentence is the essential skeleton that holds different syllables together and indexes an item across

representation types (phonological, syntactic, semantic), thereby permitting an utterance to be retained in memory while it is processed.“ (Frazier et al., 2006, S.1-2)

Zweifelsohne kann ausgeschlossen werden, dass die prosodische Repräsentation das alleinige Gerüst für die Integration der verschiedenen sprachlichen Teilinformationen sein kann. Dennoch könnten prosodische Informationen einen hocheffektiven und bevorzugten Mechanismus zur Strukturierung und zur Integration sprachlicher Einzelinformationen im Arbeitsgedächtnis bereitstellen, der nur unter erhöhtem Ressourceneinsatz durch andere Mechanismen ersetzt werden kann. Eine solche Annahme bietet speziell vor dem Hintergrund einer limitierten Arbeitsgedächtniskapazität eine interessante Perspektive für weitere Untersuchungen insbesondere beim Spracherwerb, bei Sprachentwicklungsstörungen und bei erworbenen Sprachstörungen.

Literatur

- Allbritton, D. W., McKoon, G., & Ratcliff, R. (1996). Reliability of prosodic cues for resolving syntactic ambiguity. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 22, 714-735.
- Alter, K., Matiassek, J., Steinhauer, K., Priker, H., & Friederici, A. D. (1998). Exploiting syntactic dependencies from German prosody: Evidence from speech production and perception. In B. Schröder, W. Lenders, W. Hess, & T. Portele (Eds.), *Computers, linguistics, and phonetics between language and speech* (p. 141-152). Frankfurt: Peter Lang.
- Altmann, G. T. M., & Steedman, M. (1988). Interaction with context during human sentence processing. *Cognition*, 30, 191-238.
- Astesano, C., Besson, M., & Alter, K. (2004). Brain potentials during semantic and prosodic processing in french. *Cognitive Brain Research*, 18, 172-184.
- Baum, S. R., Kelsch Daniloff, J., Daniloff, R., & Lewis, J. (1982). Sentence comprehension by Broca's aphasics: effects of some suprasegmental variables. *Brain and Language*, 17, 261-271.
- Baum, S. R., & Pell, M. D. (1999). The neural bases of prosody: Insights from lesion studies and neuroimaging. *Aphasiology*, 13, 581-608.
- Beach, C. M. (1991). The interpretation of prosodic patterns at points of syntactic structure ambiguity: Evidence for cue trading relations. *Journal of Memory and Language*, 30, 644-663.
- Beckman, M. E. (1996). The parsing of prosody. *Language and Cognitive Processes*, 11, 17-67.
- Beckman, M. E., & Pierrehumbert, J. (1986). Intonational structure in Japanese and English. *Phonology Yearbook*, 3, 255-309.
- Behrens, S. (1985). The perception of stress and lateralization of prosody. *Brain and Language*, 26, 332-348.
- Besson, M., & Faita, F. (1995). An event-related potential (ERP) study of musical expectancy: comparison of musicians with nonmusicians. *Journal of Experimental Psychology:*

- Human Perception and Performance*, 21, 1278-1296.
- Besson, M., & Macar, F. (1987). An event-related potential analysis of inconruity in music and other non-linguistic contexts. *Psychophysiology*, 24, 14-25.
- Besson, M., Magne, C., & Schön, D. (2002). Emotional prosody: sex differences in sensitivity to speech melody. *Trends in Cognitive Sciences*, 6, 405-407.
- Bever, T. G. (1970). *The cognitive basis for linguistic structure*. New York: Wiley.
- Birbaumer, N., & Schmidt, R. F. (1995). *Biologische Psychologie*. Berlin: Springer.
- Blasko, D. G., & Hall, M. D. (1998). Influence of prosodic boundaries on comprehension of spoken English sentences. *Perceptual and Motor Skills*, 87, 3-18.
- Boersma, P., & Weenink, D. (2001). *Praat. A system for doing phonetics by computer*. Institute for Phonetic Science.
- Boland, J. E., & Tanenhaus, M. K. (1991). The role of lexical representation in sentence processing. In G. Simpson (Ed.), *Understanding word and sentence* (p. 331-366). North-Holland: Elsevier.
- Bortz, J. (1999). *Statistik für Sozialwissenschaftler*. Berlin: Springer.
- Bradvik, B., Dravins, C., Holtas, S., Rosen, I., Ryding, E., & Ingevar, D. (1991). Disturbances of speech prosody following right hemispheric infarcts. *Acta Neurologica Scandinavica*, 84, 114-126.
- Brown, C. M., Hagoort, P., & Osterhout, L. (1999). The neurocognition of syntactic processing. In C. Brown & P. Hagoort (Eds.), *The neurocognition of language* (p. 273-316). Oxford: Oxford University Press.
- Brown, C. M., Hagoort, P., & ter Keurs, M. (1999). Electrophysiological signatures of visual lexical processing: Open- and closed-class words. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 11, 261-281.
- Bryan, K. (1989). Language prosody and the right hemisphere. *Aphasiology*, 3, 285-299.
- Bösel, R. (1996). *Die EEG-Grundaktivität. Ein Laborhelfer*. Regensburg: Roderer.
- Chen, M. Y. (1990). What must phonology know about syntax? In S. Inkelas & D. Zec (Eds.), *The phonology-syntax-connection* (p. 19-46). Chicago: University of Chicago Press.

- Chomsky, C., & Halle, M. (1968). *The sound pattern of English*. New York: Harper and Row.
- Chomsky, N. (1957). *Syntactic structure*. The Hague (Niederlande): Mouton.
- Clifton, C. J., Traxler, M. J., Taha Mohamed, T., Williams, R. S., Morris, R. K., & Rayner, K. (2003). The use of thematic role information in parsing: Syntactic processing autonomy revised. *Journal of Memory and Language*, *49*, 317-334.
- Cooper, W. E. (1980). Syntactic-to-phonetic coding. In B. Butterworth (Ed.), *Language production. Vol.1: Speech and talk* (p. 297-334). San Diego: Academic Press.
- Cooper, W. E., & Paccia-Cooper, J. (1980). *Syntax and speech*. Cambridge: Harvard University Press.
- Coulson, S., King, J., & Kutas, M. (1998). Expect the unexpected: Event-related brain potentials to morphosyntactic violations. *Language and Cognitive Processes*, *13*, 21-58.
- Cutler, A., Dahan, D., & van Donselaar, W. (1997). Prosody in the comprehension of spoken language - a literature review. *Language and Speech*, *40*, 141-201.
- Cutler, A., & Isard, S. D. (1980). The production of prosody. In B. Butterworth (Ed.), *Language production* (p. 245-270). London: Academic Press.
- Cutler, A., & Norris, D. (1988). The role of strong syllables for lexical access. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *14*, 121-133.
- Daneman, M., & Carpenter, P. A. (1980). Individual differences in working memory and reading. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, *19*, 450-466.
- Donchin, E. (1981). Surprise ... surprise? *Psychophysiology*, *18*, 493-513.
- Donchin, E., Ritter, W., & McCallum, W. C. (1978). Cognitive psychophysiology: The endogenous components of the ERP. In P. T. E. Callaway & S. H. Koslow (Eds.), *Event-related brain potentials in man* (p. 349-411). New York: Academic Press.
- Eckstein, K., & Friederici, A. D. (2005). Late interaction of syntactic and prosodic processes in sentence comprehension as revealed by ERPs. *Cognitive Brain Research*, *25*, 130-143.

- Eckstein, K., & Friederici, A. D. (2006). It's early: ERP-evidence for initial interaction of syntax and prosody in speech comprehension. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *18*, 1696-1711.
- Emmorey, K. (1987). The neurological substrates for prosodic aspects of speech. *Brain and Language*, *30*, 305-320.
- Ferreira, F. (1993). Creation of prosody during sentence production. *Psychological Review*, *100*, 233-253.
- Ferreira, F., & Anes, M. (1994). Why study spoken language. In M. Gernsbacher (Ed.), *Handbook of psycholinguistics* (p. 33-56). San Diego: Academic Press.
- Fery, C. (1993). *German intonational patterns*. Tübingen: Niemeyer.
- Fodor, J. A. (1983). *The modularity of mind*. Cambridge: MIT Press.
- Fodor, J. D. (1998). Learning to parse? *Journal of Psycholinguistic Research*, *27*, 285-319.
- Ford, M., Bresnan, J. W., & Kaplan, R. M. (1982). A competence based theory of syntactic closure. In J. W. Bresnan (Ed.), *The mental representation of grammatical relations* (p. 727-796). Cambridge: MIT Press.
- Frazier, L. (1987). Sentence processing: A tutorial review. In M. Coltheart (Ed.), *Attention and performance XII* (p. 559-586). Hillsdale: Erlbaum.
- Frazier, L. (1990). Exploring the architecture of the language-processing system. In G. Altman (Ed.), *Cognitive models in speech processing: Psycholinguistic and computational perspectives* (p. 409-433). Cambridge: MIT Press.
- Frazier, L. (1998). Getting there (slowly). *Journal of Psycholinguistic Research*, *27*, 123-146.
- Frazier, L., Carlson, K., & Clifton, C. (2006). Prosodic phrasing is central to language comprehension. *Trends in Cognitive Sciences*, *in press*.
- Frazier, L., & Clifton, C. (1995). *Construal*. Cambridge: MIT Press.
- Frazier, L., Clifton, C., & Carlson, K. (2004). Don't break, or do: prosodic boundary preferences. *Lingua*, *114*, 3-27.
- Friederici, A. D. (2001). Syntactic, prosodic, and semantic processes in the brain: Evidence from event-related-neuroimaging. *Journal of Psycholinguistic Research*, *30*, 237-250.

- Friederici, A. D. (2002). Towards a neural basis of auditory sentence processing. *Trends in Cognitive Sciences*, 6, 78-84.
- Friederici, A. D., & Alter, K. (2004). Lateralization of auditory language functions: A dynamic dual pathway model. *Brain and Language*, 89, 267-276.
- Friederici, A. D., Gunter, T. C., Hahne, A., & Mauth, K. (2004). The relative timing of syntactic and semantic processes in sentence comprehension. *NeuroReport*, 15, 165-169.
- Friederici, A. D., Hahne, A., & Mecklinger, A. (1996). Temporal structure of syntactic parsing: Early and late event-related brain potential effects elicited by syntactic anomalies. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 22, 1219-1248.
- Friederici, A. D., Hahne, A., & Saddy, D. (2002). Distinct neurophysiological patterns reflecting aspects of syntactic complexity and syntactic repair. *Journal of Psycholinguistic Research*, 31, 45-63.
- Friederici, A. D., & Kotz, S. A. (2003). The brain basis of syntactic processes: Functional imaging and lesion studies. *Neuroimage*, 20, S8-S17.
- Friederici, A. D., Mecklinger, A., Spencer, K. M., Steinhauer, K., & Donchin, E. (2001). Syntactic parsing preferences and their on-line revisions: a spatio-temporal analysis of event-related brain potentials. *Cognitive Brain Research*, 11, 305-323.
- Friederici, A. D., Pfeifer, E., & Hahne, A. (1993). Event-related brain potentials during natural speech processing: Effects of semantic, morphological and syntactic violations. *Cognitive Brain Research*, 1, 183-192.
- Friederici, A. D., Steinhauer, K., & Frisch, S. (1999). Lexical integration: Sequential effects of syntactic and semantic information. *Memory and Cognition*, 27, 438-453.
- Friederici, A. D., Steinhauer, K., Mecklinger, A., & Meyer, M. (1998). Working memory constraints on syntactic ambiguity resolution as revealed by electrical brain responses. *Biological Psychology*, 47, 193-221.
- Friederici, A. D., von Cramon, D. Y., & Kotz, S. A. (in Vorbereitung). The neural basis of the prosody-syntax-interplay: The role of the corpus callosum.

- Friederici, A. D., Wang, Y., Herrmann, C. S., Maess, B., & Oertel, U. (2000). Localization of early syntactic processes in frontal and temporal cortical areas: A magnetoencephalographic study. *Human Brain Mapping, 11*, 1-11.
- Friedrich, C. K., Alter, K., & Kotz, S. A. (2001). An electrophysiological response to different pitch contours in words. *NeuroReport, 12*, 3189-3191.
- Friedrich, C. K., Kotz, S. A., Friederici, A. D., & Alter, K. (2002). Pitch contour guides spoken word recognition. *Proceedings of the 1st International Conference on Speech Prosody, 1*, 311-314.
- Frisch, S., Hahne, A., & Friederici, A. D. (2004). Word category and verb-argument structure information in the dynamics of parsing. *Cognition, 91*, 191-219.
- Frisch, S., Kotz, S. A., von Cramon, D. Y., & Friederici, A. D. (2003). Why the P600 is not just a P300: The role of the basal ganglia. *Clinical Neurophysiology, 114*, 336-340.
- Gandour, J., Tong, Y., Wong, D., Talavage, T., Dziedzic, M., Xu, Y., et al. (2004). Hemispheric roles in the perception of speech prosody. *Neuroimage, 23*, 344-357.
- Gee, J. P., & Grosjean, F. (1983). Performance structures: A psycholinguistic and linguistic appraisal. *Cognitive Psychology, 15*, 411-458.
- Geisser, S., & Greenhouse, S. W. (1959). On methods in the analysis of profile data. *Psychometrika, 24*, 95-112.
- Grosjean, F. (1980). Spoken word recognition processes and the gating paradigm. *Perception and Psychophysics, 28*, 267-283.
- Grosjean, F. (1983). How long is the sentence? Prediction and prosody in the on-line processing of language. *Linguistics, 21*, 501-529.
- Grosjean, F., & Hirt, C. (1996). Using prosody to predict the end of sentences in English and French: Normal and brain-damaged subjects. *Language and Cognitive Processes, 11*, 107-134.
- Groß, J., Ioannides, A. A., Dammers, J., Maess, B., Friederici, A. D., & Müller-Gärtner, H. W. (1998). Magnetic field tomography analysis of continuous speech. *Brain Topography, 10*, 273-281.

- Gunter, T. C., & Friederici, A. D. (1999). Concerning the automaticity of syntactic processing. *Psychophysiology*, *36*, 126-137.
- Gunter, T. C., Friederici, A. D., & Hahne, A. (1999). Brain responses during sentence reading: visual input affects central processes. *NeuroReport*, *10*, 3175-3178.
- Gunter, T. C., Friederici, A. D., & Schriefers, H. (2000). Syntactic gender and semantic expectancy: ERPs reveal early autonomy and late interaction. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *12*, 556-568.
- Gunter, T. C., Jackson, J. L., & Mulder, G. (1999). Priming and aging: An electrophysiological investigation of N400 and recall. *Brain and Language*, *65*, 333-355.
- Gunter, T. C., Knoblich, G., Bach, P., Prinz, W., & Friederici, A. D. (2002). Meaning and structure in action comprehension. Electrophysiological Evidence. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *Supplement 37*, 80.
- Gunter, T. C., Stowe, L. A., & Mulder, G. (1997). When syntax meets semantics. *Psychophysiology*, *34*, 660-676.
- Hagoort, P., & Brown, C. M. (2000). ERP effects of listening to speech: Semantic ERP effects. *Neuropsychologia*, *38*, 1518-1530.
- Hagoort, P., Brown, C. M., & Groothusen, J. (1993). The syntactic positive shift (SPS) as an ERP measure of syntactic processing. *Language and Cognitive Processes*, *8*, 439-483.
- Hahne, A. (1998). *Charakteristika syntaktischer und semantischer Prozesse bei der auditiven Sprachverarbeitung*. Leipzig: MPI Series in Cognitive Neuroscience.
- Hahne, A., & Friederici, A. D. (1999). Electrophysiological evidence for two steps in syntactic analysis: Early automatic and late controlled processes. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *11*, 194-205.
- Hahne, A., & Friederici, A. D. (2002). Differential task effects on semantic and syntactic processes as revealed by ERPs. *Cognitive Brain Research*, *13*, 339-356.
- Hahne, A., & Jescheniak, J. D. (2001). What's left if the jabberwock gets the semantics? An ERP investigation into semantic and syntactic processes during auditory sentence comprehension. *Cognitive Brain Research*, *11*, 199-212.

