

Copyright



Dieses Werk steht unter einer "Creative Commons Attribution-Noncommercial 3.0 Germany" Lizenz (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/de/>).

Es darf vervielfältigt, verbreitet und öffentlich zugänglich gemacht werden und es dürfen Abwandlungen hergestellt werden unter der Voraussetzung, dass der Name des Autors in der unten festgelegten Weise angegeben wird. Das Werk darf nicht für kommerzielle Zwecke verwendet werden.

Bibliographische Angabe

Bitte folgen Sie dieser Angabe, wenn Sie das Werk zitieren möchten:



This work is licensed under the "Creative Commons Attribution-Noncommercial 3.0 Germany" License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/de/deed.en_GB) You are free to copy, distribute and share this work and make derivative works, but must give the original author credit. You may not use this work for commercial purposes.

Bibliographic Citation

Please cite this work as:

**Prosodische Informationsverarbeitung bei
normalsprachlichem und deviantem
Satzmaterial:
Untersuchungen mit ereigniskorrelierten Hirnpotentialen**

Dissertation

zur Erlangung des akademischen Grades doctor rerum naturalium

(Dr. rer. nat.)

im Fach Psychologie

eingereicht an der

Mathematisch-naturwissenschaftlichen Fakultät II

der Humboldt-Universität zu Berlin

von Diplom-Psychologin Ann Pannekamp

geboren am 24. Mai 1970 in Berlin

Präsident der Humboldt-Universität zu Berlin

Prof. Dr. Jürgen Mlynek

Dekan der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät II

Prof. Dr. Uwe Küchler

Berlin, 18. Oktober 2004

Gutachter/innen: Prof. Dr. Angela D. Friederici

Prof. Dr. Elke van der Meer

Dr. Kai Alter

Tag der mündlichen Prüfung: Berlin, 22. April 2005

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich allen meinen herzlichsten Dank aussprechen, die am Gelingen dieser Arbeit einen Anteil hatten.

Für die großartigen Arbeitsmöglichkeiten und die kontinuierliche Unterstützung danke ich Prof. Angela Friederici. Für Diskussionen, Ideenaustausch, Hinweise und Anregungen sowie die Beantwortung meiner praktischen und theoretischen Fragen danke ich den Kolleginnen und Kollegen des Max Planck Institutes, im besonderen Dr. Anja Hahne, Dr. Kai Alter, Dr. Sonia Kotz, Dr. Thomas Knösche, Dr. Manuela Friedrich, Dr. Christiane Weber und Regine Oberecker.

Für die Bereitschaft zur Begutachtung dieser Arbeit möchte ich mich bei Prof. Angela Friederici, Prof. Elke van der Meer und Dr. Kai Alter bedanken.

Für die Datenerhebung danke ich Sylvia Stasch, Ina Koch, Ulrike Barth und Kristiane Werrmann. Weiterhin gilt mein Dank Frau Lewin für die Beschaffung aller Literaturwünsche. Ebenfalls bedanken möchte ich mich bei meinen Kolleginnen im Lindenhof, insbesondere bei Christina Rügen und Jördis Haselow.

Bei Andrea Gast-Sandmann und Dr. Oliver Lehmann bedanke ich mich für die Unterstützung bei der grafischen Umsetzung dieser Arbeit.

Ein großer Dank gebührt meiner Familie, Brigitte und Bernd Rudnick, für ihre stete Unterstützung in allen Bereichen und ihr festes Vertrauen in mich.

Bedanken möchte ich mich ganz besonders bei meinem Lebensgefährten Dirk Lembke sowie bei meinen Freunden, insbesondere bei Carina Opitz für ihre seelisch-moralische Unterstützung.

Nicht zuletzt gilt mein großer Dank Ulrike Toepel sowohl für ihre fachliche Hilfe als auch ihre mentale Unterstützung in schwierigen Phasen.

Inhaltsverzeichnis

| | |
|---|-----------|
| Zusammenfassung | V |
| 1 Sprachverarbeitung..... | 1 |
| 1.1 Einleitung | 1 |
| 1.2 Psycholinguistische Sprachverarbeitungsmodelle | 1 |
| 1.2.1 Modulare Modelle | 2 |
| 1.2.2 Interaktive Modelle | 3 |
| 1.2.3 Neurokognitives Modell der Satzverarbeitung | 4 |
| 1.3 Prosodie | 6 |
| 1.3.1 Prosodische Eigenschaften von Sprache | 6 |
| 1.3.2 Einfluss der Prosodie auf das Satzverstehen | 9 |
| 2 Neurophysiologische Untersuchungen zur Satzverarbeitung | 15 |
| 2.1 Neurophysiologische Methodik | 15 |
| 2.1.1 Das Elektroenzephalogramm (EEG) | 15 |
| 2.1.2 Die Methode der Ereigniskorrelierten Potentiale (EKP)..... | 16 |
| 2.2 Semantische und syntaktische Informationsverarbeitung | 18 |
| 2.2.1 Semantische Verarbeitungsprozesse | 19 |
| 2.2.2 Syntaktische Verarbeitungsprozesse | 20 |
| 2.3 Prosodische Informationsverarbeitung..... | 24 |
| 2.3.1 Der Closure Positive Shift als Korrelat prosodischer Phrasierung | 24 |
| 2.3.2 Die Universalität des CPS | 27 |
| 2.3.3 Syntax-Prosodie Mismatch..... | 29 |
| 2.3.4 Untersuchungen zur Verarbeitung prosodischer Information mit bildgebenden Verfahren..... | 30 |
| 2.4 Beitrag der Komponenten zu einem neurokognitiven Satzverarbeitungsmodell..... | 31 |
| 3 Neurologische Evidenz zur Sprachverarbeitung | 35 |
| 3.1 Syntaktische und semantische Verarbeitungsprozesse | 35 |
| 3.2 Prosodische Verarbeitungsprozesse..... | 37 |
| 4 Zentrale Fragestellungen | 41 |
| 5 Experiment I: Prosodische Informationsverarbeitung auf Satzebene..... | 45 |
| 5.1 Fragestellungen | 45 |
| 5.2 Akustisches Stimulusmaterial..... | 47 |
| 5.2.1 Stimuluserstellung | 47 |
| 5.2.2 Stimulusmaterial | 47 |
| 5.2.3 Akustische Analysen | 49 |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 5.2.4 | Randomisierung des Stimulusmaterials | 50 |
| 5.3 | Versuchsdurchführung | 51 |
| 5.3.1 | Probanden | 51 |
| 5.3.2 | Verlauf der Versuchssitzung | 51 |
| 5.3.3 | Trialpräsentation und EEG-Aufzeichnung | 52 |
| 5.4 | Ergebnisse | 53 |
| 5.4.1 | Datenaufbereitung | 53 |
| 5.4.2 | EKP-Daten | 54 |
| 5.4.2.1 | Auswertung der EKP-Daten | 54 |
| 5.4.2.2 | Statistische Auswertung | 55 |
| 5.4.3 | Behaviorale Daten | 59 |
| 5.5 | Zusammenfassung und Diskussion | 60 |
| 6 | Experiment II: Prosodische Informationsverarbeitung bei syntaktischem Satzmaterial..... | 63 |
| 6.1 | Fragestellungen | 63 |
| 6.2 | Stimulusmaterial und akustische Analysen | 64 |
| 6.3 | Versuchsdurchführung | 66 |
| 6.4 | Ergebnisse | 66 |
| 6.4.1 | EKP-Daten | 66 |
| 6.4.2 | Behaviorale Daten | 68 |
| 6.5 | Zusammenfassung und Diskussion | 68 |
| 7 | Experiment III: Prosodische Informationsverarbeitung bei pseudoprachlichem Satzmaterial..... | 71 |
| 7.1 | Fragestellungen | 71 |
| 7.2 | Stimulusmaterial und akustische Analysen | 72 |
| 7.3 | Versuchsdurchführung | 74 |
| 7.4 | Ergebnisse | 74 |
| 7.4.1 | EKP-Daten | 74 |
| 7.4.2 | Behaviorale Daten | 75 |
| 7.5 | Zusammenfassung und Diskussion | 76 |
| 8 | Experiment IV: Prosodische Informationsverarbeitung bei gesummtem Material..... | 79 |
| 8.1 | Fragestellungen | 79 |
| 8.2 | Stimulusmaterial und akustische Analysen | 81 |
| 8.3 | Versuchsdurchführung | 83 |
| 8.3.1 | Probanden | 83 |
| 8.3.2 | Trialpräsentation | 83 |
| 8.4 | Ergebnisse | 83 |
| 8.4.1 | EKP-Daten | 83 |

| | | |
|-----------------|---|------------|
| 8.4.2 | Behaviorale Daten | 86 |
| 8.5 | Zusammenfassung und Diskussion | 86 |
| 9 | Experiment V: Prosodische Informationsverarbeitung bei künstlich manipuliertem Material..... | 89 |
| 9.1 | Fragestellungen | 89 |
| 9.2 | Stimulusmaterial und akustische Analysen | 90 |
| 9.3 | Versuchsdurchführung | 91 |
| 9.4 | Ergebnisse | 91 |
| 9.4.1 | EKP-Daten | 91 |
| 9.4.2 | Behaviorale Daten | 94 |
| 9.5 | Zusammenfassung und Diskussion | 95 |
| 10 | Abschließende Diskussion und Ausblick..... | 99 |
| 10.1 | Zusammenfassende Ergebnisse..... | 99 |
| 10.1.1 | Der CPS und die N400/P600-Komponente in normalsprachlichem Stimulusmaterial | 100 |
| 10.1.2 | Der CPS bei syntaktischem Stimulusmaterial | 101 |
| 10.1.3 | Der CPS bei pseudosprachlichem Material | 102 |
| 10.1.4 | Der CPS bei gesummtem Material | 103 |
| 10.1.5 | Die Verarbeitung von künstlich manipuliertem Material..... | 105 |
| 10.2 | Diskussion..... | 106 |
| 10.2.1 | Implikationen für ein neurokognitives Sprachverarbeitungsmodell..... | 109 |
| 10.3 | Ausblick..... | 111 |
| | Literaturverzeichnis..... | 115 |
| | Abbildungsverzeichnis..... | 125 |
| Anhang A | Tabellen der signifikanten Effekte | 127 |
| Anhang B | Stimulusmaterial..... | 131 |

Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit untersucht mit einem EKP-Paradigma die Verarbeitung prosodischer Phrasengrenzen bei normalsprachlichem und deviantem Stimulusmaterial. Ziel ist es, die prosodisch relationierte Komponente Closure Positive Shift (CPS), die das Schließen einer Phrasengrenze reflektiert, weiter zu etablieren. Darüber hinaus soll der Nachweis erbracht werden, dass ausschließlich prosodische Information notwendig zum Hervorrufen dieser Komponente ist.