- Hahne, A., Schröger, E., & Friederici, A. D. (2002). Segregating early physical and syntactic processes on auditory sentence comprehension. *NeuroReport*, *13*, 305-309.
- Hall, J. (1992). *Handbook of auditory evoked responses*. Boston: Allyn and Bacon.
- Hickok, G., & Poeppel, D. (2000). Towards a functional neuroanatomy of speech perception. *Trends in Cognitive Sciences*, *4*, 131-138.
- Hoeks, J. C. J., Stowe, L. A., & Doedens, G. (2004). Seeing words in context: The interaction of lexical and sentence level information during reading. *Cognitive Brain Research*, *19*, 59-73.
- Hruska, C. A. (2004). *Einflüsse kontextueller und prosodischer Informationen in der auditorischen Satzverarbeitung: Untersuchungen mit ereigniskorrelierten Hirnpotentialen*. Leipzig: MPI for Human and Cognitive Brain Sciences.
- Hruska, C. A., & Alter, K. (2004). How prosody can influence sentence perception. In A. Steube (Ed.), *Information structure: Theoretical and empirical aspects* (p. 211-226). Berlin: de Gruyter.
- Hughlings Jackson, J. (1915). On affections of speech from diseases of the brain. *Brain*, *38*, 101-186.
- Inkelas, S., & Zec, D. (1995). Syntax-phonology interface. In J. Goldsmith (Ed.), *The handbook of phonological theory* (p. 535-549). Cambridge: Blackwell.
- Irvy, R., & Robertson, L. (1998). *The two sides of perception*. Cambridge: MIT Press.
- Isel, F., Alter, K., & Friederici, A. D. (2005). Influence of prosodic information on the processing of split particles: ERP evidence from spoken German. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *17*, 154-167.
- Isel, F., & Friederici, A. D. (2006). Does prosody guide lexical access: ERP evidence from spoken German. *12th Annual Meeting of the organization for Human Brain Mapping (OHBM), Florenz, Italien, Juni 2006*.
- Isel, F., Gunther, T. C., & Friederici, A. D. (2003). Prosody-assisted head-driven access to spoken German compounds. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, *29*, 277-288.

- Jacobs, J. (1993). Integration. In M. Reis (Ed.), *Wortstellung und Informationsstruktur* (p. 63-116). Tübingen: Niemeyer.
- Jescheniak, J. D., Hahne, A., & Friederici, A. D. (1998). Brain activity patterns suggest prosodic influence on syntactic parsing in the comprehension of spoken sentences. *Music Perception, 16*, 55-62.
- Jusczyk, P. W. (2002). How infants adapt speech-processing capacities to native-language structure. *Current Directions in Psychological Science, 11*, 15-19.
- Just, M. A., Carpenter, P. A., & Keller, T. A. (1996). The capacity theory of comprehension: New frontiers and evidence of arguments. *Psychological Review, 103*, 773-780.
- Kaan, E., Harris, A., Gibson, E., & Holcomb, P. J. (2000). The P600 as an index of syntactic integration difficulty. *Language and Cognitive Processes, 15*, 159-201.
- Kaan, E., & Swaab, T. Y. (2003). Electrophysiological evidence for serial sentence processing: a comparison between non-preferred and ungrammatical continuations. *Cognitive Brain Research, 17*, 621-635.
- Kelly, M. (1996). The role of phonology in grammatical category assignments. In J. Morgan & K. Demuth (Eds.), *Signal to syntax: Bootstrapping from speech to grammar in early language acquisition* (p. 249-262). Mahwah: Erlbaum.
- Kjelgaard, M. M., & Speer, S. R. (1999). Prosodic facilitation and interference in the resolution of temporary syntactic closure ambiguity. *Journal of Memory and Language, 40*, 153-194.
- Klouta, G., Robin, D., Graff-Radford, N., & Cooper, W. (1988). The role of callosal connections in speech prosody. *Brain and Language, 35*, 154-171.
- Kluender, R., & Kutas, M. (1993). Subjacency as a processing phenomenon. *Language and Cognitive Processes, 8*, 573-633.
- Knösche, T. R., Maess, B., & Friederici, A. D. (1999). Processing of syntactic information monitored by brain surface current density mapping based on MEG. *Brain Topography, 12*, 75-87.
- Knösche, T. R., Neuhaus, C., Haueisen, J., Alter, K., Maess, B., Witte, O. W., et al. (2005). Perception of phrase structure in music. *Human Brain Mapping, 24*, 259-273.

- Koelsch, S., Gunter, T. C., Friederici, A. D., & Schröger, E. (2000). Brain indices of music processing: Nonmusicians are musical. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *12*, 520-541.
- Koelsch, S., Gunter, T. C., Schröger, E., & Friederici, A. D. (2003). Processing tonal modulations: An ERP study. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *15*, 1149-1159.
- Koester, D., Gunter, T. C., Wagner, S., & Friederici, A. D. (2004). Morphosyntax, prosody and linking elements: The auditory processing of German nominal compounds. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *16*, 1647-1668.
- Kohler, K. J. (1995). *Einführung in die Phonetik des Deutschen*. Berlin: Erich Schmidt Verlag.
- Kolk, H. H. J., Chwilla, D. J., & van Herten, P. J. W. (2003). Structure and limited capacity in verbal working memory: A study with event-related potentials. *Brain and Language*, *85*, 1-36.
- Kotchoubey, B. (2006). Event-related potentials, cognition, and behavior: A biological approach. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, *30*, 42-65.
- Kotz, S. A., Meyer, M., Alter, K., Besson, M., von Cramon, D. Y., & Friederici, A. D. (2003). On the lateralization of emotional prosody: An event-related functional MR investigation. *Brain and Language*, *86*, 366-376.
- Kraljic, T., & Brennan, S. E. (2005). Prosodic disambiguation of syntactic structure: For the speaker or for the addressee? *Cognitive Psychology*, *50*, 194-231.
- Kubota, M., Ferrari, P., & Roberts, T. P. L. (2004). Human neuronal encoding of English syntactic violations as revealed by both L1 and L2 speakers. *Neuroscience Letters*, *368*, 235-240.
- Kuperberg, G. R., Sitnikova, T., Caplan, D., & Holcomb, P. J. (2003). Electrophysiological distinctions in processing conceptual relationships within simple sentences. *Cognitive Brain Research*, *17*, 117-129.
- Kutas, M., & Federmeier, K. D. (2000). Electrophysiology reveals semantic memory use in language comprehension. *Trends in Cognitive Sciences*, *4*, 463-470.

- Kutas, M., & Hillyard, S. A. (1980a). Event-related potentials to semantically inappropriate and surprisingly large words. *Biological Psychology*, *11*, 99-116.
- Kutas, M., & Hillyard, S. A. (1980b). Reading senseless sentences: Brain potentials reflect semantic incongruity. *Science*, *207*, 203-205.
- Kutas, M., & Hillyard, S. A. (1983). Event-related potentials to grammatical errors and semantic anomalies. *Memory and Cognition*, *11*, 539-550.
- Kutas, M., & Van Petten, C. K. (1994). Psycholinguistics electrified: Event-related brain potential investigations. In M. A. Gernsbacher (Ed.), *Handbook of psycholinguistics* (p. 83-143). San Diego: Academic Press.
- Ladd, D. R. (1986). Intonational phrasing: The case for recursive prosodic structure. *Phonology Yearbook*, *3*, 311-340.
- Ladd, D. R. (1996). *Intonational phonology*. Cambridge: CUP.
- Lashley, K. S. (1951). The problem of serial order in behavior. In L. Jeffress (Ed.), *Cerebral mechanisms in behavior* (p. 112-136). New York: Wiley.
- Lehiste, I. (1970). *Suprasegmentals*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Lehiste, I. (1973). Phonetic disambiguation of syntactic ambiguity. *Glossa*, *7*, 107-122.
- MacDonald, M. C., Pearlmutter, N. J., & Seidenberg, M. S. (1994). The lexical nature of syntactic ambiguity resolution. *Psychological Review*, *101*, 676-703.
- Maess, B., Koelsch, S., Gunter, T. C., & Friederici, A. D. (2001). Musical syntax is processed in Broca's area: An MEG study. *Nature Neuroscience*, *4*, 540-545.
- Marcus, M., & Hindle, D. (1990). Description theory and intonation boundaries. In G. T. M. Altmann (Ed.), *Cognitive models of speech processing: Psycholinguistic and computational perspectives* (p. 483-512). Cambridge: MIT Press.
- Marslen-Wilson, W. D., & Tyler, L. K. (1980). The temporal structure of spoken language understanding. *Cognition*, *8*, 1-71.
- Marslen-Wilson, W. D., Tyler, L. K., Warren, P., Grenier, P., & Lee, C. S. (1992). Prosodic effects in minimal attachment. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *45A*, 73-87.

- McCallum, W. C. (1980). Brain slow potential changes elicited by missing stimuli and by externally paced voluntary responses. *Biological Psychology, 11*, 7-19.
- McClelland, J. L., St. John, M., & Taraban, R. (1989). Sentence comprehension: A parallel distributed processing approach. *Language and Cognitive Processes, 4*, 287-336.
- Mecklinger, A., Schriefers, H., Steinhauer, K., & Friederici, A. D. (1995). Processing relative clauses varying on syntactic and semantic dimensions: An analysis with event-related potentials. *Memory and Cognition, 23*, 477-494.
- Meyer, M., Alter, K., & Friederici, A. D. (2003). Functional MR imaging exposes differential brain responses to syntax and prosody during auditory sentence comprehension. *Journal of Neurolinguistics, 16*, 277-300.
- Meyer, M., Alter, K., Friederici, A. D., Lohmann, G., & von Cramon, Y. D. (2002). fMRI reveals brain regions mediating slow prosodic modulations in spoken sentences. *Human Brain Mapping, 17*, 73-88.
- Meyer, M., Friederici, A. D., & von Cramon, D. Y. (2000). Neurocognition of auditory sentence comprehension: Event-related fMRI reveals sensitivity to syntactic violations and task demands. *Cognitive Brain Research, 9*, 19-33.
- Monrad-Krohn, G. (1947). Dysprosody or altered melody of language. *Brain, 70*, 405-415.
- Mueller, J., Hahne, A., Fujii, Y., & Friederici, A. D. (2005). Native and nonnative speakers' processing of a miniature version of Japanese as revealed by ERPs. *Journal of Cognitive Neuroscience, 17*, 1229-1244.
- Mäkelä, A. M., Mäkinen, V., Nikkilä, M., Ilmoniemi, R. J., & Tiitinen, H. (2001). Magnetoencephalographic (MEG) localization of the auditory N400m: Effects of stimulus duration. *Neuroreport, 12*, 249-253.
- Münte, T. F., Heinze, H., Matzke, M., Wieringa, B. M., & Johannes, S. (1998). Brain potentials and syntactic violations revisited: No evidence for specificity of the syntactic positive shift. *Neuropsychologia, 36*, 217-226.
- Nespor, M., & Vogel, I. (1986). *Prosodic phonology*. Dordrecht: Foris.
- Neville, H. J., Mills, D. L., & Lawson, D. S. (1992). Fractionating language: Differential neural subsystems with different sensitive periods. *Cerebral Cortex, 2*, 244-258.

- Neville, H. J., Nicol, J., Barss, A., Forster, K. I., & Garrett, M. F. (1991). Syntactically based sentence processing classes: Evidence from event-related potentials. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 3, 151-165.
- Näätänen, R., & Picton, T. W. (1987). The N1 wave of the human electric and magnetic response to sound: A review and analysis of the component structure. *Psychophysiology*, 24, 375-425.
- Núñez-Pena, M. I., & Honrubia-Serrano, M. L. (2004). P600 related to rule violation in an arithmetic task. *Cognitive Brain Research*, 18, 130-141.
- Odden, D. (1990). Syntax, lexical rules and postlexical rules in Kimatuumbi. In B. Butterworth (Ed.), *The phonology-syntax connection* (p. 259-278). Chicago: University of Chicago Press.
- Oken, B. S., & Chiappa, K. H. (1986). Statistical issues concerning the computerized analysis of brainwave topography. *Annals of Neurology*, 19, 493-494.
- Oldfield, R. C. (1971). The assessment and analysis of handedness. *Neuropsychologia*, 9, 97-113.
- Osterhout, L. (1997). On the brain responses to syntactic anomalies: Manipulations of word position and word class reveal individual differences. *Brain and Language*, 59, 494-522.
- Osterhout, L., Bersick, M., & McKinnon, R. (1997). Brain potentials elicited by words: word length and frequency predict the latency of an early negativity. *Biological Psychology*, 46, 143-168.
- Osterhout, L., & Holcomb, P. J. (1992). Event-related potentials elicited by syntactic anomaly. *Journal of Memory and Language*, 31, 785-806.
- Osterhout, L., McKinnon, R., Bersick, M., & Corey, V. (1996). On the language specificity of the brain response to syntactic anomalies: The syntactic positive shift a member of the P300 family? *Journal of Cognitive Neuroscience*, 8, 507-526.
- Osterhout, L., & Nicol, J. (1999). On the distinctiveness, independence and time course of the brain responses to syntactic and semantic anomalies. *Language and Cognitive Processes*, 14, 283-317.

- Pakulak, E., & Neville, H. J. (2004). Individual differences in online syntactic processing in monolingual adults as reflected by ERPs. *The 17th Annual CUNY Conference on Human Sentence Processing, College Park, USA, März 2004*, 149.
- Pannekamp, A., Toepel, U., Alter, K., Hahne, A., & Friederici, A. D. (2005). Prosody-driven sentence processing: An event-related brain potential study. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 17, 407-421.
- Patel, A. D., Gibson, E., Ratner, J., Besson, M., & Holcomb, P. J. (1998). Processing syntactic relations in language and music: An event-related potential study. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 10, 717-733.
- Patel, A. D., Peretz, I., Tramo, M., & Labreque, R. (1998). Processing prosodic and musical patterns: a neuropsychological investigation. *Brain and Language*, 61, 123-144.
- Pauker, E., Itzhak, I., Baum, S., & Steinhauer, K. (2006). Co-operating and conflicting prosody in spoken English garden path sentences: An ERP study. *13th Annual Meeting of Cognitive Neuroscience Society (CNS), San Francisco, USA, April 2006*.
- Pell, M. D. (1998). Recognition of prosody following unilateral brain lesion: influence of functional and structural attributes of prosodic contours. *Neuropsychologia*, 36, 701-715.
- Pierrehumbert, J. (1980). *The phonetics and phonology of English intonation*. Doctoral Dissertation: MIT.
- Poeppl, D. (2003). The analysis of speech in different temporal integration windows: cerebral lateralization as 'asymmetric sampling in time'. *Speech Communication*, 41, 245-255.
- Price, P., Ostendorf, M., Shattuck-Hufnagel, S., & Fong, C. (1991). The use of prosody in syntactic disambiguation. *Journal of the Acoustical Society of America*, 90, 2956-2970.
- Pynte, J. (1998). The role of prosody in semantic interpretation. *Music Perception*, 16, 79-97.
- Pynte, J., & Prieur, B. (1996). Prosodic breaks and attachment decisions in sentence parsing. *Language and Cognitive Processes*, 11, 165-191.

- Rayner, K., Carlson, M., & Frazier, L. (1983). The interaction of syntax and semantics during sentence processing: Eye movements in the analysis of semantically biased sentences. *Journal of Verbal Learning and Behavior*, 22, 358-374.
- Rietveld, A. C. M., & Gussenhoven, C. (1985). On the relation between pitch excursion size and prominence. *Journal of Phonetics*, 13, 299-308.
- Robin, D. A., Tranel, D., & Damsio, H. (1990). Auditory perception of temporal and spectral events in patients with focal left and right cerebral lesions. *Brain and Language*, 39, 539-569.
- Roesler, F. (1982). *Hirnelektrische Korrelate kognitiver Prozesse*. Berlin: Springer.
- Ross, E. (1981). The aprosodias: functional-anatomic organization of the affective components of language in the right hemisphere. *Archives of Neurology*, 38, 561-569.
- Rossi, S., Gugler, M. F., Friederici, A. D., & Hahne, A. (akzeptiert). The impact of proficiency on syntactic second language processing of German and Italian: Evidence from ERPs. *Journal of Cognitive Neuroscience*.
- Rossi, S., Gugler, M. F., Hahne, A., & Friederici, A. D. (2005). When word category information encounters morphosyntax: An ERP study. *Neuroscience Letters*, 384, 228-233.
- Ruchsow, M., Trippel, N., Groen, G., Spitzer, M., & Kiefer, M. (2003). Semantic and syntactic processes during sentence comprehension in patients with schizophrenia: Evidence from event-related potentials. *Schizophrenia Research*, 64, 147-156.
- Sabisch, B., Hahne, A., Glass, E., von Suchodoletz, W., & Friederici, A. D. (in press). Auditory language comprehension in children with developmental dyslexia: Evidence from event-related potentials. *Journal of Cognitive Neuroscience*.
- Sanders, L. D., & Neville, H. J. (2003). An ERP study of continuous speech processing I. Segmentation, semantics, and syntax in native speakers. *Cognitive Brain Research*, 15, 228-240.
- Schafer, A. J. (1997). *Prosodic parsing: The role of prosody in sentence comprehension*. Amherst: UMAS (Unveröffentlichte Doktorarbeit).

- Schafer, A. J., Carlson, K., Clifton, C., & Frazier, L. (2000). Focus and the interpretation of pitch accent: Disambiguating embedded questions. *Language and Speech, 43*, 75-105.
- Schirmer, A., Kotz, S. A., & Friederici, A. D. (2002). Sex differentiates the role of emotional prosody during word processing. *Cognitive Brain Research, 14*, 228-233.
- Schröger, E. (1995). Processing of auditory deviants with changes in one versus two stimulus dimensions. *Psychophysiology, 32*, 55-65.
- Schwartz, J., & Tallal, P. (1980). Rate of acoustic change may underlie hemispheric specialization for speech perception. *Science, 207*, 1380-1381.
- Schön, D., Magne, C., & Besson, M. (2004). The music of speech: Music training facilitates pitch processing in both music and language. *Psychophysiology, 41*, 341-349.
- Scott, D. R. (1982). Duration as a cue to the perception of a phrase boundary. *Journal of the Acoustical Society of America, 71*, 996-1007.
- Selkirk, E. O. (1978). On prosodic structure and its relation to syntactic structure. In T. Fretheim (Ed.), *Nordic prosody* (p. 111-140). Trondheim: Tapir.
- Selkirk, E. O. (1984). *Phonology and syntax: The relation between sound and structure*. Cambridge: MIT Press.
- Selkirk, E. O. (1986). On derived domains in sentence phonology. *Phonology Yearbook, 3*, 371-405.
- Shah, A. P., Baum, S. R., & Dwivedi, V. D. (2006). Neural substrates of linguistic prosody: Evidence from syntactic disambiguation in the productions of brain-damaged patients. *Brain and Language, 96*, 78-89.
- Shapiro, L. P., Hestvik, A., Lesan, L., & Garcia, A. R. (2003). Charting the time-course of VP-ellipsis sentence comprehension: Evidence for an initial and independent structural analysis. *Journal of Memory and Language, 49*, 1-19.
- Sharbrough, F., Chatrian, G.-E., Lesser, R. P., Lüders, H., Nuwer, M., & Picton, T. W. (1991). American Electroencephalographic Society guidelines for standard electrode position nomenclature. *Journal of Clinical Neurophysiology, 8*, 200-202.
- Shattuck-Hufnagel, S., & Turk, A. E. (1996). A prosody tutorial for investigators of auditory sentence processing. *Journal of Psycholinguistic Research, 25*, 193-247.

- Sitnikova, T., Kuperberg, G., & Holcomb, P. J. (2003). Semantic integration in videos of real-world events: An electrophysiological investigation. *Psychophysiology*, *40*, 160-164.
- Speer, S. R., Crowder, R. G., & Thomas, L. M. (1993). Prosodic structure and sentence recognition. *Journal of Memory and Language*, *32*, 336-358.
- Speer, S. R., Kjelgaard, M. M., & Dobroth, K. M. (1996). The influence of prosodic structure on the resolution of temporary syntactic closure ambiguities. *Journal of Psycholinguistic Research*, *25*, 247-268.
- Speer, S. R., Warren, P., & Schafer, A. (2003). Intonation and sentence processing. *Proceedings of the 15th International Conference for Phonetic Sciences, Barcelona, August 2003*, 95-105.
- Steinhauer, K. (2001). *Hirnphysiologische Korrelate prosodischer Satzverarbeitung bei gesprochener und geschriebener Sprache*. Leipzig: MPI Series in Cognitive Neuroscience.
- Steinhauer, K., Alter, K., & Friederici, A. D. (1999). Brain potentials indicate immediate use of prosodic cues in natural speech processing. *Nature Neuroscience*, *2*, 191-196.
- Steinhauer, K., & Friederici, A. D. (2001). Prosodic boundaries, comma rules, and brain responses: The closure positive shift in ERPs as a universal marker for prosodic phrasing in listeners and readers. *Journal of Psycholinguistic Research*, *30*, 267-295.
- Stirling, L., & Wales, R. (1996). Does prosody support or direct sentence processing? *Language and Cognitive Processes*, *11*, 193-212.
- Stolterfoht, B. (2005). *Processing word order variations and ellipses: The interplay of syntax and information structure during sentence comprehension*. Leipzig: MPI Series in Human Cognitive and Brain Sciences.
- Streeter, L. A. (1978). Acoustic determinants of phrase boundary location. *Journal of the Acoustic Society of America*, *64*, 1582-1592.
- Sutton, S., Braren, M., Zubin, J., & John, E. (1965). Evoked potential correlates of uncertainty. *Science*, *150*, 1187-1188.

- Tanenhaus, M. K., Carlson, G., & Trueswell, J. C. (1989). The role of thematic structures in interpretation and parsing. *Language and Cognitive Processes*, 4, 211-234.
- Toepel, U., & Alter, K. (2004). On the independence of information structure processing from prosody. In A. Steube (Ed.), *Information structure: Theoretical and empirical aspects* (p. 227-240). Berlin: de Gruyter.
- Trueswell, J. C., Tanenhaus, M. K., & Garnsey, S. M. (1994). Semantic influences on parsing: Use of thematic role information on syntactic disambiguation. *Journal of Memory and Language*, 33, 285-318.
- Trueswell, J. C., Tanenhaus, M. K., & Kello, C. (1993). Verb-specific constraints in sentence processing: separating effects of lexical preference from garden-paths. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 19, 528-553.
- Van Lancker, D. (1980). Cerebral lateralization of pitch cues in the linguistic signal. *International Journal of Human Communication*, 13, 227-277.
- Van Lancker, D., & Sidtis, J. J. (1992). The identification of affective-prosodic stimuli by left- and right-hemisphere damaged subjects: All errors are not created equal. *International Journal of Human Communication*, 13, 227-277.
- Van Petten, C., & Bloom, P. (1999). Speech boundaries, syntax and the brain. *Nature Neuroscience*, 2, 103-104.
- Vos, S. H., Gunter, T. C., Kolk, H. H. J., & Mulder, G. (2001). Working memory constraints on syntactic processing: An electrophysiological investigation. *Psychophysiology*, 38, 41-63.
- Wagner, S., & Gunter, T. C. (2004). Determining inhibition: Individual differences in the 'lexicon context' trade-off during lexical ambiguity resolution in working memory. *Experimental Psychology*, 51, 301-310.
- Walker, J. P., Daigle, T., & Buzzard, M. (2002). Hemispheric specialisation in processing prosodic structures: Revisited. *Aphasiology*, 16, 1155-1172.
- Warren, P. (1999). Prosody and language processing. In S. Garrod & M. J. Pickering (Eds.), *Language processing* (p. 155-188). Hove: Psychology Press.

- Warren, P., Grabe, E., & Nolan, F. (1995). Prosody, phonology and parsing in closure ambiguities. *Language and Cognitive Processes, 10*, 457-486.
- Watt, S., & Murray, W. S. (1996). Prosodic form and parsing commitments. *Journal of Psycholinguistic Research, 25*, 291-318.
- Weintraub, S., Mesulam, M.-M., & Kramer, L. (1981). Disturbances in prosody: A right-hemisphere contribution to language. *Archives of Neurology, 38*, 742-744.
- Wildgruber, D., Hertrich, I., Riecker, A., Erb, M., Abders, S., Grodd, W., et al. (2004). Distinct frontal regions subserve evaluation of linguistic and emotional aspects of speech intonation. *Cerebral Cortex, 14*, 1384-1389.
- Yabe, H., Tervaniemi, M., Reinikainen, K., & Näätänen, R. (1997). Temporal window of integration revealed by MMN to sound omission. *Neuroreport, 8*, 1971-1974.
- Yost, W. A., Popper, A. N., & Fay, R. R. (1993). *Human psychophysics*. New York: Springer.
- Zatorre, R. (1997). Cerebral correlates of human auditory processing: perception of speech and musical sounds. In J. Syka (Ed.), *Acoustical signal processing in the central auditory system* (p. 453-468). New York: Plenum Press.
- Zec, D., & Inkelas, S. (1990). Prosodically constrained syntax. In D. Zec & S. Inkelas (Eds.), *The phonology-syntax connection* (p. 365-378). Chicago: University of Chicago Press.
- Zwickey, A. M., & Pullum, G. M. (1986). The principle of phonology-free syntax: Introductory remarks. *Ohio State University Working Papers in Linguistics, 32*, 63-91.

Anhang A

Anhang

A.1 Stimulusmaterial Experiment 2

Peter weiß, dass der Onkel Kuchen backt.
Peter weiß, der Onkel backt Kuchen.
Peter weiß, dass der Onkel Kuchen backt.
Peter weiß, der Onkel backt Kuchen.
Peter weiß, dass der Onkel Kuchen.
Peter weiß, der Onkel Kuchen backt.
Peter weiß, dass der Onkel Kuchen.
Peter weiß, der Onkel Kuchen backt.

Karsten weiß, dass der Großvater Märchen erzählt.
Karsten weiß, der Großvater erzählt Märchen.
Karsten weiß, dass der Großvater Märchen erzählt.
Karsten weiß, der Großvater erzählt Märchen.
Karsten weiß, dass der Großvater Märchen erzählt.
Karsten weiß, der Großvater Märchen erzählt.
Karsten weiß, dass der Großvater Märchen.
Karsten weiß, der Großvater Märchen erzählt.

Korinna weiß, dass der Kommissar Unsinn redet.
Korinna weiß, der Kommissar redet Unsinn.
Korinna weiß, dass der Kommissar Unsinn redet.
Korinna weiß, der Kommissar redet Unsinn.
Korinna weiß, dass der Kommissar Unsinn.
Korinna weiß, der Kommissar Unsinn redet.
Korinna weiß, dass der Kommissar Unsinn.
Korinna weiß, der Kommissar Unsinn redet.

Jutta weiß, dass der Bruder Suppe kocht.
Jutta weiß, der Bruder kocht Suppe.
Jutta weiß, dass der Bruder Suppe kocht.
Jutta weiß, der Bruder kocht Suppe.
Jutta weiß, dass der Bruder Suppe.
Jutta weiß, der Bruder Suppe kocht.
Jutta weiß, dass der Bruder Suppe.

Jutta weiß, der Bruder Suppe kocht.
Nadine weiß, dass der Opa Bücher liest.
Nadine weiß, der Opa liest Bücher.
Nadine weiß, dass der Opa Bücher liest.
Nadine weiß, der Opa liest Bücher.
Nadine weiß, dass der Opa Bücher.
Nadine weiß, der Opa Bücher liest.
Nadine weiß, dass der Opa Bücher.
Nadine weiß, der Opa Bücher liest.

Karina weiß, dass der Künstler Bilder malt.
Karina weiß, der Künstler malt Bilder.
Karina weiß, dass der Künstler Bilder malt.
Karina weiß, der Künstler malt Bilder.
Karina weiß, dass der Künstler Bilder.
Karina weiß, der Künstler Bilder malt.
Karina weiß, dass der Künstler Bilder.
Karina weiß, der Künstler Bilder malt.

Thomas weiß, dass der Bär Honig nascht.
Thomas weiß, der Bär nascht Honig.
Thomas weiß, dass der Bär Honig nascht.
Thomas weiß, der Bär nascht Honig.
Thomas weiß, dass der Bär Honig.
Thomas weiß, der Bär Honig nascht.
Thomas weiß, dass der Bär Honig.
Thomas weiß, der Bär Honig nascht.

Cornelia weiß, dass der Chef Gäste grüßt.
Cornelia weiß, der Chef grüßt Gäste.
Cornelia weiß, dass der Chef Gäste grüßt.
Cornelia weiß, der Chef grüßt Gäste.
Cornelia weiß, dass der Chef Gäste.

Cornelia weiß, der Chef Gäste grüßt.
Cornelia weiß, dass der Chef Gäste.
Cornelia weiß, der Chef Gäste grüßt.

Bärbel weiß, dass der Mann Füchse jagt.
Bärbel weiß, der Mann jagt Füchse.
Bärbel weiß, dass der Mann Füchse jagt.
Bärbel weiß, der Mann jagt Füchse.
Bärbel weiß, dass der Mann Füchse.
Bärbel weiß, der Mann Füchse jagt.
Bärbel weiß, dass der Mann Füchse.
Bärbel weiß, der Mann Füchse jagt.

Robert weiß, dass der Urlauber Briefe schreibt.
Robert weiß, der Urlauber schreibt Briefe.
Robert weiß, dass der Urlauber Briefe schreibt.
Robert weiß, der Urlauber schreibt Briefe.
Robert weiß, dass der Urlauber Briefe.
Robert weiß, der Urlauber Briefe schreibt.
Robert weiß, dass der Urlauber Briefe.
Robert weiß, der Urlauber Briefe schreibt.

Maria weiß, dass der Vogel Lieder zwitschert.
Maria weiß, der Vogel zwitschert Lieder.
Maria weiß, dass der Vogel Lieder zwitschert.
Maria weiß, der Vogel zwitschert Lieder.
Maria weiß, dass der Vogel Lieder.
Maria weiß, der Vogel Lieder zwitschert.
Maria weiß, dass der Vogel Lieder.
Maria weiß, der Vogel Lieder zwitschert.

Angelika weiß, dass der Vater Fische angelt.
Angelika weiß, der Vater angelt Fische.
Angelika weiß, dass der Vater Fische angelt.

Angelika weiß, der Vater angelt Fische.
 Angelika weiß, dass der Vater Fische.
 Angelika weiß, der Vater Fische angelt.
 Angelika weiß, dass der Vater Fische.
 Angelika weiß, der Vater Fische angelt.

Norbert weiß, dass der Tischler Bretter sägt.
 Norbert weiß, der Tischler sägt Bretter.
 Norbert weiß, dass der Tischler Bretter sägt.
 Norbert weiß, der Tischler sägt Bretter.
 Norbert weiß, dass der Tischler Bretter.
 Norbert weiß, der Tischler Bretter sägt.
 Norbert weiß, dass der Tischler Bretter.
 Norbert weiß, der Tischler Bretter sägt.

Ulrike weiß, dass der Indianer Pferde reitet.
 Ulrike weiß, der Indianer reitet Pferde.
 Ulrike weiß, dass der Indianer Pferde reitet.
 Ulrike weiß, der Indianer reitet Pferde.
 Ulrike weiß, dass der Indianer Pferde.
 Ulrike weiß, der Indianer Pferde reitet.
 Ulrike weiß, dass der Indianer Pferde.
 Ulrike weiß, der Indianer Pferde reitet.

Anja weiß, dass der Wolf Knochen frisst.
 Anja weiß, der Wolf frisst Knochen.
 Anja weiß, dass der Wolf Knochen frisst.
 Anja weiß, der Wolf frisst Knochen.
 Anja weiß, dass der Wolf Knochen.
 Anja weiß, der Wolf Knochen frisst.
 Anja weiß, dass der Wolf Knochen.
 Anja weiß, der Wolf Knochen frisst.

Herbert weiß, dass der Bauer Äpfel erntet.
 Herbert weiß, der Bauer erntet Äpfel.
 Herbert weiß, dass der Bauer Äpfel erntet.
 Herbert weiß, der Bauer erntet Äpfel.
 Herbert weiß, dass der Bauer Äpfel.
 Herbert weiß, der Bauer Äpfel erntet.
 Herbert weiß, dass der Bauer Äpfel.
 Herbert weiß, der Bauer Äpfel erntet.

Markus weiß, dass der Einbrecher Schlösser öffnet.
 Markus weiß, der Einbrecher öffnet Schlösser.
 Markus weiß, dass der Einbrecher Schlösser öffnet.
 Markus weiß, der Einbrecher öffnet Schlösser.
 Markus weiß, dass der Einbrecher Schlösser.
 Markus weiß, der Einbrecher Schlösser öffnet.
 Markus weiß, dass der Einbrecher Schlösser.
 Markus weiß, der Einbrecher Schlösser öffnet.

Olaf weiß, dass der Zahnarzt Zähne zieht.
 Olaf weiß, der Zahnarzt zieht Zähne.
 Olaf weiß, dass der Zahnarzt Zähne zieht.
 Olaf weiß, der Zahnarzt zieht Zähne.
 Olaf weiß, dass der Zahnarzt Zähne.
 Olaf weiß, der Zahnarzt Zähne zieht.
 Olaf weiß, dass der Zahnarzt Zähne.
 Olaf weiß, der Zahnarzt Zähne zieht.

Petra weiß, dass der Kellner Teller stiehlt.
 Petra weiß, der Kellner stiehlt Teller.
 Petra weiß, dass der Kellner Teller stiehlt.
 Petra weiß, der Kellner stiehlt Teller.
 Petra weiß, dass der Kellner Teller.
 Petra weiß, der Kellner Teller stiehlt.
 Petra weiß, dass der Kellner Teller.
 Petra weiß, der Kellner Teller stiehlt.