Zunächst wird ein kurzer Überblick über Aspekte der Sprachverarbeitung gegeben, an den sich die Vorstellung verschiedener psycholinguistischer Sprachverarbeitungsmodelle anschließt. Des Weiteren wird genauer auf die Prosodie als einen Aspekt der Sprachverarbeitung eingegangen.

Im Anschluss daran erfolgen eine kurze Darstellung der verwendeten Methode der EKPs sowie die Beschreibung ausgewählter neurophysiologischer Untersuchungen zur Satzverarbeitung, insbesondere auch zur Verarbeitung prosodischer Information. Der CPS als prosodisch relationierte Komponente wird vorgestellt. Zudem wird neurologische Evidenz zur Sprachverarbeitung dargelegt.

Vor dem theoretischen Hintergrund werden nun die fünf durchgeführten Experimente vorgestellt. Die Experimente untersuchen die Verarbeitung variierender linguistischer Information bis hin zur völligen Tilgung segmentaler Information. In einem ersten Experiment findet normalsprachliches Stimulusmaterial Verwendung. Dieses wird dann derart manipuliert, dass es in einem ersten Schritt keinerlei semantische Information (Experiment II), nachfolgend weder semantische noch syntaktische Information (Experiment III) und in einem letzten Schritt weder semantische und syntaktische noch variierende phonemische Information (Experiment IV) mehr enthält. Für ein fünftes Experiment erfolgt dann noch zusätzlich die künstliche Verzerrung des Stimulusmaterials ohne segmentale Information, um die Abhängigkeit der Komponente von einem natürlichsprachlichen Input zu untersuchen. Das Stimulusmaterial liegt in allen Experimenten in zwei Bedingungen vor, welche eine unterschiedliche Intonationsphrasierung aufweisen.

Die Ergebnisse dokumentieren, dass ein CPS auch in Abwesenheit segmentaler Information in Korrelation zur Verarbeitung von Intonationsphrasengrenzen hervorgerufen wird. Die Komponente reflektiert also die Verarbeitung von Phrasengrenzen im eintreffenden Input unabhängig vom Vorhandensein phonemischer, syntaktischer und/oder semantischer Information. Einen modellierenden Faktor stellt dabei die Art der Manipulation des verwendeten Stimulusmaterials dar.

Im letzten Teil der Arbeit werden die Ergebnisse zusammengefasst und diskutiert, Implikationen für ein neurokognitives Modell der Sprachverarbeitung werden dargelegt. Ein Ausblick auf weitere Fragestellungen bildet den Abschluss.

1 Sprachverarbeitung

1.1 Einleitung

Der Umgang mit Sprache ist ein hochkomplexer Vorgang. Mittels eines abstrakten Symbolsystems ermöglicht es Sprache, dass Individuen miteinander kommunizieren können. Sprachliche Kommunikation dient dem Informationsaustausch sowohl über die real existierende Umwelt als auch über nur mental existierende Zustände. Sprachliche Kommunikation ist also immanenter Bestandteil des Zusammenlebens von menschlichen Individuen, ein selbstverständlicher Teil des Alltagserlebens. Im Selbstverständnis vieler Gesellschaften ist die Tatsache, dass wir Sprache besitzen, zum entscheidenden definierenden Kriterium für den Menschen geworden, welches uns abgrenzt von anderen Lebensformen. Der Erwerb von Sprache und ihr Gebrauch ist also eine spezifische Fähigkeit, über die nur die menschliche Spezies verfügt. Diese Ansicht ist eine der wichtigsten Motivationen für die Beschäftigung mit Sprache.

Sprache kann hauptsächlich unterschieden werden in gesprochene und geschriebene Sprache. Die gesprochene Sprache ist dabei als evolutionär primär anzusehen. Sie entstand im Verlauf der Phylogenese deutlich früher (einige zehntausend Jahre) und ist als natürlichere Form zu betrachten. In der zwischenmenschlichen Kommunikation wird selbst im Zeitalter von zunehmendem virtuellem Austausch (z.B. per E-Mail) um ein Vielfaches häufiger gesprochen als geschrieben. Außerdem steht einem Großteil der menschlichen Spezies die Schriftsprache nicht zur Verfügung. Beiden gemein ist jedoch die Basis, die in einem System der Lautsprache besteht, wobei die jeweilige Form ihrer eigenen Gesetzmäßigkeit unterliegt.

Das folgende Kapitel soll zunächst einen Überblick über die Modellvorstellungen zur Sprachverarbeitung geben und dann genauer auf den Aspekt der Prosodie als einem Parameter von Sprache eingehen.

1.2 Psycholinguistische Sprachverarbeitungsmodelle

Jeden Tag kommunizieren Menschen miteinander, hören gesprochener Sprache zu und verstehen sie. Dabei erfordert die Verarbeitung gesprochener Sprache vom Hörer innerhalb kürzester Zeit das Erkennen, die Aufnahme und Integration von Informationen unterschiedlichster Art. Dies ist keineswegs eine triviale Aufgabe und verlangt eine hohe Effizienz der beteiligten kognitiven Prozesse. Verschiedene Arten von segmentaler Information müssen aus dem eintreffenden Input extrahiert werden. Phoneme und Inhaltswörter sowie die syn-

taktischen Elemente, welche Aufschluss über die grammatischen Relationen, die zwischen den Wörtern bestehen, müssen identifiziert werden. Zusätzlich muss das System suprasegmentale Information erkennen und einordnen, das heißt die Intonationskontur, welche das eintreffende Sprachsignal in verschiedene Konstituenten unterteilt sowie die Akzentuierung der relevanten Wörter. Die beschriebenen Vorgänge dauern dabei jedoch nur wenige Millisekunden an.

Die Art und Weise, auf welche die eingehende Information dekodiert und integriert wird, versuchen verschiedene psycholinguistische Modellansätze zu beschreiben. Dabei herrscht Einigkeit darüber, dass die verschiedensten Prozesse durchlaufen werden müssen. Verschiedene Modellvorstellungen versuchen nun zu erklären, wie die unterschiedlichen Verarbeitungsebenen miteinander interagieren und in welcher zeitlichen Abfolge die Prozesse ablaufen.

Hauptsächlich jedoch können zwei gegensätzliche Modellannahmen gegenüber gestellt werden. Zum einen gehen modulare Modelle von einer seriellen Abfolge einzelner Subprozesse innerhalb des Sprachverarbeitungsprozesses aus. Dem gegenüber postulieren interaktive Modelle einen ständigen Abgleich der eintreffenden Information auf allen Verarbeitungsebenen. Ein drittes Modell, welches die bisherigen Modellannahmen integriert und zusätzlich die Rolle prosodischer Information in den Prozess des Sprachverstehens mit einbezieht, wird von Friederici (2002) postuliert. Die Modelle sollen im Folgenden kurz vorgestellt werden.

1.2.1 Modulare Modelle

Einen Ansatz zur Beschreibung des Verlaufs der Sprachverarbeitung bieten die modularen Modelle (siehe z.B. Frazier & Fodor, 1978; Fodor, 1983; Frazier, 1987). Dabei meint Modularität die relative Abgrenzbarkeit von spezialisierten Verarbeitungsleistungen, das heißt jedes Modul kann nur die für es bestimmten Informationen verarbeiten. Darüber hinaus findet kein wechselseitiger Austausch zwischen den einzelnen Modulen statt. Das bedeutet also, dass verschiedene sprachliche Informationen autonom und separat voneinander verarbeitet werden. Für jeden einzelnen Bereich der Sprache (wie z.B. Syntax, Semantik) steht ein hochspezialisiertes Modul zur Verfügung. Wenn ein Modul die für es relevante Information verarbeitet hat, wird das daraus resultierende Ergebnis zum nächstfolgenden Modul weitergereicht. Die unterschiedlichen Informationsebenen arbeiten demnach bereichsspezifisch, und die Sprachverarbeitung kann als eine Abfolge relativ unabhängiger, autonomer Subprozesse aufgefasst werden. Diese Annahme von zeitlich aufeinander folgenden Abläufen der Verarbeitung von Informationen liegt den meisten modularen Modellen

zugrunde. Man spricht deshalb auch von seriellen Modellen. Modulare Sprachverarbeitungsmodelle gehen also von der Vorstellung aus, dass zumindest die ersten Stufen der Sprachverarbeitung relativ ungestört von anderen kognitiven Leistungen verlaufen.

Modulare Modellansätze postulieren eine initiale phrasenstrukturelle Analyse grundsätzlich als die erste verfügbare Repräsentation. Für diese erste Analyse wird ausschließlich syntaktische Information genutzt, weshalb man auch von struktur-geleiteten Syntax-First-Modellen spricht. Ein einflussreicher Vertreter dieses modularen Modellansatzes ist das zweistufige Gardenpath-Modell von Frazier (1978, 1987). Dieser „syntax-first“ Modellansatz geht davon aus, dass die Satzverarbeitung in zwei voneinander abgrenzbaren Verarbeitungsschritten erfolgt. In einem ersten Schritt wird aufgrund der eingehenden syntaktischen Information eine initiale Struktur des Sprach-Inputs erstellt. Diese initiale Struktur basiert auf bestimmten Ökonomieprinzipien, d.h. es wird die einfachste syntaktische Struktur, die möglich ist, angenommen. Dabei werden Einfachheit und Ökonomie über zwei Verarbeitungsmechanismen, welche dem Parser inhärent sind, gewährleistet: das *Minimal Attachment* Prinzip und das *Late Closure* Prinzip. *Minimal Attachment* besagt, dass für ein neu eintreffendes Wort immer diejenige syntaktische Anbindung bevorzugt wird, die im Strukturbaum zur geringsten Anzahl neuer Knoten führt. Es wird also diejenige Interpretation gewählt, welche die Struktur am wenigsten verkompliziert. *Late Closure* beinhaltet die Aussage, dass der syntaktische Parser die aktuell bearbeitete Konstituente stets so lange wie möglich für die Anbindung weiterer Elemente offen halten soll.

Alle nachfolgende Information wird nach diesen Prinzipien schnell und unkompliziert in die bereits gebildete Phrasenstruktur eingebettet. Erst wenn sich der nachfolgende Input nicht in die gebildete Struktur einfügen lässt und Konflikte bei der Integration entstehen, kommt es zu einer Reanalyse. In diesem zweiten Schritt wird die bisherige Struktur aufgrund weiterer eintreffender Information (z.B. semantischer Art), welche mit der bereits bekannten nicht vereinbar ist, evaluiert und gegebenenfalls korrigiert. Damit kann vereinfacht der Output einer Ebene als der Input der nächst höheren Ebene beschrieben werden. Diese Art der Modellvorstellung wird deshalb auch als „*bottom up*“-Modell bezeichnet.

1.2.2 Interaktive Modelle

Alternativ dazu gehen die so genannten interaktiven Modellvorstellungen im extremsten Fall davon aus, dass alle Arten von Informationen auf jeder Ebene der Sprachverarbeitung (Reizmusteranalyse, Wortzugriff, Syntax, Semantik, Pragmatik) ständig miteinander interagieren und sich wechselseitig permanent

bei der Bildung einer internalen Repräsentation beeinflussen (siehe z.B. Marslen-Wilson & Tyler, 1980; McClelland, St. John & Taraban, 1989). Interaktive Modellvorstellungen basieren auf der Vorstellung von Netzwerkansätzen. Die eintreffende Information wird also nicht „Schritt für Schritt“ abgearbeitet, sondern es findet ein steter gegenseitiger Abgleich (*bottom up* und *top down*) statt. Dabei legen sich die verschiedenen Ebenen gegenseitig ständig Restriktionen (engl.: *constraints*) auf, weshalb neuere Modelle von den Autoren auch als „*Constraint Satisfaction Modelle*“ bezeichnet werden (MacDonald, 1993, 1994). Lexikalisch-semantische und syntaktische Informationen des sprachlichen Inputs gehen gleichermaßen in den Verarbeitungsprozess ein, es existieren keine Prioritäten zwischen den unterschiedlichen Ebenen. Ziel ist es dabei, in konzentrierter Aktion eine auf allen Verarbeitungsebenen konsistente Gesamtrepräsentation zu erstellen.

1.2.3 Neurokognitives Modell der Satzverarbeitung

Da die bisher beschriebenen Modelle auf Daten basieren, welche hauptsächlich aus Lesestudien gewonnen wurden, ignorieren sie jedoch zwingenderweise den Einfluss der Prosodie auf den Prozess der Sprachverarbeitung. Prosodische Information ist jedoch auch immer dann verfügbar, wenn Sätze auditorisch verarbeitet werden. Daher muss auch der Anteil der Prosodie, als ein wichtiger Parameter gesprochener Sprache, am Satzverstehen in ein mögliches Modell einfließen. Bisherige, in der Hauptsache auf behavioralen Daten basierende, Untersuchungen zeigen dazu widersprüchliche Ergebnisse.

Im Folgenden soll ein Modell der Satzverarbeitung von Friederici (2002) vorgestellt werden, welches zum einen versucht, die beiden beschriebenen psycholinguistischen Modellannahmen in einen Zusammenhang zu stellen und sie zu integrieren. Zum anderen findet der Einfluss der Prosodie auf die Sprachverarbeitung Beachtung und wird in die Modellannahme eingebettet.

Friederici schlägt ein neurokognitives Modell des Satzverstehens vor, dessen zeitlicher Ablauf auf elektrophysiologischen Daten und deren neurotopografische Spezifizierung auf bildgebenden Verfahren basieren. Diese Verfahren machen es möglich, den Prozess des Satzverstehens zeitgleich aufzuzeichnen. Damit können bisherige Annahmen untermauert und spezifiziert werden.

Friederici postuliert in ihrem Modell, dass während der Sprachverarbeitung zu verschiedenen Zeitpunkten sowohl autonome als auch interaktive Prozesse zum Tragen kommen. Zunächst muss eine initiale akustische Analyse des eintreffenden sprachlichen Inputs durch das System stattfinden. Der Hörer erhält damit ein akustisches Sprachsignal, aus dem er die Nachricht dekodieren muss. Die weitere Informationsverarbeitung geschieht dann auf zwei gleichzei-

tig und parallel ablaufenden Pfaden, die in einem letzten Schritt aufeinander treffen und miteinander integriert werden. Während ein Pfad die Verarbeitung der eingehenden syntaktischen und semantischen Information verfolgt, beschreibt ein zweiter Pfad den Zugriff auf prosodische Parameter der Sprache.

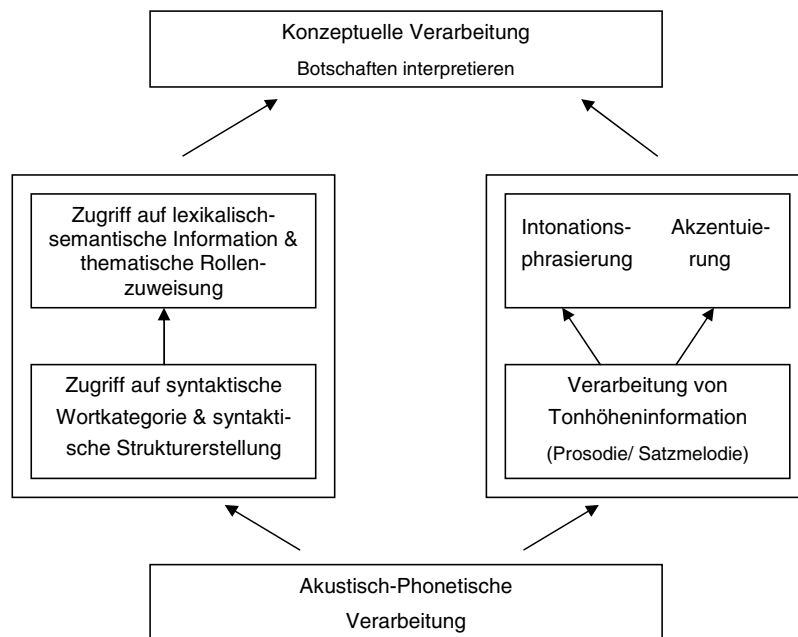


Abb. 1-1 Modell der Sprachverarbeitung, Friederici, 2002

Die Analyse der syntaktischen und semantischen Informationen lässt sich zeitlich in drei Phasen charakterisieren (Friederici, 2002).

Phase 1: (100-300 ms nach Satzbeginn) Die erste Phase beinhaltet das Zeitfenster, in welchem eine initiale syntaktische Struktur des Satzes erstellt wird. Diese Struktur basiert auf dem Zugriff zur Information über die syntaktische Wortkategorie.

Phase 2: (300-500 ms) In dieser Phase wird auf lexikalisch-semantische und morphosyntaktische Information zugegriffen. Dies geschieht mit dem Ziel, eine thematische Rollenzuweisung vorzunehmen.

Phase 3: (500-1.000 ms) Während einer dritten Phase werden nun alle verschiedenen Arten von Informationen integriert und interpretiert, es kommt zur konzeptuellen Verarbeitung des sprachlichen Inputs.

Das beschriebene Modell geht also davon aus, dass in einem frühen Zeitfenster autonom eine initiale syntaktische Struktur gebildet wird. Diese Strukturbildung geht der Verarbeitung semantischer Inhalte voraus. Erst in einem späteren Zeitfenster interagieren die Prozesse der Verarbeitung syntaktischer Struk-

turen und semantischer Inhalte miteinander. Damit postuliert das Modell sowohl autonome Prozesse in einem frühen Zeitfenster als auch sich wechselseitig beeinflussende (interaktive) Prozesse in einem späteren Zeitfenster. Die mit diesen Phasen korrelierten EKP-Komponenten werden unter 2.4 beschrieben.