Sabine weiß, dass der Bäcker Torte isst.
 Sabine weiß, der Bäcker isst Torte.
 Sabine weiß, dass der Bäcker Torte isst.
 Sabine weiß, der Bäcker isst Torte.
 Sabine weiß, dass der Bäcker Torte.
 Sabine weiß, der Bäcker Torte isst.
 Sabine weiß, dass der Bäcker Torte.
 Sabine weiß, der Bäcker Torte isst.

Nora weiß, dass der Schäfer Socken strickt.
 Nora weiß, der Schäfer strickt Socken.
 Nora weiß, dass der Schäfer Socken strickt.
 Nora weiß, der Schäfer strickt Socken.
 Nora weiß, dass der Schäfer Socken.
 Nora weiß, der Schäfer Socken strickt.
 Nora weiß, dass der Schäfer Socken.
 Nora weiß, der Schäfer Socken strickt.

Klaus weiß, dass der Turner Saltos übt.
 Klaus weiß, der Turner übt Saltos.
 Klaus weiß, dass der Turner Saltos übt.
 Klaus weiß, der Turner übt Saltos.
 Klaus weiß, dass der Turner Saltos.
 Klaus weiß, der Turner Saltos übt.
 Klaus weiß, dass der Turner Saltos.
 Klaus weiß, der Turner Saltos übt.

Tobias weiß, dass der Schneider Kleider näht.
 Tobias weiß, der Schneider näht Kleider.
 Tobias weiß, dass der Schneider Kleider näht.
 Tobias weiß, der Schneider näht Kleider.
 Tobias weiß, dass der Schneider Kleider.
 Tobias weiß, der Schneider Kleider näht.
 Tobias weiß, dass der Schneider Kleider.
 Tobias weiß, der Schneider Kleider näht.

Ricarda weiß, dass der Maler Türen streicht.
 Ricarda weiß, der Maler streicht Türen.
 Ricarda weiß, dass der Maler Türen streicht.
 Ricarda weiß, der Maler streicht Türen.
 Ricarda weiß, dass der Maler Türen.
 Ricarda weiß, der Maler Türen streicht.
 Ricarda weiß, dass der Maler Türen.
 Ricarda weiß, der Maler Türen streicht.

Markus weiß, dass der Zwerg Pilze mag.
 Markus weiß, der Zwerg mag Pilze.
 Markus weiß, dass der Zwerg Pilze mag.
 Markus weiß, der Zwerg mag Pilze.
 Markus weiß, dass der Zwerg Pilze.
 Markus weiß, der Zwerg Pilze mag.
 Markus weiß, dass der Zwerg Pilze mag.

Markus weiß, dass der Zwerg Pilze.
 Markus weiß, der Zwerg Pilze mag.

Holger weiß, dass der Maurer Häuser baut.
 Holger weiß, der Maurer baut Häuser.
 Holger weiß, dass der Maurer Häuser baut.
 Holger weiß, der Maurer baut Häuser.
 Holger weiß, dass der Maurer Häuser.
 Holger weiß, der Maurer Häuser baut.
 Holger weiß, dass der Maurer Häuser.
 Holger weiß, der Maurer Häuser baut.

Kerstin weiß, dass der Gärtner Bäume pflanzt.
 Kerstin weiß, der Gärtner pflanzt Bäume.
 Kerstin weiß, dass der Gärtner Bäume pflanzt.
 Kerstin weiß, der Gärtner pflanzt Bäume.
 Kerstin weiß, dass der Gärtner Bäume.
 Kerstin weiß, der Gärtner Bäume pflanzt.
 Kerstin weiß, dass der Gärtner Bäume.
 Kerstin weiß, der Gärtner Bäume pflanzt.

Thorsten weiß, dass der Hund Katzen beißt.
 Thorsten weiß, der Hund beißt Katzen.
 Thorsten weiß, dass der Hund Katzen beißt.
 Thorsten weiß, der Hund beißt Katzen.
 Thorsten weiß, dass der Hund Katzen.
 Thorsten weiß, der Hund Katzen beißt.
 Thorsten weiß, dass der Hund Katzen.
 Thorsten weiß, der Hund Katzen beißt.

Stefan weiß, dass der Friseur Haare kämmt.
 Stefan weiß, der Friseur kämmt Haare.
 Stefan weiß, dass der Friseur Haare kämmt.
 Stefan weiß, der Friseur kämmt Haare.
 Stefan weiß, dass der Friseur Haare.
 Stefan weiß, der Friseur Haare kämmt.
 Stefan weiß, dass der Friseur Haare.
 Stefan weiß, der Friseur Haare kämmt.

Lars weiß, dass der Doktor Kranke heilt.
 Lars weiß, der Doktor heilt Kranke.
 Lars weiß, dass der Doktor Kranke heilt.
 Lars weiß, der Doktor heilt Kranke.
 Lars weiß, dass der Doktor Kranke.
 Lars weiß, der Doktor Kranke heilt.
 Lars weiß, dass der Doktor Kranke.
 Lars weiß, der Doktor Kranke heilt.

Herbert weiß, dass der Tierpfleger Löwen füttert.
 Herbert weiß, der Tierpfleger füttert Löwen.
 Herbert weiß, dass der Tierpfleger Löwen füttert.
 Herbert weiß, der Tierpfleger füttert Löwen.
 Herbert weiß, dass der Tierpfleger Löwen.
 Herbert weiß, der Tierpfleger Löwen füttert.
 Herbert weiß, dass der Tierpfleger Löwen.
 Herbert weiß, der Tierpfleger Löwen füttert.

Matthias weiß, dass der Kater Mäuse fängt.
 Matthias weiß, der Kater fängt Mäuse.
 Matthias weiß, dass der Kater Mäuse fängt.

Matthias weiß, der Kater fängt Mäuse.
 Matthias weiß, dass der Kater Mäuse.
 Matthias weiß, der Kater Mäuse fängt.
 Matthias weiß, dass der Kater Mäuse.
 Matthias weiß, der Kater Mäuse fängt.
 Matthias weiß, dass der Kater Mäuse fängt.

Florian weiß, dass der Kapitän Tabak kaut.
 Florian weiß, der Kapitän kaut Tabak.
 Florian weiß, dass der Kapitän Tabak kaut.
 Florian weiß, der Kapitän kaut Tabak.
 Florian weiß, dass der Kapitän Tabak.
 Florian weiß, der Kapitän Tabak kaut.
 Florian weiß, dass der Kapitän Tabak.
 Florian weiß, der Kapitän Tabak kaut.

Michael weiß, dass der Sportler Wasser trinkt.
 Michael weiß, der Sportler trinkt Wasser.
 Michael weiß, dass der Sportler Wasser trinkt.
 Michael weiß, der Sportler trinkt Wasser.
 Michael weiß, dass der Sportler Wasser.
 Michael weiß, der Sportler Wasser trinkt.
 Michael weiß, dass der Sportler Wasser.
 Michael weiß, der Sportler Wasser trinkt.

Frederike weiß, dass der Bauarbeiter Tunnel gräbt.
 Frederike weiß, der Bauarbeiter gräbt Tunnel.
 Frederike weiß, dass der Bauarbeiter Tunnel gräbt.
 Frederike weiß, der Bauarbeiter gräbt Tunnel.
 Frederike weiß, dass der Bauarbeiter Tunnel.
 Frederike weiß, der Bauarbeiter Tunnel gräbt.
 Frederike weiß, dass der Bauarbeiter Tunnel.
 Frederike weiß, der Bauarbeiter Tunnel gräbt.

Manuela weiß, dass der Musiker Klavier spielt.
 Manuela weiß, der Musiker spielt Klavier.
 Manuela weiß, dass der Musiker Klavier spielt.
 Manuela weiß, der Musiker spielt Klavier.
 Manuela weiß, dass der Musiker Klavier.
 Manuela weiß, der Musiker Klavier spielt.
 Manuela weiß, dass der Musiker Klavier.
 Manuela weiß, der Musiker Klavier spielt.

Volker weiß, dass der Pfleger Babys badet.
 Volker weiß, der Pfleger badet Babys.
 Volker weiß, dass der Pfleger Babys badet.
 Volker weiß, der Pfleger badet Babys.
 Volker weiß, dass der Pfleger Babys.
 Volker weiß, der Pfleger badet Babys.
 Volker weiß, dass der Pfleger Babys.
 Volker weiß, der Pfleger Babys badet.

Susi weiß, dass der Jäger Bären schießt.
 Susi weiß, der Jäger schießt Bären.
 Susi weiß, dass der Jäger Bären schießt.
 Susi weiß, der Jäger schießt Bären.
 Susi weiß, dass der Jäger Bären.
 Susi weiß, der Jäger Bären schießt.
 Susi weiß, dass der Jäger Bären.
 Susi weiß, der Jäger Bären schießt.

Anton weiß, dass der Papa Würste grillt.
 Anton weiß, der Papa grillt Würste.
 Anton weiß, dass der Papa Würste grillt.
 Anton weiß, der Papa grillt Würste.
 Anton weiß, dass der Papa Würste.
 Anton weiß, der Papa Würste grillt.
 Anton weiß, dass der Papa Würste.
 Anton weiß, der Papa Würste grillt.

Nicole weiß, dass der Lehrer Schüler tadelt.
 Nicole weiß, der Lehrer tadelt Schüler.
 Nicole weiß, dass der Lehrer Schüler tadelt.
 Nicole weiß, der Lehrer tadelt Schüler.
 Nicole weiß, dass der Lehrer Schüler.
 Nicole weiß, der Lehrer Schüler tadelt.
 Nicole weiß, dass der Lehrer Schüler.
 Nicole weiß, der Lehrer Schüler tadelt.

Sandra weiß, dass der Clown Kinder tröstet.
 Sandra weiß, der Clown tröstet Kinder.
 Sandra weiß, dass der Clown Kinder tröstet.
 Sandra weiß, der Clown tröstet Kinder.
 Sandra weiß, dass der Clown Kinder.
 Sandra weiß, der Clown Kinder tröstet.
 Sandra weiß, dass der Clown Kinder.
 Sandra weiß, der Clown Kinder tröstet.

Sven weiß, dass der Koch Zwiebeln brät.
 Sven weiß, der Koch brät Zwiebeln.
 Sven weiß, dass der Koch Zwiebeln brät.
 Sven weiß, der Koch brät Zwiebeln.
 Sven weiß, dass der Koch Zwiebeln.
 Sven weiß, der Koch Zwiebeln brät.
 Sven weiß, dass der Koch Zwiebeln.
 Sven weiß, der Koch Zwiebeln brät.

Kai weiß, dass der Schuster Schuhe putzt.
 Kai weiß, der Schuster putzt Schuhe.
 Kai weiß, dass der Schuster Schuhe putzt.
 Kai weiß, der Schuster putzt Schuhe.
 Kai weiß, dass der Schuster Schuhe.
 Kai weiß, der Schuster Schuhe putzt.
 Kai weiß, dass der Schuster Schuhe.
 Kai weiß, der Schuster Schuhe putzt.

Monika weiß, dass der Gehilfe Tassen spült.
 Monika weiß, der Gehilfe spült Tassen.
 Monika weiß, dass der Gehilfe Tassen spült.
 Monika weiß, der Gehilfe spült Tassen.
 Monika weiß, dass der Gehilfe Tassen.
 Monika weiß, der Gehilfe Tassen spült.
 Monika weiß, dass der Gehilfe Tassen.
 Monika weiß, der Gehilfe Tassen spült.

Daniel weiß, dass der Freund Eicheln sucht.
 Daniel weiß, der Freund sucht Eicheln.
 Daniel weiß, dass der Freund Eicheln sucht.
 Daniel weiß, der Freund sucht Eicheln.
 Daniel weiß, dass der Freund Eicheln.
 Daniel weiß, der Freund sucht Eicheln.
 Daniel weiß, dass der Freund Eicheln.
 Daniel weiß, der Freund sucht Eicheln.

Daniel weiß, dass der Freund Eicheln.
 Daniel weiß, der Freund Eicheln sucht.

Anett weiß, dass der Schüler Englisch lernt.
 Anett weiß, der Schüler lernt Englisch.
 Anett weiß, dass der Schüler Englisch lernt.
 Anett weiß, der Schüler lernt Englisch.
 Anett weiß, dass der Schüler Englisch.
 Anett weiß, der Schüler Englisch lernt.
 Anett weiß, dass der Schüler Englisch.
 Anett weiß, der Schüler Englisch lernt.

Walther weiß, dass der Nachbar Kirschen klaut.
 Walther weiß, der Nachbar klaut Kirschen.
 Walther weiß, dass der Nachbar Kirschen klaut.
 Walther weiß, der Nachbar klaut Kirschen.
 Walther weiß, dass der Nachbar Kirschen.
 Walther weiß, der Nachbar Kirschen klaut.
 Walther weiß, dass der Nachbar Kirschen klaut.
 Walther weiß, der Nachbar Kirschen klaut.

Barbara weiß, dass der Polizist Diebe kennt.
 Barbara weiß, der Polizist kennt Diebe.
 Barbara weiß, dass der Polizist Diebe kennt.
 Barbara weiß, der Polizist kennt Diebe.
 Barbara weiß, dass der Polizist Diebe.
 Barbara weiß, der Polizist Diebe kennt.
 Barbara weiß, dass der Polizist Diebe.
 Barbara weiß, der Polizist Diebe kennt.

A.2 Stimulusmaterial Experiment 3

Peter weiß, dass der Onkel Kuchen backt, bevor er nach Hause geht.
 Peter weiß, dass der Onkel Kuchen backt, bevor er nach Hause geht.
 Peter weiß, der Onkel backt Kuchen, bevor er nach Hause geht.
 Peter weiß, dass der Onkel Kuchen, bevor er nach Hause geht.
 Peter weiß, dass der Onkel Kuchen, bevor er nach Hause geht.
 Peter weiß, der Onkel Kuchen backt, bevor er nach Hause geht.
 Peter weiß, der Onkel Kuchen backt, bevor er nach Hause geht.
 Peter weiß, der Onkel Kuchen backt, bevor er nach Hause geht.

Angelika weiß, dass der Vater Fische angelt, bevor er ans Ufer rudert.
 Angelika weiß, dass der Vater Fische angelt, bevor er ans Ufer rudert.
 Angelika weiß, der Vater angelt Fische, bevor er ans Ufer rudert.
 Angelika weiß, der Vater angelt Fische, bevor er ans Ufer rudert.
 Angelika weiß, dass der Vater Fische, bevor er ans Ufer rudert.
 Angelika weiß, dass der Vater Fische, bevor er ans Ufer rudert.
 Angelika weiß, der Vater Fische angelt, bevor er ans Ufer rudert.
 Angelika weiß, der Vater Fische angelt, bevor er ans Ufer rudert.

Olaf weiß, dass der Zahnarzt Zähne zieht, bevor er mit der Schwester Kaffee trinkt.
 Olaf weiß, dass der Zahnarzt Zähne zieht, bevor er mit der Schwester Kaffee trinkt.
 Olaf weiß, der Zahnarzt zieht Zähne, bevor er mit der Schwester Kaffee trinkt.
 Olaf weiß, der Zahnarzt zieht Zähne, bevor er mit der Schwester Kaffee trinkt.
 Olaf weiß, dass der Zahnarzt Zähne, bevor er mit der Schwester Kaffee trinkt.
 Olaf weiß, dass der Zahnarzt Zähne, bevor er mit der Schwester Kaffee trinkt.
 Olaf weiß, der Zahnarzt Zähne zieht, bevor er mit der Schwester Kaffee trinkt.
 Olaf weiß, der Zahnarzt Zähne zieht, bevor er mit der Schwester Kaffee trinkt.

Jutta weiß, dass der Bruder Suppe kocht, wenn er von der Arbeit kommt.
 Jutta weiß, dass der Bruder Suppe kocht, wenn er von der Arbeit kommt.
 Jutta weiß, der Bruder kocht Suppe, wenn er von der Arbeit kommt.
 Jutta weiß, der Bruder kocht Suppe, wenn er von der Arbeit kommt.
 Jutta weiß, dass der Bruder Suppe, wenn er von der Arbeit kommt.
 Jutta weiß, dass der Bruder Suppe, wenn er von der Arbeit kommt.
 Jutta weiß, der Bruder Suppe kocht, wenn er von der Arbeit kommt.
 Jutta weiß, der Bruder Suppe kocht, wenn er von der Arbeit kommt.

Nadine weiß, dass der Opa Bücher liest, wenn er im Urlaub ist.
 Nadine weiß, dass der Opa Bücher liest, wenn er im Urlaub ist.
 Nadine weiß, der Opa liest Bücher, wenn er im Urlaub ist.
 Nadine weiß, der Opa liest Bücher, wenn er im Urlaub ist.
 Nadine weiß, dass der Opa Bücher, wenn er im Urlaub ist.
 Nadine weiß, dass der Opa Bücher, wenn er im Urlaub ist.
 Nadine weiß, der Opa Bücher liest, wenn er im Urlaub ist.
 Nadine weiß, der Opa Bücher liest, wenn er im Urlaub ist.