Neben den syntaktischen und semantischen Komponenten der Sprache spielen auch prosodische Informationen eine wichtige Rolle innerhalb des Satzverstehens. Die Prosodie kann ebenfalls über die syntaktische Struktur einer Äußerung Auskunft geben und zur Disambiguierung beitragen. Das Modell von Friederici beschreibt die Verarbeitung der linguistischen prosodischen Information auf einem zweiten Pfad (siehe auch Friederici & Alter, 2004). In einem ersten Schritt muss das System den Verlauf der Grundfrequenz, also die Tonhöhen-Information, herausfiltern und analysieren. Darauf basierend kann nun der Input in Intonationsphrasen untergliedert und Akzentuierungsmuster können festgestellt werden.

Während des sich anschließenden Prozesses der Interpretation der eingehenden Botschaft treffen beide Pfade aufeinander, lexikalisch-semantische, syntaktische und prosodische Information wird zur abschließenden konzeptuellen Verarbeitung des sprachlichen Inputs integriert und miteinander verknüpft. Das System hat die eingetroffene akustische Information also verarbeitet und interpretiert.

Mit diesen Annahmen vereint der Modellansatz von Friederici sowohl modulare als auch interaktive Vorstellungen der Sprachverarbeitung und integriert zusätzlich die Verarbeitung prosodischer Parameter. Empirische Befunde zu diesem Modell werden zu einem späteren Zeitpunkt genauer ausgeführt.

1.3 Prosodie

1.3.1 Prosodische Eigenschaften von Sprache

Gesprochene Sprache beinhaltet neben syntaktischer, semantischer und phonemischer Information eine bestimmte Intonation und Rhythmisierung, die so genannte Prosodie. Die Intonationskontur eines Satzes wird oft auch metaphorisch als „Satzmelodie“ bezeichnet. In der mündlichen Kommunikation fällt der Prosodie eine wichtige Rolle zu, sie realisiert verschiedene Funktionen und unterliegt eigenen strukturellen Gesetzmäßigkeiten. Die Prosodie einer Äußerung kann Aufschluss darüber geben, ob es sich um einen Aussagesatz, eine Aufforderung oder eine Frage handelt (der Satzmodus) sowie über die zugrunde liegende syntaktische Struktur. Des Weiteren übermittelt die Prosodie auch extralinguistische Informationen, sie gibt zum Beispiel Auskunft über das Geschlecht und das Alter des Sprechenden sowie seine emotionale Befindlichkeit.

Prosodie lässt sich auf zwei Ebenen beschreiben, zum einen auf der akustischen bzw. phonetischen Ebene, zum anderen auf der perzeptuellen. Die phonetische Ebene enthält alle messbaren akustischen Parameter des Sprachsignals, über die Prosodie realisiert wird. Die perzeptuelle Ebene beschreibt die dadurch beim Hörer hervorgerufene Wahrnehmung. Die akustischen Parameter sind vor allem Grundfrequenz (F0), Amplitude und Dauer. Dabei nimmt der Hörer Veränderungen in der Grundfrequenz als Tonhöhenveränderungen wahr. Amplitudenveränderungen werden als Lautstärke- oder Intensitätsveränderung empfunden und Änderungen der Dauer werden als Veränderung von Silben bzw. Segmentlängen oder Pausen interpretiert. Veränderungen in diesen Parametern können also z.B. zur Hervorhebung bestimmter Silben und Worte dienen.

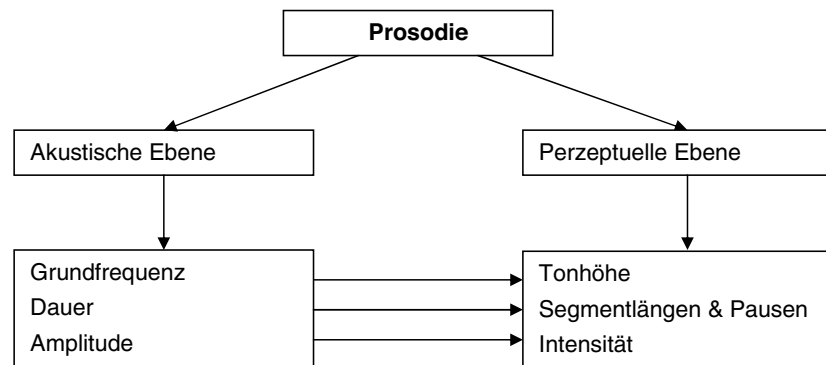


Abb. 1-2 Beschreibung von Prosodie auf akustischer und perzeptueller Ebene

Die prosodische Struktur einer Äußerung hat einen direkten Einfluss auf die Sprachverarbeitung, die Sprachmelodie modifiziert das Verstehen von Sprache und kann damit zur Disambiguierung einer Äußerung beitragen. Dabei muss allerdings die prosodische Struktur nicht unbedingt mit der syntaktischen Struktur übereinstimmen, d.h. die syntaktische Struktur einer Äußerung muss nicht zwingend direkt über akustische Parameter abgebildet werden.

Prosodische Informationen sind nicht unbedingt an einzelne Phoneme gebunden, sondern oft an größere Einheiten oder Domänen. Solche Einheiten wären zum Beispiel Silben, Worte oder ganze Äußerungen. Deshalb werden bestimmte prosodische Domänen und die in ihnen realisierten prosodischen Merkmale als suprasegmental bezeichnet. Verschiedene Autoren haben im Rahmen einer suprasegmentalen Phonologie Modelle für eine hierarchische Organisation dieser Domänen vorgeschlagen (z. B. Selkirk, 1984; Nespor & Vogel, 1986). Die verschiedenen Modelle unterscheiden sich geringfügig darin, welche Einheiten in die Hierarchie aufgenommen werden, nicht jedoch an wel-

cher Stelle innerhalb dieser Hierarchie eine Einheit repräsentiert ist. Ein Beispiel dafür ist das von Selkirk vorgeschlagene Modell (siehe Abb. 1-3).

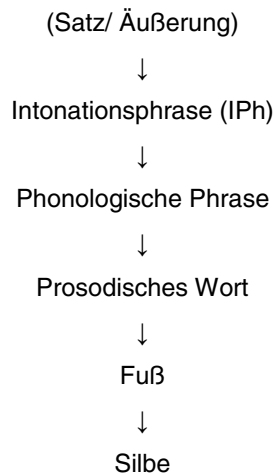


Abb. 1-3 Prosodische Hierarchie nach Selkirk (1984)

Die meisten hierarchisch organisierten Modelle gehen davon aus, dass jede Ebene vollständig von der nächst höheren Ebene dominiert wird (*Strict Layer Hypothesis*, Selkirk, 1984). Das heißt, dass jede Einheit vollständig in Konstituenten der nächstkleineren Einheit aufgeteilt werden kann.

An dieser Stelle soll näher auf die prosodische Einheit der Intonationsphrase (IPh) eingegangen werden, da diese Domäne für die vorliegende Arbeit von großem Interesse ist.

Ein Satz/ eine Äußerung kann demnach aus einer oder mehreren IPhs bestehen. Was sind nun die Kennzeichen einer IPh und (wichtiger für diese Arbeit) wodurch grenzen sie sich voneinander ab? Zunächst kann festgestellt werden, dass IPhs mindestens einen Akzent enthalten müssen. Wie aber wird eine Grenzmarkierung realisiert? Abgrenzungen zwischen IPhs manifestieren sich im Deutschen an deren rechtem Rand über Grenztöne, präfinale Dehnungen und Pauseninsertionen zwischen den einzelnen IPhs.

Durch Bewegungen in der Grundfrequenz, welche in Intonationssprachen wie dem Deutschen oder Englischen einen der wichtigsten Parameter darstellt, können Grenztöne und Akzente erzeugt werden. Eine IPh weist einen Grenzton an ihrer rechtsseitigen Phrasenbegrenzung (Pierrehumbert, 1980) auf. Dieser Grenzton zeigt an, dass eine IPh oder auch ein ganzer Satz beendet ist. Weiterhin ist die letzte Silbe vor Beendigung einer Phrase in der Regel gedehnt. Nach einer IPh kann optional eine Pause folgen, die eine Phrase von der sich anschließenden abgrenzt.

In einer Produktionsstudie von Cooper und Paccia-Cooper (1980) im Englischen sollten untrainierte Sprecher strukturambige Sätze laut vorlesen, die durch ihre prosodische Realisierung disambiguiert werden konnten. Die Auswertung der laut gelesenen Sätze zeigte deutliche Unterschiede im Intonationsverlauf sowie präfinale Segmentdehnungen und Pauseninsertionen vor bzw. an den Phrasengrenzen. Die drei genannten Parameter scheinen also die verlässlichsten Größen zu sein, um unterschiedliche Intonationsmuster zu realisieren.

Der Hörer kann also den eintreffenden sprachlichen Input über die Identifizierung der einzelnen IPhs segmentieren. Auf die Verarbeitung von IPhs und spezifischer von IPh-Grenzen wird in dieser Arbeit noch genauer eingegangen werden.

Prosodische Information kann aber nicht nur akustisch, sondern auch visuell transportiert werden. So verwenden z.B. Gehörlose beim Gebrauch der Gebärdensprache mimische Aspekte, die prosodische Parameter kodieren. Unterschiede zeigen sich u.a. auf Satzebene in der Modus- und Fokuskodierung. Durch eine mimische Modusmarkierung kann eine Aussage von einer Frage abgegrenzt werden. Innerhalb der Markierungen wird noch weiter zwischen einer ja/nein-Frage oder einer Frage mit Fragepronomen differenziert. Während bei einer ja/nein-Frage die Augenbrauen gehoben und der Kopf leicht nach vorn gebeugt wird, wird eine Frage mit Fragepronomen durch zusammengezogene Brauen und eine weitere manuell dargebotene Gebärde (das eigentlich Fragepronomen) symbolisiert. Die Fragemodusmarkierung wird dabei über die gesamte Frage beibehalten. Im Gegensatz dazu wird bei einer Akzentmarkierung nur über dem fokussierten Element der Kopf leicht vorgebeugt und die Augenbrauen gehoben (siehe z.B. Boyes-Braem, 1995).

1.3.2 Einfluss der Prosodie auf das Satzverstehen

Die syntaktische Struktur einer Äußerung steht oft (aber nicht immer) in direktem Zusammenhang mit ihrer prosodischen Realisierung. So fällt z.B. das Ende einer syntaktischen Phrase auch meist mit dem Abschluss einer phonologischen Phrase zusammen. Die Satzprosodie unterstützt im optimalen Fall die Disambiguierung von Äußerungen. Entstehende Interpretationsprobleme, die auf einer Inkongruenz zwischen syntaktischem und prosodischem Input basieren, stellen die Motivation für viele Studien (für einen Überblick siehe Cutler, Dahan und van Donselaar, 1997) dar. Die Ergebnisse legen nahe, dass syntaktische Informationen eine wichtige Rolle bei der Strukturierung des eintreffenden sprachlichen Inputs spielen. Prosodische Information scheint dieses Parsing zu unterstützen, es jedoch nicht zu leiten.

Den großen Einfluss der prosodischen Realisierung einer Äußerung auf das Satzverstehen soll das folgende Beispiel verdeutlichen (# markiert dabei das Ende einer Intonationsphrase):

- (a) Die Vorgesetzte sagt # die Mitarbeiterin sei unhöflich.
- (b) Die Vorgesetzte # sagt die Mitarbeiterin # sei unhöflich.

Beide Sätze sind korrekt intoniert und enthalten identisches Wortmaterial. Das Beispiel illustriert jedoch anschaulich, dass die prosodische Information hier den Aufbau der syntaktischen Struktur und damit die Satzinterpretation entscheidend beeinflusst.

In einer der ersten Studien zum Einfluss prosodischer Information auf die Disambiguierung von Äußerungen untersuchte Lehiste (1973) im amerikanischen Englisch die Produktion ambiger Sätze. Die Probanden sollten ambige Sätze zunächst laut lesen. Im Anschluss daran erhielten sie Informationen bzgl. der ambigen Struktur der Sätze. Sie wurden dann aufgefordert, die Sätze nochmals laut vorzulesen und dabei die unterschiedlichen Bedeutungen zu intonieren. Alle produzierten Sätze wurden anschließend akustisch weiteren Versuchspersonen dargeboten, welche die Satzbedeutungen zu identifizieren hatten. Als ein Ergebnis fand Lehiste einen Zusammenhang zwischen erfolgreich kategorisierten Sätzen und Unterschieden in der prosodischen Phrasierung. So wiesen Satzsequenzen, die Phrasengrenzen beinhalteten, Dehnungen auf. Hinsichtlich anderer prosodischer Parameter unterschieden sich die Bedingungen allerdings nicht systematisch.

In Anlehnung an das Material von Lehiste (1973) führte Warren (1985) eine weitere Studie zur Verarbeitung von Ambiguitäten auf Satzebene durch. Dabei fanden Sätze Verwendung, die strukturelle Ambiguitäten aufwiesen, welche sich mittels Phrasierung disambiguieren ließen. Den Probanden wurden akustisch Satzfragmente dargeboten. Sie hatten dann unter zwei Möglichkeiten diejenige auszuwählen, welche ihrer Meinung nach die korrekte Fortführung und Beendigung des Fragmentes darstellte. Die akustischen Analysen der Satzfragmente zeigten deutliche Unterschiede in Abhängigkeit von der prosodischen Realisierung hinsichtlich der Dauer und Grundfrequenz. Als der entscheidende prosodische Parameter bei der Perzeption stellte sich hier die Dauerstruktur heraus. Insgesamt war aber auch hierbei die Disambiguierung weniger erfolgreich als in Anwesenheit aller Parameter.

In einer weiteren Studie evaluierten Warren, Grabe und Nolan (1995) das Prinzip der Late Closure Präferenz. Dieses Prinzip besagt, dass der Parser die Phrase stets so lange wie möglich für die Einbindung neuer Elemente offen hält. Sie boten ihren Probanden akustisch Satzanfänge dar, die entweder aus

(präferierten) Late Closure oder (nicht präferierten) Early Closure Konstruktionen stammten. Diese Satzfragmente unterschieden sich signifikant in ihren prosodischen Realisierungen, d.h. sowohl die Position der prosodischen Phrasengrenze als auch die Akzentposition differierten zwischen den Bedingungen. Nach der akustischen Darbietung folgte die visuelle Präsentation eines Testwortes. Die Probanden hatten das Wort zu benennen und einzuschätzen, ob es eine mögliche Fortsetzung des Satzes sein könnte. Alle Testwörter waren eine Fortsetzung der nicht präferierten Early Closure Konstruktion. Die Reaktionszeiten der Versuchspersonen bei der Benennung des Testwortes waren bei vorangegangenen kompatiblen Early Closure Konstruktionen signifikant kürzer. Dies belegt einen klaren Einfluss prosodischer Parameter auf Parsingprozesse.

Ein interessanter Aspekt ist der Zeitpunkt, ab welchem prosodische Information Einfluss auf das Sprachverstehen nimmt. Dies scheint zu einem relativ frühen Moment zu geschehen. Eine Arbeit von Beach (1991) zeigt, dass Prosodie (dort verstanden als Grundfrequenz und Dauer) zur Satzinterpretation genutzt wird, bevor disambiguierende syntaktisch-semantische Informationen aufeinander treffen. Zusätzlich variierte Beach die Parameter Grundfrequenz und Dauer systematisch. Beach konnte nachweisen, dass beide Parameter einen Einfluss auf die Identifikation der syntaktischen Struktur eines Satzes besitzen. Auch in Abwesenheit einer der beiden Parameter wird die jeweils verbliebene Information über die Dauer oder über die Grundfrequenz als gemeinsames Perzept wahrgenommen. Diese beiden prosodischen Parameter interagieren demzufolge stark miteinander, scheinbar können sie sich gegenseitig ersetzen. Dieses Phänomen wird auch als *cue trading* bezeichnet. Wichtig im Zusammenhang mit dieser Arbeit ist jedoch vor allem der Einfluss prosodischer Grenzen auf das Satzverständnis. Es wird wiederum gezeigt, dass prosodischen Grenzen genutzt werden, um Wörter in syntaktische Phrasen zu strukturieren (Kennedy, Murray, Jennings & Reid, 1989; Pynte & Prieur, 1996).

Die prosodische Struktur einer Äußerung kann also vom Hörer relativ problemlos erkannt, dekodiert und zur Interpretation genutzt werden. Kann aber auch dann eine prosodische Phrase erkannt werden, wenn der Input aus keiner sinnvollen Äußerung besteht, wie z.B. aus der beliebigen Aneinanderreihung von Silben?

Eine Arbeit von de Rooij (1976) konnte nachweisen, dass Hörer in der Lage sind, prosodische Grenzen auch bei Stimulusmaterial festzustellen, welches aus sinnlos aneinander gereihten Silben bestand. Das Gleiche war dem Hörer möglich, wenn der akustische Input keine reliable semantische Information enthielt, sondern aus spektral gefiltertem Material bestand (de Rooij, 1975). Auch derart manipuliertes Stimulusmaterial, welches keinerlei segmentale Information enthielt, wie z.B. low-pass gefiltertes Material (Kreiman, 1982) oder bei ge-

summten Stimuli (Collier & t'Hart, 1975) konnte vom Hörer hinsichtlich prosodischer Phrasen analysiert werden.

Eine weitere interessante Arbeit zur Variation einzelner prosodischer Parameter bei der Verarbeitung von akustischen Stimuli wurde von Streeter (1978) mit algebraischen Formeln durchgeführt. Dabei wurden die Klammern, die einzelne Elemente innerhalb einer Formel voneinander abgrenzen, als Phrase interpretiert. Sie manipulierte systematisch die Parameter Dauer, Grundfrequenz und Intensität einzeln und in Kombinationen. Den Probanden wurden dann die Formeln akustisch dargeboten, und sie hatten zu entscheiden, an welchen Positionen die einzelnen Elemente mit Klammern voneinander abzutrennen wären. Streeter konnte nachweisen, dass die Parameter Dauer und Grundfrequenz sowohl einzeln als auch in Kombination einen Einfluss auf die Beurteilungen hatten. Die Intensität jedoch spielte nur eine geringe Rolle. Generell aber führte der Ausschluss jedes einzelnen Parameters zu einer insgesamt schlechteren Performanz.