Karina weiß, dass der Künstler Bilder malt, wenn er gut gelaunt ist.
 Karina weiß, dass der Künstler Bilder malt, wenn er gut gelaunt ist.
 Karina weiß, der Künstler malt Bilder, wenn er gut gelaunt ist.
 Karina weiß, der Künstler malt Bilder, wenn er gut gelaunt ist.
 Karina weiß, dass der Künstler Bilder, wenn er gut gelaunt ist.
 Karina weiß, dass der Künstler Bilder, wenn er gut gelaunt ist.
 Karina weiß, der Künstler Bilder malt, wenn er gut gelaunt ist.
 Karina weiß, der Künstler Bilder malt, wenn er gut gelaunt ist.

Thomas weiß, dass der Bär Honig nascht, wenn er den Winterschlaf beginnt.
 Thomas weiß, dass der Bär Honig nascht, wenn er den Winterschlaf beginnt.

Thomas weiß, der Bär nascht Honig, wenn er den Winterschlaf beginnt.
 Thomas weiß, der Bär nascht Honig, wenn er den Winterschlaf beginnt.
 Thomas weiß, dass der Bär Honig, wenn er den Winterschlaf beginnt.
 Thomas weiß, dass der Bär Honig, wenn er den Winterschlaf beginnt.
 Thomas weiß, der Bär Honig nascht, wenn er den Winterschlaf beginnt.
 Thomas weiß, der Bär Honig nascht, wenn er den Winterschlaf beginnt.

Mandy weiß, dass der Lokführer Züge fährt, bevor er zum Abendessen geht.
 Mandy weiß, dass der Lokführer Züge fährt, bevor er zum Abendessen geht.
 Mandy weiß, der Lokführer fährt Züge, bevor er zum Abendessen geht.
 Mandy weiß, der Lokführer fährt Züge, bevor er zum Abendessen geht.
 Mandy weiß, dass der Lokführer Züge, bevor er zum Abendessen geht.
 Mandy weiß, dass der Lokführer Züge, bevor er zum Abendessen geht.
 Mandy weiß, der Lokführer Züge fährt, bevor er zum Abendessen geht.
 Mandy weiß, der Lokführer Züge fährt, bevor er zum Abendessen geht.

Bärbel weiß, dass der Mann Füchse jagt, wenn er durch den Wald streift.
 Bärbel weiß, dass der Mann Füchse jagt, wenn er durch den Wald streift.
 Bärbel weiß, der Mann jagt Füchse, wenn er durch den Wald streift.
 Bärbel weiß, der Mann jagt Füchse, wenn er durch den Wald streift.
 Bärbel weiß, dass der Mann Füchse, wenn er durch den Wald streift.
 Bärbel weiß, dass der Mann Füchse, wenn er durch den Wald streift.
 Bärbel weiß, der Mann Füchse jagt, wenn er durch den Wald streift.
 Bärbel weiß, der Mann Füchse jagt, wenn er durch den Wald streift.

Robert weiß, dass der Urlauber Briefe schreibt, bevor er an den Strand geht.
 Robert weiß, dass der Urlauber Briefe schreibt, bevor er an den Strand geht.
 Robert weiß, der Urlauber schreibt Briefe, bevor er an den Strand geht.
 Robert weiß, der Urlauber schreibt Briefe, bevor er an den Strand geht.
 Robert weiß, dass der Urlauber Briefe, bevor er an den Strand geht.
 Robert weiß, dass der Urlauber Briefe, bevor er an den Strand geht.
 Robert weiß, der Urlauber Briefe schreibt, bevor er an den Strand geht.
 Robert weiß, der Urlauber Briefe schreibt, bevor er an den Strand geht.

Maria weiß, dass der Vogel Lieder zwitschert, wenn er zu seinem Nest fliegt.
 Maria weiß, dass der Vogel Lieder zwitschert, wenn er zu seinem Nest fliegt.
 Maria weiß, der Vogel zwitschert Lieder, wenn er zu seinem Nest fliegt.
 Maria weiß, der Vogel zwitschert Lieder, wenn er zu seinem Nest fliegt.
 Maria weiß, dass der Vogel Lieder, wenn er zu seinem Nest fliegt.
 Maria weiß, dass der Vogel Lieder, wenn er zu seinem Nest fliegt.
 Maria weiß, der Vogel Lieder zwitschert, wenn er zu seinem Nest fliegt.
 Maria weiß, der Vogel Lieder zwitschert, wenn er zu seinem Nest fliegt.

Petra weiß, dass der Kellner Essen stiehlt, wenn er in der Küche ist.
 Petra weiß, dass der Kellner Essen stiehlt, wenn er in der Küche ist.
 Petra weiß, der Kellner stiehlt Essen, wenn er in der Küche ist.
 Petra weiß, der Kellner stiehlt Essen, wenn er in der Küche ist.
 Petra weiß, dass der Kellner Essen, wenn er in der Küche ist.
 Petra weiß, dass der Kellner Essen, wenn er in der Küche ist.
 Petra weiß, der Kellner Essen stiehlt, wenn er in der Küche ist.
 Petra weiß, der Kellner Essen stiehlt, wenn er in der Küche ist.

Norbert weiß, dass der Tischler Bretter sägt, bevor er das Bett baut.
 Norbert weiß, dass der Tischler Bretter sägt, bevor er das Bett baut.
 Norbert weiß, der Tischler sägt Bretter, bevor er das Bett baut.
 Norbert weiß, der Tischler sägt Bretter, bevor er das Bett baut.
 Norbert weiß, der Tischler sägt Bretter, bevor er das Bett baut.

Norbert weiß, dass der Tischler Bretter, bevor er das Bett baut.
 Norbert weiß, dass der Tischler Bretter, bevor er das Bett baut.
 Norbert weiß, der Tischler Bretter sägt, bevor er das Bett baut.
 Norbert weiß, der Tischler Bretter sägt, bevor er das Bett baut.

Ulrike weiß, dass der Indianer Pferde reitet, wenn er auf die Jagd geht.
 Ulrike weiß, dass der Indianer Pferde reitet, wenn er auf die Jagd geht.
 Ulrike weiß, der Indianer reitet Pferde, wenn er auf die Jagd geht.
 Ulrike weiß, der Indianer reitet Pferde, wenn er auf die Jagd geht.
 Ulrike weiß, dass der Indianer Pferde, wenn er auf die Jagd geht.
 Ulrike weiß, dass der Indianer Pferde, wenn er auf die Jagd geht.
 Ulrike weiß, der Indianer Pferde reitet, wenn er auf die Jagd geht.
 Ulrike weiß, der Indianer Pferde reitet, wenn er auf die Jagd geht.

Sabine weiß, dass der Österreicher Schnitzel isst, wenn er viel Hunger hat.
 Sabine weiß, dass der Österreicher Schnitzel isst, wenn er viel Hunger hat.
 Sabine weiß, der Österreicher isst Schnitzel, wenn er viel Hunger hat.
 Sabine weiß, der Österreicher isst Schnitzel, wenn er viel Hunger hat.
 Sabine weiß, dass der Österreicher Schnitzel, wenn er viel Hunger hat.
 Sabine weiß, dass der Österreicher Schnitzel, wenn er viel Hunger hat.
 Sabine weiß, der Österreicher Schnitzel isst, wenn er viel Hunger hat.
 Sabine weiß, der Österreicher Schnitzel isst, wenn er viel Hunger hat.

Herbert weiß, dass der Bauer Äpfel erntet, bevor er auf den Markt geht.
 Herbert weiß, dass der Bauer Äpfel erntet, bevor er auf den Markt geht.
 Herbert weiß, der Bauer erntet Äpfel, bevor er auf den Markt geht.
 Herbert weiß, der Bauer erntet Äpfel, bevor er auf den Markt geht.
 Herbert weiß, dass der Bauer Äpfel, bevor er auf den Markt geht.
 Herbert weiß, dass der Bauer Äpfel, bevor er auf den Markt geht.
 Herbert weiß, der Bauer Äpfel erntet, bevor er auf den Markt geht.
 Herbert weiß, der Bauer Äpfel erntet, bevor er auf den Markt geht.

Markus weiß, dass der Einbrecher Schlösser öffnet, wenn er auf einen Raubzug geht.
 Markus weiß, dass der Einbrecher Schlösser öffnet, wenn er auf einen Raubzug geht.
 Markus weiß, der Einbrecher öffnet Schlösser, wenn er auf einen Raubzug geht.
 Markus weiß, der Einbrecher öffnet Schlösser, wenn er auf einen Raubzug geht.
 Markus weiß, dass der Einbrecher Schlösser, wenn er auf einen Raubzug geht.
 Markus weiß, dass der Einbrecher Schlösser, wenn er auf einen Raubzug geht.
 Markus weiß, der Einbrecher Schlösser öffnet, wenn er auf einen Raubzug geht.
 Markus weiß, der Einbrecher Schlösser öffnet, wenn er auf einen Raubzug geht.

Heiko weiß, dass der Hausmeister Rasen mäht, bevor er die Tür repariert.
 Heiko weiß, dass der Hausmeister Rasen mäht, bevor er die Tür repariert.
 Heiko weiß, der Hausmeister mäht Rasen, bevor er die Tür repariert.
 Heiko weiß, der Hausmeister mäht Rasen, bevor er die Tür repariert.
 Heiko weiß, dass der Hausmeister Rasen, bevor er die Tür repariert.
 Heiko weiß, dass der Hausmeister Rasen, bevor er die Tür repariert.
 Heiko weiß, der Hausmeister Rasen mäht, bevor er die Tür repariert.
 Heiko weiß, der Hausmeister Rasen mäht, bevor er die Tür repariert.

Alexander weiß, dass der Handwerker Löcher bohrt, bevor er die Schrauben befestigt.
 Alexander weiß, dass der Handwerker Löcher bohrt, bevor er die Schrauben befestigt.
 Alexander weiß, der Handwerker bohrt Löcher, bevor er die Schrauben befestigt.
 Alexander weiß, der Handwerker bohrt Löcher, bevor er die Schrauben befestigt.
 Alexander weiß, dass der Handwerker Löcher, bevor er die Schrauben befestigt.
 Alexander weiß, dass der Handwerker Löcher, bevor er die Schrauben befestigt.
 Alexander weiß, der Handwerker Löcher bohrt, bevor er die Schrauben befestigt.
 Alexander weiß, der Handwerker Löcher bohrt, bevor er die Schrauben befestigt.

Harald weiß, dass der König Diener hat, wobei er alle gut bezahlt.

Harald weiß, dass der König Diener hat, wobei er alle gut bezahlt.
 Harald weiß, der König hat Diener, wobei er alle gut bezahlt.
 Harald weiß, der König hat Diener, wobei er alle gut bezahlt.
 Harald weiß, dass der König Diener, wobei er alle gut bezahlt.
 Harald weiß, dass der König Diener, wobei er alle gut bezahlt.
 Harald weiß, der König Diener hat, wobei er alle gut bezahlt.
 Harald weiß, der König Diener hat, wobei er alle gut bezahlt.

Nora weiß, dass der Schäfer Socken strickt, wann immer er Zeit dazu hat.
 Nora weiß, dass der Schäfer Socken strickt, wann immer er Zeit dazu hat.
 Nora weiß, der Schäfer strickt Socken, wann immer er Zeit dazu hat.
 Nora weiß, der Schäfer strickt Socken, wann immer er Zeit dazu hat.
 Nora weiß, dass der Schäfer Socken, wann immer er Zeit dazu hat.
 Nora weiß, dass der Schäfer Socken, wann immer er Zeit dazu hat.
 Nora weiß, der Schäfer Socken strickt, wann immer er Zeit dazu hat.
 Nora weiß, der Schäfer Socken strickt, wann immer er Zeit dazu hat.

Klaus weiß, dass der Turner Saltos übt, bevor er zum Wettkampf geht.
 Klaus weiß, dass der Turner Saltos übt, bevor er zum Wettkampf geht.
 Klaus weiß, der Turner übt Saltos, bevor er zum Wettkampf geht.
 Klaus weiß, der Turner übt Saltos, bevor er zum Wettkampf geht.
 Klaus weiß, dass der Turner Saltos, bevor er zum Wettkampf geht.
 Klaus weiß, dass der Turner Saltos, bevor er zum Wettkampf geht.
 Klaus weiß, der Turner Saltos übt, bevor er zum Wettkampf geht.
 Klaus weiß, der Turner Saltos übt, bevor er zum Wettkampf geht.

Frank weiß, dass der Schiedsrichter Rennen startet, wobei er auf Frühstarts achtet.
 Frank weiß, dass der Schiedsrichter Rennen startet, wobei er auf Frühstarts achtet.
 Frank weiß, der Schiedsrichter startet Rennen, wobei er auf Frühstarts achtet.
 Frank weiß, der Schiedsrichter startet Rennen, wobei er auf Frühstarts achtet.
 Frank weiß, dass der Schiedsrichter Rennen, wobei er auf Frühstarts achtet.
 Frank weiß, dass der Schiedsrichter Rennen, wobei er auf Frühstarts achtet.
 Frank weiß, der Schiedsrichter Rennen startet, wobei er auf Frühstarts achtet.
 Frank weiß, der Schiedsrichter Rennen startet, wobei er auf Frühstarts achtet.

Ricarda weiß, dass der Maler Türen streicht, bevor er zu seiner Familie geht.
 Ricarda weiß, dass der Maler Türen streicht, bevor er zu seiner Familie geht.
 Ricarda weiß, der Maler streicht Türen, bevor er zu seiner Familie geht.
 Ricarda weiß, der Maler streicht Türen, bevor er zu seiner Familie geht.
 Ricarda weiß, dass der Maler Türen, bevor er zu seiner Familie geht.
 Ricarda weiß, dass der Maler Türen, bevor er zu seiner Familie geht.
 Ricarda weiß, der Maler Türen streicht, bevor er zu seiner Familie geht.
 Ricarda weiß, der Maler Türen streicht, bevor er zu seiner Familie geht.

Markus weiß, dass der Zwerg Pilze mag, wobei er Champignons besonders gern hat.
 Markus weiß, dass der Zwerg Pilze mag, wobei er Champignons besonders gern hat.
 Markus weiß, der Zwerg mag Pilze, wobei er Champignons besonders gern hat.
 Markus weiß, der Zwerg mag Pilze, wobei er Champignons besonders gern hat.
 Markus weiß, dass der Zwerg Pilze, wobei er Champignons besonders gern hat.
 Markus weiß, dass der Zwerg Pilze, wobei er Champignons besonders gern hat.
 Markus weiß, der Zwerg Pilze mag, wobei er Champignons besonders gern hat.
 Markus weiß, der Zwerg Pilze mag, wobei er Champignons besonders gern hat.

Holger weiß, dass der Maurer Häuser baut, wobei er meistens Radio hört.
 Holger weiß, dass der Maurer Häuser baut, wobei er meistens Radio hört.
 Holger weiß, der Maurer baut Häuser, wobei er meistens Radio hört.
 Holger weiß, der Maurer baut Häuser, wobei er meistens Radio hört.
 Holger weiß, dass der Maurer Häuser, wobei er meistens Radio hört.
 Holger weiß, dass der Maurer Häuser, wobei er meistens Radio hört.
 Holger weiß, der Maurer Häuser baut, wobei er meistens Radio hört.
 Holger weiß, der Maurer Häuser baut, wobei er meistens Radio hört.

Holger weiß, der Maurer Häuser baut, wobei er meistens Radio hört.

Kerstin weiß, dass der Gärtner Bäume pflanzt, bevor er den Park verlässt.

Kerstin weiß, dass der Gärtner Bäume pflanzt, bevor er den Park verlässt.

Kerstin weiß, der Gärtner pflanzt Bäume, bevor er den Park verlässt.

Kerstin weiß, der Gärtner pflanzt Bäume, bevor er den Park verlässt.

Kerstin weiß, dass der Gärtner Bäume, bevor er den Park verlässt.

Kerstin weiß, dass der Gärtner Bäume, bevor er den Park verlässt.

Kerstin weiß, der Gärtner Bäume pflanzt, bevor er den Park verlässt.

Kerstin weiß, der Gärtner Bäume pflanzt, bevor er den Park verlässt.

Thorsten weiß, dass der Hund Katzen beißt, wenn er ohne Leine herumtobt.

Thorsten weiß, dass der Hund Katzen beißt, wenn er ohne Leine herumtobt.

Thorsten weiß, der Hund beißt Katzen, wenn er ohne Leine herumtobt.

Thorsten weiß, der Hund beißt Katzen, wenn er ohne Leine herumtobt.

Thorsten weiß, dass der Hund Katzen, wenn er ohne Leine herumtobt.