Prosodische Information dient allerdings nicht nur dem besseren Verstehen einer Äußerung, sondern beeinflusst in ganz entscheidendem Maße die Behaltens- und Wiedergabeleistung. So wird in einer klassischen Studie von Epstein (1961) der Nachweis erbracht, dass sinnlose Silben besser erinnert werden, wenn sie mit einer Satzmelodie unterlegt sind und morphosyntaktische Elemente enthalten, gegenüber der Präsentation dieser Silben als Liste. Untermuert werden diese Ergebnisse von einer Untersuchung, die Needleman (1998) durchführte. Dabei wurden Versuchspersonen Sätze dargeboten, welche semantisch und syntaktisch korrekt waren, Sätze mit semantischen Verletzungen sowie Sequenzen von zufällig angeordneten Wörtern. Jede der drei Bedingungen wurde sowohl mit normaler Satzintonation als auch in Listenintonation gesprochen. Die Probanden hatte die Aufgabe, den präsentierten Sätzen zuzuhören und sie anschließend korrekt wiederzugeben. Die Ergebnisse zeigten eine deutlich bessere Wiedergabeleistung bei Stimulusmaterial, welches eine Satzintonation aufwies. Diese Unterschiede konnten über alle Variationen nachgewiesen werden. Die prosodische Kodierung einer Äußerung, unabhängig von ihrem semantischen oder syntaktischen Inhalt, unterstützt also deutlich die Reproduktionsleistung.

Neben explizit dargebotener Prosodie konnten einige Studien aber auch die Nutzung implizit vorhandener Prosodie bei visueller Verarbeitung von Information nachweisen (z.B. Bader, 1994, 1998; Fodor, 1998; Quinn, Abdelghany und Fodor, 2000).

So führte Bader (1994, 1998) Lesestudien durch und konnte den Nachweis erbringen, dass die Schwere eines Gardenpath-Effektes deutlicher zum Tragen

kommt, wenn neben der rein syntaktischen Struktur auch die subvokal aktivierte Struktur einer Reanalyse unterzogen werden muss. Beim Lesen werden also in der Regel auch die phonologischen Wortrepräsentationen des auditorischen Sprachsystems aktiviert (siehe auch Perfetti, 1994; Patterson und Coltheart, 1987).

Fodor (2002) formulierte dazu die *Implicit Prosody Hypothesis*:

“The Implicit Prosody Hypothesis (IPH): In silent reading, a default prosodic contour is projected onto the stimulus, and it may influence syntactic ambiguity resolution. Other things being equal, the parser favors the syntactic analysis associated with the most natural (default) prosodic contour for the construction.” (S. 84)

Das Vorhandensein von Kommata und Satzpunkten bei der Verarbeitung visuell dargebotener Sätze oder Texte beeinflusst ebenfalls nachweisbar die Phrasierung und Pausensetzung des Lesers (O’Connell und Kowal, 1986) und wird zur Disambiguierung von Gardenpath-Sätzen genutzt (Mitchell und Holmes, 1985; Mitchell, 1987).

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass prosodische Information in entscheidendem Maße das Satzverstehen beeinflusst. Dabei wird prosodische Information in der Hauptsache als Tonhöhenveränderung, Intensitätsveränderung und als Veränderung von Silben bzw. Segmentlängen oder Pausen wahrgenommen. Neben expliziter prosodischer Information nutzt der Rezipient auch implizite prosodische Information beim Lesen von Sätzen oder Texten. Prosodische Information dient der Disambiguierung von Äußerungen und führt bereits zu einem sehr frühen Zeitpunkt innerhalb des Verstehensprozesses zu impliziten Annahmen über die Struktur eines Satzes.

Die Verarbeitung prosodischer Parameter lässt sich auch dann nachweisen, wenn der sprachliche Input keine interpretierbare Aussage enthält, wie zum Beispiel bei der Präsentation zufällig aneinander gereihter Silben oder bei gesummtem Material. Jeder prosodische Parameter kann vom Hörer auch einzeln zur Interpretation genutzt werden, allerdings führt das Vorhandensein aller zu einer besseren Performanz. Die Intensität (oder auch Lautstärke) scheint einen geringeren Einfluss auf das Satzverstehen zu haben als die Parameter Dauer und Grundfrequenz. Des Weiteren dient prosodische Information dem besseren Verständnis einer Äußerung und führt zu einer besseren Wiedergabeleistung.

2 Neurophysiologische Untersuchungen zur Satzverarbeitung

2.1 Neurophysiologische Methodik

In zunehmendem Maße kommen in den letzten Jahrzehnten neben den behavioralen Messungen auch Methoden zum Einsatz, die in der Lage sind, im menschlichen Hirn ablaufende Prozesse zeitgleich aufzuzeichnen. Eine dieser Methoden stellt die Methode der Ereigniskorrelierten Potentiale (EKP) dar. Bevor jene EKP-Komponenten diskutiert werden, die für die Sprachverarbeitung relevant sind, soll zunächst kurz die Methode der EKP vorgestellt werden.

2.1.1 Das Elektroenzephalogramm (EEG)

Die Verarbeitung von Sprache ist ein sehr komplexer Vorgang, der innerhalb kürzester Zeit abläuft. Um die Komplexität und Schnelligkeit des Sprachverstehens untersuchen zu können, werden experimentelle Methoden benötigt, die in der Lage sind, kleinste und im Millisekundenbereich erfolgende Veränderungen im Gehirn sofort zum Zeitpunkt des Entstehens aufzuzeichnen (*online*). Ein Online-Verfahren, welches diese Anforderungen erfüllt, stellt das Elektroenzephalogramm und die darauf basierende Methode der Ereigniskorrelierten Potentiale dar. Diese Methode wird in der hier vorliegenden Arbeit verwendet und soll daher im Folgenden ausführlicher dargestellt werden.

Das Elektroenzephalogramm (EEG) misst die spezifischen elektrischen Aktivitäten des Gehirns, die bei der Verarbeitung sensorischer, motorischer und/oder psychischer Reize auftreten und ist damit ein wichtiger methodischer Zugang zur Erforschung der Zusammenhänge zwischen Hirnaktivität und dem Verhalten eines Menschen. Ursprünglich fand diese Methode vor allem im klinischen Bereich Anwendung, um Hirnkrankheiten untersuchen zu können (Birbaumer & Schmidt, 1991). Mittlerweile wird das EEG immer häufiger auch im Bereich der Forschung eingesetzt. Es stellt ein nicht-invasives Verfahren dar und ist somit eine gut geeignete Methode für verschiedene Forschungszwecke.

Zur Ableitung eines EEG werden Elektroden aus Silberlegierung mit einer gut leitenden Paste auf der Kopfoberfläche befestigt. Die Elektrodenpositionierung erfolgt üblicherweise nach dem 10-20-System (nach Jaspers, 1958), welches eine international anerkannte Konvention darstellt. Die Elektrodenbezeichnung orientiert sich dabei an den darunter liegenden Hirnarealen (f = frontal, c = zentral, t = temporal und p = parietal). Die Elektroden stellen die Span-

nungsschwankungen fest, die in der Hauptsache von der Aktivität der Pyramidenzellen des Neokortex verursacht werden.

Der Vorteil elektroenzephalografischer Methoden liegt in der sehr hohen zeitlichen Auflösung. Da die informationsverarbeitenden Prozesse im Hirn sehr schnell ablaufen, teilweise in Millisekunden-Intervallen, ist das EEG, das diese Prozesse online, das heißt zum Zeitpunkt ihres Auftretens misst, also besonders geeignet, eine Aussage über die zeitlichen Abläufe zu treffen. Die Begrenzung dieser Methode besteht darin, dass diese relativ präzise Zeitstruktur mit einer relativ ungenauen örtlichen Auflösung über den anatomischen Ursprung der Spannungsschwankung einhergeht.

2.1.2 Die Methode der Ereigniskorrelierten Potentiale (EKP)

Ereigniskorrelierte Potentiale (EKPs) sind Spannungsschwankungen im EEG, welche die electrophysiologische Antwort des Gehirns auf bestimmte, wiederholt dargebotene Stimuli darstellen. EKPs sind im Vergleich zur Spontanaktivität des Gehirns (ca. 50 – 100 Mikrovolt) mit bis zu 10 Mikrovolt relativ klein.

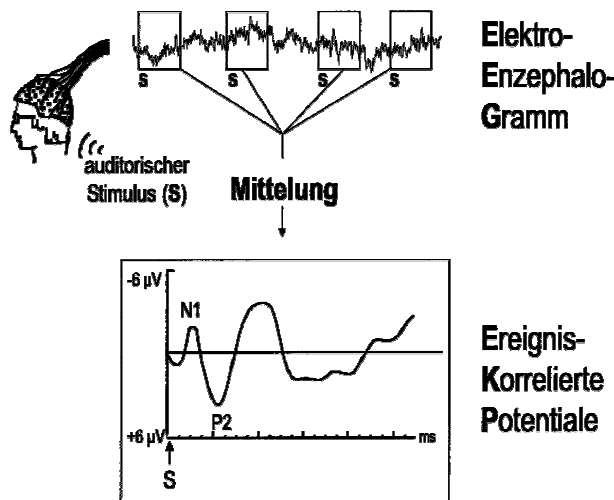


Abb. 2-1 Die Ableitung von Ereigniskorrelierten Potentialen: Die Hirnaktivität wird vom EEG-Signal aufgezeichnet. Durch die Mittelung über Messepochen, welche an eine Stimuluspräsentation (S) gekoppelt sind, hebt sich das EKP von der Hintergrundaktivität ab.

Erst durch Mittelungsprozesse über eine Anzahl von Messepochen im EEG, die jeweils an den identischen oder einen ähnlichen Stimulusbeginn gekoppelt sind, hebt sich das ereigniskorrelierte Potential von der unspezifischen Spontanaktivität des Hirns, dem sogenannten Rauschen, ab. Zufällige Schwankun-

gen, die nicht mit der Verarbeitung des wiederholt dargebotenen Stimulusmaterials in Zusammenhang stehen, sollten sich dabei herausmitteln und verschwinden. Je mehr Messepochen in die Mittelung eingehen, umso rauschfreier und stabiler wird das Signal. Das durch die Mittelung entstandene Signal bildet nun durch die Abfolge von positiven und negativen Potentialänderungen relativ zu einer Baseline die spezifischen Verarbeitungsprozesse ab.