Thorsten weiß, dass der Hund Katzen, wenn er ohne Leine herumtobt.

Thorsten weiß, der Hund Katzen beißt, wenn er ohne Leine herumtobt.

Thorsten weiß, der Hund Katzen beißt, wenn er ohne Leine herumtobt.

Stephan weiß, dass der Friseur Haare kämmt, wenn er in seinem Laden ist.

Stephan weiß, dass der Friseur Haare kämmt, wenn er in seinem Laden ist.

Stephan weiß, der Friseur kämmt Haare, wenn er in seinem Laden ist.

Stephan weiß, der Friseur kämmt Haare, wenn er in seinem Laden ist.

Stephan weiß, dass der Friseur Haare, wenn er in seinem Laden ist.

Stephan weiß, dass der Friseur Haare, wenn er in seinem Laden ist.

Stephan weiß, der Friseur Haare kämmt, wenn er in seinem Laden ist.

Stephan weiß, der Friseur Haare kämmt, wenn er in seinem Laden ist.

Lars weiß, dass der Doktor Kranke heilt, bevor er abends Schwimmen geht.

Lars weiß, dass der Doktor Kranke heilt, bevor er abends Schwimmen geht.

Lars weiß, der Doktor heilt Kranke, bevor er abends Schwimmen geht.

Lars weiß, der Doktor heilt Kranke, bevor er abends Schwimmen geht.

Lars weiß, dass der Doktor Kranke, bevor er abends Schwimmen geht.

Lars weiß, dass der Doktor Kranke, bevor er abends Schwimmen geht.

Lars weiß, der Doktor Kranke heilt, bevor er abends Schwimmen geht.

Lars weiß, der Doktor Kranke heilt, bevor er abends Schwimmen geht.

Herbert weiß, dass der Tierpfleger Löwen füttert, bevor er selbst Pause hat.

Herbert weiß, dass der Tierpfleger Löwen füttert, bevor er selbst Pause hat.

Herbert weiß, der Tierpfleger füttert Löwen, bevor er selbst Pause hat.

Herbert weiß, der Tierpfleger füttert Löwen, bevor er selbst Pause hat.

Herbert weiß, dass der Tierpfleger Löwen, bevor er selbst Pause hat.

Herbert weiß, der Tierpfleger Löwen füttert, bevor er selbst Pause hat.

Herbert weiß, der Tierpfleger Löwen füttert, bevor er selbst Pause hat.

Matthias weiß, dass der Kater Mäuse fängt, wenn er auf der Wiese lauert.

Matthias weiß, dass der Kater Mäuse fängt, wenn er auf der Wiese lauert.

Matthias weiß, der Kater fängt Mäuse, wenn er auf der Wiese lauert.

Matthias weiß, der Kater fängt Mäuse, wenn er auf der Wiese lauert.

Matthias weiß, dass der Kater Mäuse, wenn er auf der Wiese lauert.

Matthias weiß, dass der Kater Mäuse, wenn er auf der Wiese lauert.

Matthias weiß, der Kater Mäuse fängt, wenn er auf der Wiese lauert.

Matthias weiß, der Kater Mäuse fängt, wenn er auf der Wiese lauert.

Florian weiß, dass der Kapitän Pfeife raucht, bevor er zum Schiff zurückgeht.

Florian weiß, dass der Kapitän Pfeife raucht, bevor er zum Schiff zurückgeht.

Florian weiß, der Kapitän raucht Pfeife, bevor er zum Schiff zurückgeht.

Florian weiß, der Kapitän raucht Pfeife, bevor er zum Schiff zurückgeht.

Florian weiß, dass der Kapitän Pfeife, bevor er zum Schiff zurückgeht.

Florian weiß, dass der Kapitän Pfeife, bevor er zum Schiff zurückgeht.

Florian weiß, der Kapitän Pfeife raucht, bevor er zum Schiff zurückgeht.

Florian weiß, der Kapitän Pfeife raucht, bevor er zum Schiff zurückgeht.

Michael weiß, dass der Sportler Wasser trinkt, bevor er in das Stadion geht.

Michael weiß, dass der Sportler Wasser trinkt, bevor er in das Stadion geht.

Michael weiß, der Sportler trinkt Wasser, bevor er in das Stadion geht.

Michael weiß, der Sportler trinkt Wasser, bevor er in das Stadion geht.

Michael weiß, dass der Sportler Wasser, bevor er in das Stadion geht.

Michael weiß, dass der Sportler Wasser, bevor er in das Stadion geht.

Michael weiß, der Sportler Wasser trinkt, bevor er in das Stadion geht.

Michael weiß, der Sportler Wasser trinkt, bevor er in das Stadion geht.

Frederike weiß, dass der Bauarbeiter Tunnel gräbt, wobei er viel Kraft braucht.

Frederike weiß, dass der Bauarbeiter Tunnel gräbt, wobei er viel Kraft braucht.

Frederike weiß, der Bauarbeiter gräbt Tunnel, wobei er viel Kraft braucht.

Frederike weiß, der Bauarbeiter gräbt Tunnel, wobei er viel Kraft braucht.

Frederike weiß, dass der Bauarbeiter Tunnel, wobei er viel Kraft braucht.

Frederike weiß, dass der Bauarbeiter Tunnel, wobei er viel Kraft braucht.

Frederike weiß, der Bauarbeiter Tunnel gräbt, wobei er viel Kraft braucht.

Frederike weiß, der Bauarbeiter Tunnel gräbt, wobei er viel Kraft braucht.

Tobias weiß, dass der Junge Flieger bastelt, nachdem er aus der Schule kommt.

Tobias weiß, dass der Junge Flieger bastelt, nachdem er aus der Schule kommt.

Tobias weiß, der Junge bastelt Flieger, nachdem er aus der Schule kommt.

Tobias weiß, der Junge bastelt Flieger, nachdem er aus der Schule kommt.

Tobias weiß, dass der Junge Flieger, nachdem er aus der Schule kommt.

Tobias weiß, dass der Junge Flieger, nachdem er aus der Schule kommt.

Tobias weiß, der Junge Flieger bastelt, nachdem er aus der Schule kommt.

Tobias weiß, der Junge Flieger bastelt, nachdem er aus der Schule kommt.

Volker weiß, dass der Pfleger Babys badet, wobei er eine Geschichte erzählt.

Volker weiß, dass der Pfleger Babys badet, wobei er eine Geschichte erzählt.

Volker weiß, der Pfleger badet Babys, wobei er eine Geschichte erzählt.

Volker weiß, der Pfleger badet Babys, wobei er eine Geschichte erzählt.

Volker weiß, dass der Pfleger Babys, wobei er eine Geschichte erzählt.

Volker weiß, dass der Pfleger Babys, wobei er eine Geschichte erzählt.

Volker weiß, der Pfleger Babys badet, wobei er eine Geschichte erzählt.

Volker weiß, der Pfleger Babys badet, wobei er eine Geschichte erzählt.

Susi weiß, dass der Jäger Bären schießt, bevor der Tag zu Ende geht.

Susi weiß, dass der Jäger Bären schießt, bevor der Tag zu Ende geht.

Susi weiß, der Jäger schießt Bären, bevor der Tag zu Ende geht.

Susi weiß, der Jäger schießt Bären, bevor der Tag zu Ende geht.

Susi weiß, dass der Jäger Bären, bevor der Tag zu Ende geht.

Susi weiß, dass der Jäger Bären, bevor der Tag zu Ende geht.

Susi weiß, der Jäger Bären schießt, bevor der Tag zu Ende geht.

Susi weiß, der Jäger Bären schießt, bevor der Tag zu Ende geht.

Anton weiß, dass der Papa Würste grillt, wobei er mit dem Nachbarn redet.

Anton weiß, dass der Papa Würste grillt, wobei er mit dem Nachbarn redet.

Anton weiß, der Papa grillt Würste, wobei er mit dem Nachbarn redet.

Anton weiß, der Papa grillt Würste, wobei er mit dem Nachbarn redet.

Anton weiß, dass der Papa Würste, wobei er mit dem Nachbarn redet.

Anton weiß, dass der Papa Würste, wobei er mit dem Nachbarn redet.

Anton weiß, der Papa Würste grillt, wobei er mit dem Nachbarn redet.

Anton weiß, der Papa Würste grillt, wobei er mit dem Nachbarn redet.

Nicole weiß, dass der Lehrer Schüler tadelt, wobei er manchmal ungerecht ist.

Nicole weiß, dass der Lehrer Schüler tadelt, wobei er manchmal ungerecht ist.
 Nicole weiß, der Lehrer tadelt Schüler, wobei er manchmal ungerecht ist.
 Nicole weiß, der Lehrer tadelt Schüler, wobei er manchmal ungerecht ist.
 Nicole weiß, dass der Lehrer Schüler, wobei er manchmal ungerecht ist.
 Nicole weiß, dass der Lehrer Schüler tadelt, wobei er manchmal ungerecht ist.
 Nicole weiß, der Lehrer Schüler tadelt, wobei er manchmal ungerecht ist.

Sandra weiß, dass der Clown Kinder tröstet, wenn er ins Krankenhaus kommt.
 Sandra weiß, dass der Clown Kinder tröstet, wenn er ins Krankenhaus kommt.
 Sandra weiß, der Clown tröstet Kinder, wenn er ins Krankenhaus kommt.
 Sandra weiß, der Clown tröstet Kinder, wenn er ins Krankenhaus kommt.
 Sandra weiß, dass der Clown Kinder, wenn er ins Krankenhaus kommt.
 Sandra weiß, dass der Clown Kinder tröstet, wenn er ins Krankenhaus kommt.
 Sandra weiß, der Clown Kinder tröstet, wenn er ins Krankenhaus kommt.
 Sandra weiß, der Clown Kinder tröstet, wenn er ins Krankenhaus kommt.

Sven weiß, dass der Koch Zwiebeln brät, bevor er den Ofen einschaltet.
 Sven weiß, dass der Koch Zwiebeln brät, bevor er den Ofen einschaltet.
 Sven weiß, der Koch brät Zwiebeln, bevor er den Ofen einschaltet.
 Sven weiß, der Koch brät Zwiebeln, bevor er den Ofen einschaltet.
 Sven weiß, dass der Koch Zwiebeln, bevor er den Ofen einschaltet.
 Sven weiß, dass der Koch Zwiebeln, bevor er den Ofen einschaltet.
 Sven weiß, dass der Koch Zwiebeln, bevor er den Ofen einschaltet.
 Sven weiß, der Koch Zwiebeln brät, bevor er den Ofen einschaltet.
 Sven weiß, der Koch Zwiebeln brät, bevor er den Ofen einschaltet.

Daniel weiß, dass der Boxer Kämpfe gewinnt, bevor er mit seinen Freunden feiert.
 Daniel weiß, dass der Boxer Kämpfe gewinnt, bevor er mit seinen Freunden feiert.
 Daniel weiß, der Boxer gewinnt Kämpfe, bevor er mit seinen Freunden feiert.
 Daniel weiß, der Boxer gewinnt Kämpfe, bevor er mit seinen Freunden feiert.
 Daniel weiß, dass der Boxer Kämpfe, bevor er mit seinen Freunden feiert.
 Daniel weiß, dass der Boxer Kämpfe, bevor er mit seinen Freunden feiert.
 Daniel weiß, der Boxer Kämpfe gewinnt, bevor er mit seinen Freunden feiert.
 Daniel weiß, der Boxer Kämpfe gewinnt, bevor er mit seinen Freunden feiert.

Monika weiß, dass der Gehilfe Tassen spült, bevor er sein Geld bekommt.
 Monika weiß, dass der Gehilfe Tassen spült, bevor er sein Geld bekommt.
 Monika weiß, der Gehilfe spült Tassen, bevor er sein Geld bekommt.
 Monika weiß, der Gehilfe spült Tassen, bevor er sein Geld bekommt.
 Monika weiß, dass der Gehilfe Tassen, bevor er sein Geld bekommt.
 Monika weiß, dass der Gehilfe Tassen, bevor er sein Geld bekommt.
 Monika weiß, der Gehilfe Tassen spült, bevor er sein Geld bekommt.
 Monika weiß, der Gehilfe Tassen spült, bevor er sein Geld bekommt.

Manuela weiß, dass der Musiker Flöte spielt, wenn er seine Kollegen trifft.
 Manuela weiß, dass der Musiker Flöte spielt, wenn er seine Kollegen trifft.
 Manuela weiß, der Musiker spielt Flöte, wenn er seine Kollegen trifft.
 Manuela weiß, der Musiker spielt Flöte, wenn er seine Kollegen trifft.
 Manuela weiß, dass der Musiker Flöte, wenn er seine Kollegen trifft.
 Manuela weiß, dass der Musiker Flöte, wenn er seine Kollegen trifft.
 Manuela weiß, der Musiker Flöte spielt, wenn er seine Kollegen trifft.
 Manuela weiß, der Musiker Flöte spielt, wenn er seine Kollegen trifft.

Annett weiß, dass der Tänzer Schlittschuh läuft, wobei er laute Musik hört.
 Annett weiß, dass der Tänzer Schlittschuh läuft, wobei er laute Musik hört.
 Annett weiß, der Tänzer läuft Schlittschuh, wobei er laute Musik hört.
 Annett weiß, der Tänzer läuft Schlittschuh, wobei er laute Musik hört.
 Annett weiß, dass der Tänzer Schlittschuh, wobei er laute Musik hört.
 Annett weiß, dass der Tänzer Schlittschuh, wobei er laute Musik hört.
 Annett weiß, der Tänzer Schlittschuh läuft, wobei er laute Musik hört.
 Annett weiß, der Tänzer Schlittschuh läuft, wobei er laute Musik hört.

Annett weiß, der Tänzer Schlittschuh läuft, wobei er laute Musik hört.

Walther weiß, dass der Nachbar Kirschen klaut, wobei er auf die Leiter steigt.
 Walther weiß, dass der Nachbar Kirschen klaut, wobei er auf die Leiter steigt.
 Walther weiß, der Nachbar klaut Kirschen, wobei er auf die Leiter steigt.
 Walther weiß, der Nachbar klaut Kirschen, wobei er auf die Leiter steigt.
 Walther weiß, dass der Nachbar Kirschen, wobei er auf die Leiter steigt.
 Walther weiß, dass der Nachbar Kirschen, wobei er auf die Leiter steigt.
 Walther weiß, der Nachbar Kirschen klaut, wobei er auf die Leiter steigt.
 Walther weiß, der Nachbar Kirschen klaut, wobei er auf die Leiter steigt.

Barbara weiß, dass der Polizist Diebe kennt, wobei er die meisten verhaftet hat.
 Barbara weiß, dass der Polizist Diebe kennt, wobei er die meisten verhaftet hat.
 Barbara weiß, der Polizist kennt Diebe, wobei er die meisten verhaftet hat.
 Barbara weiß, der Polizist kennt Diebe, wobei er die meisten verhaftet hat.
 Barbara weiß, dass der Polizist Diebe, wobei er die meisten verhaftet hat.
 Barbara weiß, dass der Polizist Diebe, wobei er die meisten verhaftet hat.
 Barbara weiß, der Polizist Diebe kennt, wobei er die meisten verhaftet hat.
 Barbara weiß, der Polizist Diebe kennt, wobei er die meisten verhaftet hat.

A.3 Stimulusmaterial Experiment 4

Maria weiß, dass der Bauer beim Acker rastet.
 Maria weiß, dass der Bauer beim Ackert rastet.
 Maria weiß, dass der Bauer beim Acker rastet.
 Maria weiß, dass der Bauer beim Ackert rastet.
 Maria weiß, dass der Bauer im Frühling ackert.
 Maria weiß, dass der Bauer ackert.

Norbert weiß, dass der Rentner im Alter kränkelt.
 Norbert weiß, dass der Rentner im Altert kränkelt.
 Norbert weiß, dass der Rentner im Alter kränkelt.
 Norbert weiß, dass der Rentner im Altert kränkelt.
 Norbert weiß, dass der Rentner im Rollstuhl altert.
 Norbert weiß, dass der Rentner altert.

Stephan weiß, dass der Sammler im Trödel stöbert.
 Stephan weiß, dass der Sammler im Trödelt stöbert.
 Stephan weiß, dass der Sammler im Trödel stöbert.
 Stephan weiß, dass der Sammler im Trödelt stöbert.
 Stephan weiß, dass der Sammler im Laden trödelt.
 Stephan weiß, dass der Sammler trödelt.

Ina weiß, dass der Teppich zur Faser zerfällt.
 Ina weiß, dass der Teppich zur Fasert zerfällt.
 Ina weiß, dass der Teppich zur Faser zerfällt.
 Ina weiß, dass der Teppich zur Fasert zerfällt.
 Ina weiß, dass der Teppich im Vorsaal fasert.
 Ina weiß, dass der Teppich fasert.

Henning sieht, dass der Kämpfer im Feuer umkommt.
 Henning sieht, dass der Kämpfer im Feuert umkommt.
 Henning sieht, dass der Kämpfer im Feuer umkommt.
 Henning sieht, dass der Kämpfer im Feuert umkommt.
 Henning sieht, dass der Kämpfer im Einsatz feuert.
 Henning sieht, dass der Kämpfer feuert.

Beate sieht, dass das Baby im Fieber zittert.
 Beate sieht, dass das Baby im Fiebert zittert.
 Beate sieht, dass das Baby im Fieber zittert.
 Beate sieht, dass das Baby im Fiebert zittert.
 Beate sieht, dass das Baby am Morgen fiebert.
 Beate sieht, dass das Baby fiebert.

Felix weiß, dass das Papier im Filter modert.
 Felix weiß, dass das Papier im Filtert modert.
 Felix weiß, dass das Papier im Filter modert.
 Felix weiß, dass das Papier im Filtert modert.
 Felix weiß, dass das Papier im Teesieb filtert.
 Felix weiß, dass das Papier filtert.

Tobias sieht, dass der Dackel zum Futter hinausaut.
 Tobias sieht, dass der Dackel zum Futtert hinausaut.
 Tobias sieht, dass der Dackel zum Futter hinausaut.
 Tobias sieht, dass der Dackel zum Futtert hinausaut.
 Tobias sieht, dass der Dackel im Kuhstall futtert.
 Tobias sieht, dass der Dackel futtert.

David weiß, dass der Schüler beim Gärtner schaufelt.
 David weiß, dass der Schüler als Hobby gärtner.
 David weiß, dass der Schüler gärtner.

Sonja weiß, dass der Gauner beim Handel schwindelt.
 Sonja weiß, dass der Gauner beim Handelt schwindelt.
 Sonja weiß, dass der Gauner beim Handel schwindelt.
 Sonja weiß, dass der Gauner beim Handelt schwindelt.
 Sonja weiß, dass der Gauner mit Waren handelt.
 Sonja weiß, dass der Gauner handelt.

Lukas weiß, dass der Glaser am Hobel tüfelt.
 Lukas weiß, dass der Glaser am Hobelt tüfelt.
 Lukas weiß, dass der Glaser am Hobel tüfelt.
 Lukas weiß, dass der Glaser am Hobelt tüfelt.
 Lukas weiß, dass der Glaser auf Arbeit hobelt.
 Lukas weiß, dass der Glaser hobelt.

Maren weiß, dass die Nonne trotz Hunger fastet.
 Maren weiß, dass die Nonne trotz Hungert fastet.
 Maren weiß, dass die Nonne trotz Hunger fastet.
 Maren weiß, dass die Nonne trotz Hungert fastet.
 Maren weiß, dass die Nonne im Kloster hungert.
 Maren weiß, dass die Nonne hungert.

Christian weiß, dass das Fräulein zur Bürste hinschaut.
 Christian weiß, dass das Fräulein zur Bürstet hinschaut.
 Christian weiß, dass das Fräulein zur Bürste hinschaut.
 Christian weiß, dass das Fräulein zur Bürstet hinschaut.
 Christian weiß, dass das Fräulein am Scheitel bürstet.
 Christian weiß, dass das Fräulein bürstet.

Silke hört, dass der Sprecher im Jubel mitsingt.
 Silke hört, dass der Sprecher im Jubelt mitsingt.
 Silke hört, dass der Sprecher im Jubel mitsingt.
 Silke hört, dass der Sprecher im Jubelt mitsingt.
 Silke hört, dass der Sprecher beim Boxkampf jubelt.
 Silke hört, dass der Sprecher jubelt.

Paula sieht, dass der Sportler zum Kegel deutet.
 Paula sieht, dass der Sportler zum Kegelt deutet.
 Paula sieht, dass der Sportler zum Kegel deutet.
 Paula sieht, dass der Sportler zum Kegelt deutet.
 Paula sieht, dass der Sportler am Freitag kegelt.
 Paula sieht, dass der Sportler kegelt.

Tilo weiß, dass der Schüler als Kellner aushilft.
 Tilo weiß, dass der Schüler als Kellnert aushilft.
 Tilo weiß, dass der Schüler als Kellner aushilft.
 Tilo weiß, dass der Schüler als Kellnert aushilft.
 Tilo weiß, dass der Schüler im Sommer kellnert.
 Tilo weiß, dass der Schüler kellnert.

Petra sieht, dass der Sklave am Wedel lächelt.
 Petra sieht, dass der Sklave zum König wedelt.
 Petra sieht, dass der Sklave wedelt.

Susann sieht, dass der Säufer mit Becher umfällt.
 Susann sieht, dass der Säufer mit Bechert umfällt.
 Susann sieht, dass der Säufer mit Becher umfällt.
 Susann sieht, dass der Säufer mit Bechert umfällt.
 Susann sieht, dass der Säufer im Bahnhof bechert.
 Susann sieht, dass der Säufer bechert.

Frederik sieht, dass der Priester vorm Opfer wartet.
 Frederik sieht, dass der Priester vorm Opfert wartet.
 Frederik sieht, dass der Priester vorm Opfer wartet.
 Frederik sieht, dass der Priester vorm Opfert wartet.
 Frederik sieht, dass der Priester im Tempel opfert.
 Frederik sieht, dass der Priester opfert.

Franziska sieht, dass der Camper trotz Paddel kentert.
 Franziska sieht, dass der Camper trotz Paddelt kentert.
 Franziska sieht, dass der Camper trotz Paddel kentert.
 Franziska sieht, dass der Camper trotz Paddelt kentert.
 Franziska sieht, dass der Camper zum Ufer paddelt.
 Franziska sieht, dass der Camper paddelt.

Andreas sieht, dass die Perle am Pendel glitzert.
 Andreas sieht, dass die Perle am Pendelt glitzert.
 Andreas sieht, dass die Perle am Pendel glitzert.
 Andreas sieht, dass die Perle am Pendelt glitzert.
 Andreas sieht, dass die Perle am Armband pendelt.
 Andreas sieht, dass die Perle pendelt.

Markus sieht, dass der Künstler am Pinsel knabbert.
 Markus sieht, dass der Künstler am Pinselt knabbert.
 Markus sieht, dass der Künstler am Pinsel knabbert.
 Markus sieht, dass der Künstler am Pinselt knabbert.
 Markus sieht, dass der Künstler zur Übung pinselt.
 Markus sieht, dass der Künstler pinselt.

Sandra sieht, dass der Kanzler vorm Pöbel flüchtet.
 Sandra sieht, dass der Kanzler vorm Pöbelt flüchtet.
 Sandra sieht, dass der Kanzler vorm Pöbel flüchtet.
 Sandra sieht, dass der Kanzler vorm Pöbelt flüchtet.
 Sandra sieht, dass der Kanzler im Wahlkampf pöbelt.
 Sandra sieht, dass der Kanzler pöbelt.

Harald weiß, dass der Spieler beim Poker mogelt.
 Harald weiß, dass der Spieler beim Pokert mogelt.
 Harald weiß, dass der Spieler beim Poker mogelt.
 Harald weiß, dass der Spieler beim Pokert mogelt.
 Harald weiß, dass der Spieler am Stammtisch pokert.
 Harald weiß, dass der Spieler pokert.

Nicole weiß, dass der Denker beim Rätsel grubelt.
 Nicole weiß, dass der Denker beim Rätselt grubelt.
 Nicole weiß, dass der Denker beim Rätsel grubelt.
 Nicole weiß, dass der Denker beim Rätselt grubelt.

Nicole weiß, dass der Denker beim Frühstück rätselt.
 Nicole weiß, dass der Denker rätselt.

Matthias weiß, dass der Jäger beim Köder lauert.
 Matthias weiß, dass der Jäger beim Ködert lauert.
 Matthias weiß, dass der Jäger beim Köder lauert.
 Matthias weiß, dass der Jäger beim Ködert lauert.
 Matthias weiß, dass der Jäger am Waldrand ködert.
 Matthias weiß, dass der Jäger ködert.

Anett weiß, dass der Reifen am Roller klappert.
 Anett weiß, dass der Reifen am Rollert klappert.
 Anett weiß, dass der Reifen am Roller klappert.
 Anett weiß, dass der Reifen am Rollert klappert.
 Anett weiß, dass der Reifen zum Abgrund rollert.
 Anett weiß, dass der Reifen rollert.

Kristiane weiß, dass der Ritter vorm Säbel ausweicht.
 Kristiane weiß, dass der Ritter vorm Säbelt ausweicht.
 Kristiane weiß, dass der Ritter vorm Säbel ausweicht.
 Kristiane weiß, dass der Ritter vorm Säbelt ausweicht.
 Kristiane weiß, dass der Ritter beim Wettstreit säbelt.
 Kristiane weiß, dass der Ritter säbelt.

Manfred weiß, dass der Bäcker beim Zucker knausert.
 Manfred weiß, dass der Bäcker beim Zuckert knausert.
 Manfred weiß, dass der Bäcker beim Zucker knausert.
 Manfred weiß, dass der Bäcker beim Zuckert knausert.
 Manfred weiß, dass der Bäcker vorm Ofen zuckert.
 Manfred weiß, dass der Bäcker zuckert.

Doreen weiß, dass das Mädchen im Schlummer brabbelt.
 Doreen weiß, dass das Mädchen im Schlummert brabbelt.
 Doreen weiß, dass das Mädchen im Schlummer brabbelt.
 Doreen weiß, dass das Mädchen im Schlummert brabbelt.
 Doreen weiß, dass das Mädchen im Garten schlummert.
 Doreen weiß, dass das Mädchen schlummert.

Enrico weiß, dass der Sänger beim Schneider zetert.
 Enrico weiß, dass der Sänger beim Schneidert zetert.
 Enrico weiß, dass der Sänger beim Schneider zetert.
 Enrico weiß, dass der Sänger beim Schneidert zetert.
 Enrico weiß, dass der Sänger am Dienstag schneidert.
 Enrico weiß, dass der Sänger schneidert.

Jutta weiß, dass der Schwimmer mit Schnorchel startet.
 Jutta weiß, dass der Schwimmer mit Schnorchelt startet.
 Jutta weiß, dass der Schwimmer mit Schnorchel startet.
 Jutta weiß, dass der Schwimmer mit Schnorchelt startet.
 Jutta weiß, dass der Schwimmer im Stausee schnorchelt.
 Jutta weiß, dass der Schwimmer schnorchelt.

Nico sieht, dass der Meister beim Schreiner klingelt.
 Nico sieht, dass der Meister zum Abschluss schreiner.
 Nico sieht, dass der Meister schreiner.

Sabine weiß, dass der Prüfling als Schuster durchfällt.

Sabine weiß, dass der Prüfling als Schustert durchfällt.
 Sabine weiß, dass der Prüfling als Schuster durchfällt.
 Sabine weiß, dass der Prüfling als Schustert durchfällt.
 Sabine weiß, dass der Prüfling am Ende schustert.
 Sabine weiß, dass der Prüfling schustert.

Thomas sieht, dass der Seemann zum Segel klettert.
 Thomas sieht, dass der Seemann nach England segelt.
 Thomas sieht, dass der Seemann segelt.

Robert sieht, dass der Kutscher am Zügel festhält.
 Robert sieht, dass der Kutscher vorm Festzelt zügel.
 Robert sieht, dass der Kutscher zügel.

Steffen sieht, dass der Lehrer beim Tadel schmunzelt.
 Steffen sieht, dass der Lehrer mit Nachdruck tadelt.
 Steffen sieht, dass der Lehrer tadelt.

Anna sieht, dass der Kranke im Taumel strauchelt.
 Anna sieht, dass der Kranke im Vorräum taumelt.
 Anna sieht, dass der Kranke taumelt.

Michael weiß, dass der Bastler beim Tischler anruft.
 Michael weiß, dass der Bastler im Keller tischlert.
 Michael weiß, dass der Bastler tischlert.

Korinna weiß, dass der Käufer zum Töpfer hingeht.
 Korinna weiß, dass der Käufer mit Freude töpfer.
 Korinna weiß, dass der Käufer töpfer.

Britta weiß, dass der Forscher trotz Zweifel zusagt.
 Britta weiß, dass der Forscher am Effekt zweifelt.
 Britta weiß, dass der Forscher zweifelt.

Johannes sieht, dass der Hausmann am Bügel anfasst.
 Johannes sieht, dass der Hausmann am Abend bügelt.

Johannes sieht, dass der Hausmann bügelt.

Daniela sieht, dass der Bursche mit Bündel wandert.
 Daniela sieht, dass der Bursche zur Abfahrt bündelt.
 Daniela sieht, dass der Bursche bündelt.

Juliane sieht, dass die Wunde trotz Eiter abheilt.
 Juliane sieht, dass die Wunde am Knöchel eitert.
 Juliane sieht, dass die Wunde eitert.

Kevin sieht, dass der Lehrling beim Maler faulenz.
 Kevin sieht, dass der Lehrling im Kittel malert.
 Kevin sieht, dass der Lehrling malert.

Martin sieht, dass der Cowboy am Sattel zupackt.
 Martin sieht, dass der Cowboy vorm Aufbruch sattelt.
 Martin sieht, dass der Cowboy sattelt.

Carolin sieht, dass der Köter mit Speichel sabbert.
 Carolin sieht, dass der Köter beim Laufen speichelt.
 Carolin sieht, dass der Köter speichelt.

Simon sieht, dass der Zocker zum Würfel blinzelt.
 Simon sieht, dass der Zocker am Spieltisch würfelt.
 Simon sieht, dass der Zocker würfelt.

Abbildungsverzeichnis

1.1	Prosodische Hierarchie nach Selkirk (1984)	13
1.2	Beispiel für eine syntaktische und prosodische Struktur	14
2.1	Beispiele aus der Studie von Schön, Magne und Besson (2004)	47
4.1	Beispielitems für den Prosodievortest in Experiment 1	69
4.2	Fehlerraten im Prosodievortest zu Experiment 1	70
4.3	Illustration der prosodischen Inkongruenz in Experiment 1	73
4.4	EKPs für alle Probanden Experiment 1	79
4.5	EKPs für Prosodiegruppe A (< 3 % Fehler) in Experiment 1	81
4.6	EKPs für Prosodiegruppe B (3 - 17 % Fehler) in Experiment 1	82
4.7	EKPs für Prosodiegruppe C (> 17 % Fehler) in Experiment 1	82
4.8	EKP-Maps für jede der drei Prosodiegruppen in Experiment 1	84
5.1	Wortlängen in Experiment 2	94
5.2	Darstellung des Grundfrequenzverlaufs in Experiment 2	96
5.3	EKP-Ergebnisse für Bedingungs paar 1 in Experiment 2	102
5.4	EKP-Ergebnisse für Bedingungs paar 2 in Experiment 2	104
5.5	EKP-Ergebnisse für Bedingungs paar 3 in Experiment 2	105
5.6	EKP-Ergebnisse für Bedingungs paar 4 in Experiment 2	107
5.7	EKP-Maps für alle vier Bedingungs paare in Experiment 2	109
5.8	Interaktivität der EKPs in Experiment 2	111
6.1	Wortlängen in Experiment 3	123

6.2	Darstellung des Grundfrequenzverlaufs in Experiment 3	125
6.3	EKP-Ergebnisse für Bedingungs paar 1 in Experiment 3	129
6.4	EKP-Ergebnisse für Bedingungs paar 2 in Experiment 3	130
6.5	EKP-Ergebnisse für Bedingungs paar 3 in Experiment 3	132
6.6	EKP-Ergebnisse für Bedingungs paar 4 in Experiment 3	133
6.7	EKP-Maps für alle vier Bedingungs paare in Experiment 3	135
6.8	Interaktivität der EKPs in Experiment 3	136
7.1	Wortlängen in Experiment 4	150
7.2	Darstellung des Grundfrequenzverlaufs in Experiment 4	151
7.3	EKP-Ergebnisse in Experiment 4: Mittelungs epoche I	157
7.4	EKP-Ergebnisse in Experiment 4: Mittelungs epoche II, Prosodie kongruent	160
7.5	EKP-Ergebnisse in Experiment 4: Mittelungs epoche II, Prosodie inkongruent	161
7.6	Interaktivität der EKPs in Experiment 4: Mittelungs epoche II	165
7.7	EKP-Maps für Experiment 4	168