Diese Potentialverlagerungen können aufgrund ihrer Merkmale als Komponenten klassifiziert und anhand bestimmter Parameter beschrieben werden (Donchin, Ritter & McCallum, 1978):

- durch die Richtung der Potentialänderung (positiv oder negativ) im Verhältnis zu einer festgelegten Baseline (eine Messung während einer neutralen Zeitperiode von 100 – 200 ms vor dem eigentlichen Stimulusbeginn),
- durch die Latenz, d.h. wann kann die maximale Amplitude einer Potentialänderung relativ zum Stimulusbeginn beobachtet werden,
- durch die Topografie der Aktivität über die Schädeloberfläche hinweg
- und durch ihre Sensitivität gegenüber der experimentellen Manipulation.

Die Benennung der einzelnen Komponenten richtet sich in der Hauptsache nach ihrer Polarität. Dabei steht der Buchstabe N für eine negative Ausprägung der Komponente, der Buchstabe P für eine positive. Der darauf folgende Zahlenindex beschreibt die Latenz oder die Ordnungszahl der Komponente. Treten unterschiedliche Varianten einer Komponente auf, so werden diese mit kleinen lateinischen Buchstaben gekennzeichnet (beispielsweise P200, P3b).

Weiterhin kann die Benennung einer Komponente auch Aussagen über deren Topographie (z.B. ELAN: Early Left Anterior Negativity) oder die experimentelle Stimulierung bei der sie auftritt (z.B. MMN: Mismatch Negativity) enthalten.

Eine einfache Klassifikation unterteilt die Komponenten des EKP in exogene und endogene Komponenten (z.B. Coles & Rugg, 1995). Exogene Komponenten spiegeln die Verarbeitung basaler physikalischer Parameter des dargebotenen Stimulusmaterials wider. Endogene Komponenten dagegen korrelieren mit einer späteren Stufe der Reizverarbeitung und stehen in Abhängigkeit von Faktoren wie Aufmerksamkeit oder Aufgabenrelevanz.

Diese Form der Unterteilung ist allerdings eine zu starke Vereinfachung, da sich auch ein Großteil der exogenen Komponenten von Faktoren wie Aufmerksamkeit beeinflussen lassen. Andererseits sind auch viele der endogenen Komponenten abhängig von Stimulusattributen wie zum Beispiel der Modalität der Darbietung. So schlagen Coles und Rugg (1995) die Annahme eines Kontinuums vor, auf dem frühe Komponenten in den ersten 100 ms nach Stimulus-

onset als eher exogen anzusehen wären und spätere Komponenten als eher endogen.

Generell können mit einem EKP-Design Stimuli unterschiedlichster Art untersucht werden (z.B. visuelle, akustische). Da aber im Mittelpunkt der vorliegenden Arbeit die Untersuchung einer prosodisch ausgelösten Komponente steht, wurden hier ausschließlich ereigniskorrelierte Potentiale auf akustische Stimuli erhoben.

Dabei wurden die folgenden Elektrodenpositionen gemessen: F7, F3, FZ, F4, F8, FT7, FC3, FC4, FT8, T7, C3, CZ, C4, T8, CP5, CP6, P7, P3, PZ, P4, P8, O1, O2, EOGV, EOGH, A1 und als Erdungselektrode wurde das Sternum verwendet (siehe Abb. 2-2).

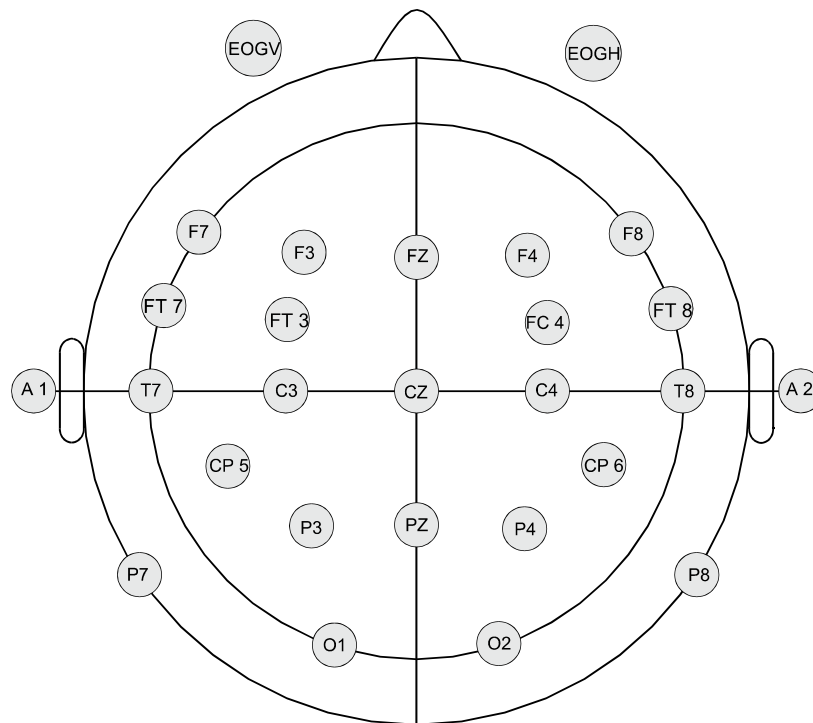


Abb. 2-2 Die gemessenen Elektrodenpositionen

2.2 Semantische und syntaktische Informationsverarbeitung

Im Folgenden sollen EKP-Komponenten beschrieben werden, welche mit der Verarbeitung semantischer und syntaktischer Informationen korreliert sind. Gerade die hohe zeitliche Auflösung bei der Aufzeichnung Ereigniskorrelierter Potentiale kann einen großen Beitrag dazu leisten, Abläufe innerhalb des Sprachverstehensprozesses besser zu beschreiben und zu modifizieren.

2.2.1 Semantische Verarbeitungsprozesse

Eine der ersten Studien zur Untersuchung von Sprachverstehensprozessen unter Verwendung eines experimentellen Designs mit der Methode der EKPs wurde von Kutas und Hillyard (1980b) durchgeführt. Dabei wurden den Probanden visuell Wort für Wort Sätze dargeboten. Die Versuchspersonen erhielten semantisch korrekte Sätze sowie Sätze, bei denen das satzfinale Wort eine semantische Verletzung darstellte. Die folgenden Beispiele sollen dies veranschaulichen:

- Semantisch intakt: *“He spread the warm bread with butter.”*
- Semantisch verletzt: *“He spread the warm bread with socks.”*

Im Vergleich zwischen den beiden Satzbedingungen riefen die jeweils kritischen Wörter der inkongruenten Sätze eine ausgeprägte Negativierung mit einer Latenz von ungefähr 400 ms im EKP-Muster hervor. Diese Negativierung war am stärksten an zentral-posterioren Elektroden ausgeprägt. Kutas und Hillyard konnten damit eine N400 in Korrelation mit der Verarbeitung semantisch inkongruenter Inhalte für die visuelle Domäne nachweisen. In Folgeexperimenten (Kutas & Hillyard, 1980a) konnte gezeigt werden, dass dieser beobachtete N400-Effekt Schwierigkeiten bei der semantischen Integration eines Wortes in den Kontext abbildet. Dabei variiert die Amplitude der Negativierung mit dem Grad der semantischen Verletzung.

Eine N400-Komponente kann ebenfalls auch bei semantisch zwar korrekten, jedoch assoziativ völlig unerwarteten Wörtern auftreten (z.B. Fischler, Bloom, Childers, Arroyo & Perry, 1984; Fischler, Bloom, Childers, Roucos & Perry, 1983). Dabei ist die Amplitude des Potentials umso höher, je niedriger die Auftretenswahrscheinlichkeit des Stimulus im gegebenen Kontext ist und umgekehrt (Kutas, Lindamood & Hillyard, 1984). Damit kann die N400 als ein Effekt nicht nur auf semantisch inkorrekte sondern auch auf unerwartete Wörter beschrieben werden.

Dieser Effekt wird nicht nur auf Satzebene hervorgerufen, sondern kann auch auf Wortebene bei semantisch unrelatierten Wortpaaren gegenüber relatierten Wortpaaren gezeigt werden (Holcomb & Neville, 1990). Ebenfalls nachweisen lässt sich ein N400-Effekt in einer kontextuellen Einbettung (z.B. Federmayer & Kutas, 1998; Hagoort, Hald, Petersson, Bastiaansen & van Berkum, 2003; Van Petten, 1995). Eine weitere determinierende Komponente für die Ausprägung der N400 ist in der relativen Häufigkeit des untersuchten Wortes in der entsprechenden Sprache zu sehen. Generell ist die Amplitude bei niederfrequenten Wörtern stärker ausgeprägt als bei hochfrequenten (Van Petten & Kutas, 1987).

Prinzipiell kann also jedes Wort einen N400-Effekt auslösen, abhängig davon, ob es unerwartet auftritt oder eine Verletzungsbedingung im Kontext darstellt.

Die Auslösung dieser Komponente scheint aber generell an die semantische Verarbeitung sprachlicher Stimuli gebunden. Bei einer Verarbeitung von Wörtern, die aufgrund rein physikalischer Kriterien unerwartet sind, lässt sich dieser Effekt nicht finden. So boten Chwilla, Brown und Hagoort (1995) ihren Probanden visuell Wörter dar, die auf ihre Buchstabengröße hin zu beurteilen waren. Ein N400-Effekt ließ sich dabei nicht feststellen.