Tabellenverzeichnis

4.1	Probanden in Experiment 1	71
4.2	Experimentelles Design in Experiment 1	72
4.3	Fehlerraten in Experiment 1	78
4.4	Globale Analyse für die EKPs in Experiment 1	80
4.5	Gruppenanalysen der EKPs im ELAN-Zeitfenster in Experiment 1	83
5.1	Experimentelles Design in Experiment 2	90
5.2	Materialerstellung Experiment 2	92
5.3	Wortlängen des kritischen Wortes in Experiment 2	95
5.4	Grundfrequenzanalysen auf dem kritischen Wort in Experiment 2	97
5.5	Statistischen Analysen der EKPs für Bedingungs paar 1 in Experiment 2	103
5.6	Statistischen Analysen der EKPs für Bedingungs paar 2 in Experiment 2	104
5.7	Statistischen Analysen der EKPs für Bedingungs paar 3 in Experiment 2	106
5.8	Statistischen Analysen der EKPs für Bedingungs paar 4 in Experiment 2	107
6.1	Experimentelles Design in Experiment 3	121
6.2	Materialerstellung Experiment 3	122
6.3	Wortlängen des kritischen Wortes in Experiment 3	124
6.4	Grundfrequenzanalysen auf dem kritischen Wort in Experiment 3	126
6.5	Statistischen Analysen der EKPs für Bedingungs paar 1 in Experiment 3	129
6.6	Statistischen Analysen der EKPs für Bedingungs paar 2 in Experiment 3	131
6.7	Statistischen Analysen der EKPs für Bedingungs paar 3 in Experiment 3	132
6.8	Statistischen Analysen der EKPs für Bedingungs paar 4 in Experiment 3	134

7.1	Experimentelles Design in Experiment 4	148
7.2	Materialerstellung Experiment 4	148
7.3	Wortlängen des kritischen Wortes in Experiment 4	150
7.4	Grundfrequenzanalysen auf dem kritischen Wort in Experiment 4	152
7.5	Statistische Analysen der EKPs in Experiment 4: Mittelungsepoche I	156
7.6	Statistische Analysen der EKPs in Experiment 4: Mittelungsepoche II	162

Curriculum Vitae

Name:	Korinna Eckstein
Geburtsdatum:	06.März 1979
Ort:	Oelsnitz/V., Deutschland
<i>Schulbildung:</i>	
1985 - 1988	POS Lauterbach
1988 - 1992	EOS Soja-Kosmodenjanskaja
1992 - 1997	Julius-Mosen-Gymnasium Oelsnitz/V.
1997	Abitur
<i>Studium:</i>	
1997 - 2003	Psychologiestudium Universität Leipzig
März 2003	Diplom Psychologie
<i>Stellen:</i>	
1998-1999	Studentische Hilfskraft an der Universität Leipzig, Bereich Methodenlehre
1999-2003	Studentische Hilfskraft am MPI für Kognitions- und Neurowissenschaften in Leipzig (Bereich Neuropsychologie)
April 2003 - Juli 2003	Wissenschaftliche Koordinatorin des Zentrums für Kognitionswissenschaften der Universität Leipzig
seit August 2003	Doktorandin am Max-Planck-Institut für Kognitions- und Neurowissenschaften, Leipzig (Bereich Neuropsychologie)

Dissertationsbezogene bibliographische Daten

Eckstein, Korinna

Interaktion von Syntax und Prosodie beim Sprachverstehen: Untersuchungen anhand ereigniskorrelierter Hirnpotentiale.

Universität Leipzig, Dissertation

227 Seiten, 226 Literaturangaben, 34 Abbildungen, 27 Tabellen

Referat

In einer Serie von vier EEG-Experimenten wurde der kontrovers diskutierte Zeitverlauf der Verarbeitung prosodischer und syntaktischer Informationen beim Sprachverstehen mit Hilfe ereigniskorrelierter Potentiale (EKPs) untersucht. Im Mittelpunkt stand die Frage, *ob* und *wann* Prosodie und Syntax interagieren. Dabei wurden zwei verschiedene Vorgehensweisen gewählt:

(1) Beeinflussen interindividuelle prosodische Verarbeitungsunterschiede syntaktische Verarbeitungsprozesse? In Experiment 1 konnte gezeigt werden, dass in Abhängigkeit von der individuellen prosodischen Beurteilungsleistung die Topografie der mit der initialen syntaktischen Strukturbildung in Verbindung gebrachten ELAN-Komponente moduliert wird.

(2) Um die Frage nach dem Zusammenhang zwischen Prosodie und Syntax auch intraindividuell zu untersuchen, wurden in den Experimenten 2, 3 und 4 die Variablen Syntax und Prosodie innerhalb eines Verletzungsparadigmas systematisch variiert. In Experiment 2 wurde eine in der Literatur bislang nicht berichtete rechts-anteriore Negativierung („RAN“) gefolgt von einer P600 in Reaktion auf verletzte prosodische Erwartungen registriert. Diese Befunde belegen die psychologische Realität einer eigenen prosodischen Repräsentationsebene bei der Sprachverarbeitung. Darüber hinaus fand sich eine Tendenz zu einer Interaktion zwischen prosodischer und syntaktischer Information in einem späten Verarbeitungszeitfenster (P600). In Experiment 3 konnte das zuvor beobachtete biphasische Muster aus RAN gefolgt von P600 für verletzte prosodische Erwartungen auf einer anderen Position im Satz repliziert werden. Darüber hinaus gelang es, die Interaktion zwischen Prosodie und Syntax im Zeitbereich der P600 statistisch abzusichern. In Experiment 4 schließlich konnte anhand einer

Modulation der ELAN-Komponente nachgewiesen werden, dass prosodische Information auch bereits verarbeitungsinitiale Prozesse der syntaktischen Strukturerstellung beeinflussen kann. Bemerkenswert ist dabei, dass Prosodie nach dem derzeitigen Erkenntnisstand die einzige sprachliche Information ist, die noch *vor* der primären syntaktischen Information verarbeitet werden kann.

MPI Series in Human Cognitive and Brain Sciences:

- 1 Anja Hahne
Charakteristika syntaktischer und semantischer Prozesse bei der auditiven Sprachverarbeitung: Evidenz aus ereigniskorrelierten Potentialstudien
- 2 Ricarda Schubotz
Erinnern kurzer Zeitdauern: Behaviorale und neurophysiologische Korrelate einer Arbeitsgedächtnisfunktion
- 3 Volker Bosch
Das Halten von Information im Arbeitsgedächtnis: Dissoziationen langsamer corticaler Potentiale
- 4 Jorge Jovicich
An investigation of the use of Gradient- and Spin-Echo (GRASE) imaging for functional MRI of the human brain
- 5 Rosemary C. Dymond
Spatial Specificity and Temporal Accuracy in Functional Magnetic Resonance Investigations
- 6 Stefan Zysset
Eine experimentalpsychologische Studie zu Gedächtnisabrufprozessen unter Verwendung der funktionellen Magnetresonanztomographie
- 7 Ulrich Hartmann
Ein mechanisches Finite-Elemente-Modell des menschlichen Kopfes
- 8 Bertram Opitz
Funktionelle Neuroanatomie der Verarbeitung einfacher und komplexer akustischer Reize: Integration haemodynamischer und elektrophysiologischer Maße
- 9 Gisela Müller-Plath
Formale Modellierung visueller Suchstrategien mit Anwendungen bei der Lokalisation von Hirnfunktionen und in der Diagnostik von Aufmerksamkeitsstörungen
- 10 Thomas Jacobsen
Characteristics of processing morphological structural and inherent case in language comprehension

- 11 Stefan Kölsch
Brain and Music
A contribution to the investigation of central auditory processing with a new electrophysiological approach
- 12 Stefan Frisch
Verb-Argument-Struktur, Kasus und thematische Interpretation beim Sprachverstehen
- 13 Markus Ullsperger
The role of retrieval inhibition in directed forgetting – an event-related brain potential analysis
- 14 Martin Koch
Measurement of the Self-Diffusion Tensor of Water in the Human Brain
- 15 Axel Hutt
Methoden zur Untersuchung der Dynamik raumzeitlicher Signale
- 16 Frithjof Kruggel
Detektion und Quantifizierung von Hirnaktivität mit der funktionellen Magnetresonanztomographie
- 17 Anja Dove
Lokalisierung an internen Kontrollprozessen beteiligter Hirngebiete mithilfe des Aufgabenwechselfaradigmas und der ereigniskorrelierten funktionellen Magnetresonanztomographie
- 18 Karsten Steinhauer
Hirnphysiologische Korrelate prosodischer Satzverarbeitung bei gesprochener und geschriebener Sprache
- 19 Silke Urban
Verbinformationen im Satzverstehen
- 20 Katja Werheid
Implizites Sequenzlernen bei Morbus Parkinson
- 21 Doreen Nessler
Is it Memory or Illusion? Electrophysiological Characteristics of True and False Recognition
- 22 Christoph Herrmann
Die Bedeutung von 40-Hz-Oszillationen für kognitive Prozesse

- 23 Christian Fiebach
*Working Memory and Syntax during Sentence Processing.
A neurocognitive investigation with event-related brain potentials and
functional magnetic resonance imaging*
- 24 Grit Hein
*Lokalisation von Doppelaufgabendefiziten bei gesunden älteren Personen
und neurologischen Patienten*
- 25 Monica de Filippis
*Die visuelle Verarbeitung unbeachteter Wörter.
Ein elektrophysiologischer Ansatz*
- 26 Ulrich Müller
*Die katecholaminerge Modulation präfrontaler kognitiver Funktionen
beim Menschen*
- 27 Kristina Uhl
Kontrollfunktion des Arbeitsgedächtnisses über interferierende Information
- 28 Ina Bornkessel
*The Argument Dependency Model: A Neurocognitive Approach to Incremental
Interpretation*
- 29 Sonja Lattner
*Neurophysiologische Untersuchungen zur auditorischen Verarbeitung
von Stimminformationen*
- 30 Christin Grünewald
*Die Rolle motorischer Schemata bei der Objektrepräsentation:
Untersuchungen mit funktioneller Magnetresonanztomographie*
- 31 Annett Schirmer
*Emotional Speech Perception: Electrophysiological Insights into the
Processing of Emotional Prosody and Word Valence in Men and Women*
- 32 André J. Szameitat
*Die Funktionalität des lateral-präfrontalen Cortex für die Verarbeitung
von Doppelaufgaben*
- 33 Susanne Wagner
*Verbales Arbeitsgedächtnis und die Verarbeitung ambiger Wörter in Wort-
und Satzkontexten*

- 34 Sophie Manthey
Hirn und Handlung: Untersuchung der Handlungsrepräsentation im ventralen prämotorischen Cortex mit Hilfe der funktionellen Magnet-Resonanztomographie
- 35 Stefan Heim
Towards a Common Neural Network Model of Language Production and Comprehension: fMRI Evidence for the Processing of Phonological and Syntactic Information in Single Words
- 36 Claudia Friedrich
Prosody and spoken word recognition: Behavioral and ERP correlates
- 37 Ulrike Lex
Sprachlateralisierung bei Rechts- und Linkshändern mit funktioneller Magnetresonanztomographie
- 38 Thomas Arnold
Computergestützte Befundung klinischer Elektroenzephalogramme
- 39 Carsten H. Wolters
Influence of Tissue Conductivity Inhomogeneity and Anisotropy on EEG/MEG based Source Localization in the Human Brain
- 40 Ansgar Hantsch
Fisch oder Karpfen? Lexikale Aktivierung von Benennungsalternativen bei der Objektbenennung
- 41 Peggy Bungert
*Zentralnervöse Verarbeitung akustischer Informationen
Signalidentifikation, Signallateralisation und zeitgebundene Informationsverarbeitung bei Patienten mit erworbenen Hirnschädigungen*
- 42 Daniel Senkowski
Neuronal correlates of selective attention: An investigation of electrophysiological brain responses in the EEG and MEG
- 43 Gert Wollny
Analysis of Changes in Temporal Series of Medical Images
- 44 Angelika Wolf
Sprachverstehen mit Cochlea-Implantat: EKP-Studien mit postlingual ertaubten erwachsenen CI-Trägern

- 45 Kirsten G. Volz
Brain correlates of uncertain decisions: Types and degrees of uncertainty
- 46 Hagen Huttner
Magnetresonanztomographische Untersuchungen über die anatomische Variabilität des Frontallappens des menschlichen Großhirns
- 47 Dirk Köster
Morphology and Spoken Word Comprehension: Electrophysiological Investigations of Internal Compound Structure
- 48 Claudia A. Hruska
Einflüsse kontextueller und prosodischer Informationen in der auditorischen Satzverarbeitung: Untersuchungen mit ereigniskorrelierten Hirnpotentialen
- 49 Hannes Ruge
Eine Analyse des raum-zeitlichen Musters neuronaler Aktivierung im Aufgabenwechselparadigma zur Untersuchung handlungssteuernder Prozesse
- 50 Ricarda I. Schubotz
Human premotor cortex: Beyond motor performance
- 51 Clemens von Zerssen
Bewusstes Erinnern und falsches Wiedererkennen: Eine funktionelle MRT Studie neuroanatomischer Gedächtniskorrelate
- 52 Christiane Weber
*Rhythm is gonna get you.
Electrophysiological markers of rhythmic processing in infants with and without risk for Specific Language Impairment (SLI)*
- 53 Marc Schönwiesner
Functional Mapping of Basic Acoustic Parameters in the Human Central Auditory System
- 54 Katja Fiehler
Temporospatial characteristics of error correction
- 55 Britta Stolterfoht
Processing Word Order Variations and Ellipses: The Interplay of Syntax and Information Structure during Sentence Comprehension

- 56 Claudia Danielmeier
Neuronale Grundlagen der Interferenz zwischen Handlung und visueller Wahrnehmung
- 57 Margret Hund-Georgiadis
Die Organisation von Sprache und ihre Reorganisation bei ausgewählten, neurologischen Erkrankungen gemessen mit funktioneller Magnetresonanztomographie – Einflüsse von Händigkeit, Läsion, Performanz und Perfusion
- 58 Jutta L. Mueller
Mechanisms of auditory sentence comprehension in first and second language: An electrophysiological miniature grammar study
- 59 Franziska Biedermann
Auditorische Diskriminationsleistungen nach unilateralen Läsionen im Di- und Telenzephalon
- 60 Shirley-Ann Rüschemeyer
The Processing of Lexical Semantic and Syntactic Information in Spoken Sentences: Neuroimaging and Behavioral Studies of Native and Non-Native Speakers
- 61 Kerstin Leuckefeld
The Development of Argument Processing Mechanisms in German. An Electrophysiological Investigation with School-Aged Children and Adults
- 62 Axel Christian Kühn
Bestimmung der Lateralisierung von Sprachprozessen unter besonderer Berücksichtigung des temporalen Cortex, gemessen mit fMRT
- 63 Ann Pannekamp
Prosodische Informationsverarbeitung bei normalsprachlichem und deviantem Satzmaterial: Untersuchungen mit ereigniskorrelierten Hirnpotentialen
- 64 Jan Derrfuß
Functional specialization in the lateral frontal cortex: The role of the inferior frontal junction in cognitive control
- 65 Andrea Mona Philipp
*The cognitive representation of tasks
Exploring the role of response modalities using the task-switching paradigm*
- 66 Ulrike Toepel
Contrastive Topic and Focus Information in Discourse – Prosodic Realisation and Electrophysiological Brain Correlates

- 67 Karsten Müller
Die Anwendung von Spektral- und Waveletanalyse zur Untersuchung der Dynamik von BOLD-Zeitreihen verschiedener Hirnareale
- 68 Sonja A.Kotz
The role of the basal ganglia in auditory language processing: Evidence from ERP lesion studies and functional neuroimaging
- 69 Sonja Rossi
The role of proficiency in syntactic second language processing: Evidence from event-related brain potentials in German and Italian
- 70 Birte U. Forstmann
Behavioral and neural correlates of endogenous control processes in task switching
- 71 Silke Paulmann
Electrophysiological Evidence on the Processing of Emotional Prosody: Insights from Healthy and Patient Populations
- 72 Matthias L. Schroeter
Enlightening the Brain – Optical Imaging in Cognitive Neuroscience
- 73 Julia Reinholz
Interhemispheric interaction in object- and word-related visual areas
- 74 Evelyn C. Ferstl
The Functional Neuroanatomy of Text Comprehension
- 75 Miriam Gade
Aufgabeneinhibition als Mechanismus der Konfliktreduktion zwischen Aufgabenrepräsentationen
- 76 Juliane Hofmann
Phonological, Morphological, and Semantic Aspects of Grammatical Gender Processing in German
- 77 Petra Augurzky
Attaching Relative Clauses in German – The Role of Implicit and Explicit Prosody in Sentence Processing
- 78 Uta Wolfensteller
Habituelle und arbiträre sensomotorische Verknüpfungen im lateralen prämotorischen Kortex des Menschen

- 79 Päivi Sivonen
Event-related brain activation in speech perception: From sensory to cognitive processes
- 80 Yun Nan
Music phrase structure perception: the neural basis, the effects of acculturation and musical training
- 81 Katrin Schulze
Neural Correlates of Working Memory for Verbal and Tonal Stimuli in Nonmusicians and Musicians With and Without Absolute Pitch