Die N400-Komponente wird jedoch nicht nur für die visuelle Domäne, sondern ebenfalls für die auditorische Domäne berichtet. In einer Studie von Holcomb und Neville (1991) wurden Probanden korrekte Sätze und Sätze, die semantische Verletzungen aufwiesen, akustisch dargeboten. Auch hier ließ sich ein N400-Effekt zeigen. Dieser Effekt hatte an den posterioren Elektroden seine stärkste Ausprägung. Im Unterschied zur visuell evozierten N400 zeigte die Komponente in der auditorischen Domäne eine um etwa 100 ms verkürzte Latenz und eine größere zeitliche Ausdehnung. Auch Friederici, Pfeifer und Hahne (1993) berichten eine Latenzverschiebung und eine verlängerte Dauer der N400 für die auditorische Domäne. Dies wird im Allgemeinen auf den ebenfalls zeitlich ausgedehnteren akustischen Input zurückgeführt. Außerdem können die Dauer und der jeweilige Zeitpunkt der Worterkennung sehr unterschiedlich sein und zu einem *Jitter* (einer Verschmierung der Komponente) im EKP führen. Wenn die akustisch präsentierten Wörter jedoch eine kurze und relativ invariable Dauer haben, zeigt sich auch hier eine scharf umrissene N400 (Mäkelä, Mäkinen, Nikkilä, Ilmoniemi & Tiitinen, 2001).

Die N400-Komponente stellt also einen stabilen Effekt bei der Verarbeitung von semantisch-lexikalischen Abweichungen im Vergleich zu korrekten Bedingungen dar. Allerdings zeigte eine Studie von Besson, Kutas & Van Petten (1992), dass die wiederholte Präsentation derselben semantisch fehlerhaften Sätze zu einer Reduktion der N400-Amplitude und schließlich nach der dritten Präsentation zur völligen Eliminierung der N400 führte.

Zusammenfassend lässt sich die N400 als stabile Komponente beschreiben, welche bei der Verarbeitung lexikalisch-semantischer Abweichungen oder Verletzungen gegenüber einer korrekten Bedingung auftritt. Sie tritt sowohl auf Wort-, Satz- als auch Textebene auf und lässt sich in der visuellen und in der auditorischen Modalität nachweisen.

2.2.2 Syntaktische Verarbeitungsprozesse

Neben semantischen Verletzungen führen auch syntaktische Verletzungen zu bestimmten Komponenten im EKP. Im Gegensatz zu der „typischen“ N400

bei der Verarbeitung von Verletzungen semantischer Art, kann eine solche einheitliche Komponente für syntaktische Verletzungen nicht berichtet werden. Bisher ließen sich in einer Reihe von Studien mehrere deutlich verschiedene Korrelate in unterschiedlichen Zeitfenstern bei der Verarbeitung syntaktischer Anomalien nachweisen. In einem frühen Zeitfenster wird eine meist links-anteriore Negativierung um 150 – 180 ms (ELAN = *Early Left Anterior Negativity*) oder eine links-anteriore Negativierung zwischen 300 – 400 ms (LAN = *Left Anterior Negativity*) berichtet. Eine weitere syntaktische Komponente stellt die P600 dar, eine spätere posteriore Positivierung mit einer Latenz von etwa 600ms. Ein möglicher Erklärungsansatz für die Differenzen zwischen den Komponenten könnte in der Art des syntaktischen Fehlers begründet liegen. Scheinbar lösen verschiedene syntaktische Verletzungen auch verschiedene syntaktisch relatierte EKP-Komponenten aus.

So wird eine frühe Negativierung für Phrasenstruktur-Verletzungen z.B. von Neville, Nicol, Brass, Forster und Garrett (1991) für die visuelle Modalität und von Friederici, Pfeifer und Hahne (1993) für die auditorische Modalität berichtet.

Eine links-anteriore Negativierung mit einer Latenz von 300 – 400 ms wird für eine Vielzahl syntaktischer Verletzungen nachgewiesen, so zum Beispiel bei Wortkategorisierungsfehlern (Münste, Heinze und Mangun, 1993) oder bei Verletzungen der Subkategorisierungseigenschaften von Verben (Rösler, Friederici, Pütz und Hahne, 1993).

Die Latenz der frühen Negativierungen bei syntaktischen Verletzungen variiert relativ stark. Generell scheint die Latenz dieser frühen Negativierungen aber bei auditiver Stimuluspräsentation gegenüber visueller Reizdarbietung kürzer zu sein.

Eine weitere syntaktisch relatierte Komponente, die (auch in einigen der zuvor genannten Studien) der frühen Negativierung folgt, ist eine Positivierung mit Latenzen zwischen 500 und 1.000 ms (P600) und meist zentro-parietalem Maximum. Diese Positivierung konnte sowohl in visueller als auch in auditorischer Modalität nachgewiesen werden.

So führten Friederici, Hahne und Mecklinger (1996) ein Experiment mit Phrasenstrukturverletzungen durch. Diese wurden erzeugt, indem nach einer Präposition ein Partizip folgte, statt eines erforderlichen Nomens. Die konstruierten Sätze wurden den Probanden dann sowohl visuell als auch akustisch dargeboten. In beiden Fällen wurde nach einem Interstimulusintervall von 800 ms ein Einzelwort präsentiert. Die Versuchsteilnehmer hatten zu entscheiden, ob dieses Wort in dem zuvor dargebotenen Satz enthalten war oder nicht (Wort-Wiedererkennungsparadigma). In Korrelation mit der Verarbeitung des Strukturphrasenfehlers konnte in beiden Modalitäten eine links-anteriore Negativie-

rung, gefolgt von einer späteren Positivierung, festgestellt werden. Abweichungen zwischen den beiden Bedingungen gab es nur in der zeitlichen Dimension, nicht jedoch in der Abfolge der Komponenten. Insbesondere die frühe links-anteriore Negativierung scheint bei akustischer Stimuluspräsentation eine geringere Latenz gegenüber visueller Darbietung zu haben. Dies hängt jedoch (wie auch bereits bei semantischen Verletzungen in der akustischen und visuellen Domäne) vom Zeitpunkt der Worterkennung ab, der in den beiden Modalitäten unterschiedlich ist.

Weiterhin konnte diese syntax-relatierte Komponente unter anderem auch bei Kongruenzverletzungen (Friederici et al., 1993), bei Verletzungen der Verbargumentstruktur (Friederici und Frisch, 2000) und bei Kasusverletzungen (Friederici et al., 2000) gezeigt werden.

Die P600-Komponente lässt sich also im Zusammenhang mit der Verarbeitung syntaktischer Strukturen nachweisen. Ist diese syntaktische Verarbeitung aber zwingend an einen semantisch sinnvollen Input gebunden? Vor dem Hintergrund dieser Frage führten Hahne und Jescheniak (2001) eine Studie mit Stimulusmaterial durch, welches keinen sinnvollen semantischen Gehalt besaß. Sie untersuchten mit einem EKP-Design die Verarbeitung syntaktischer Strukturverletzungen auf Satzebene. Dazu verwendeten sie reguläres Satzmaterial und Sätze, bei denen alle Inhaltswörter durch Pseudowörter ersetzt wurden (sogenannte Jabberwocky-Sätze). Die Sätze wurden akustisch dargeboten. Sowohl in der Bedingung mit regulärem Satzmaterial als auch bei Jabberwocky-Sätzen verursachten syntaktische Strukturverletzungen eine frühe anteriore Negativierung (ELAN) und eine darauf folgende P600. Dieses Ergebnis führte zu dem Schluss, dass die Verarbeitung dieser syntaktischen Verletzungen unabhängig von dem Vorhandensein lexikalisch-semantischer Information ist. Die syntaktische Struktur eines Satzes wurde also relativ unabhängig vom semantischen Input verarbeitet.

Auslöser für einen P600-Effekt scheinen aber nicht nur syntaktische Verletzungen zu sein. Ein P600-Effekt zeigt sich auch bei Satzmaterial, welches gegen initiale Verarbeitungspräferenzen verstößt (sogenannte Gardenpath-Sätze). Eine P600-Komponente ließ sich auch hier in der visuellen Modalität (z.B. Osterhout und Holcomb, 1992; Mecklinger, Schriefers, Steinhauer und Friederici, 1995; Friederici, Steinhauer, Mecklinger und Meyer, 1998) und der auditorischen Modalität (z.B. Osterhout und Holcomb, 1993) nachweisen. Im Unterschied zu syntaktischen Verletzungen zeigte sich jedoch bei der Verarbeitung nicht-präferierter Satzstrukturen keine frühe Negativierung.

Motiviert von der Frage nach der Abfolge und den Interaktionen zwischen den Komponenten wurden verschiedene Studien durchgeführt. Diese Studien

untersuchten die Verarbeitung von Stimulusmaterial, welches sowohl semantische als auch syntaktische Verletzungen aufwies, um genauer zwischen den Komponenten differenzieren zu können.

So untersuchten Gunter, Stowe und Mulder (1997) die Interaktionen zwischen semantischen und syntaktischen Verletzungen im Holländischen. Sie konstruierten vier unterschiedliche Satzbedingungen: korrekte Sätze, Sätze mit syntaktischen Anomalien, Sätze mit semantischen Verletzungen und Satzmaterial, welches sowohl semantische als auch syntaktische Verletzungen aufwies. Diese Sätze wurden den Probanden visuell Wort für Wort dargeboten. Erwartungsgemäß führte die semantische Verletzungsbedingung gegenüber der korrekten Bedingung zu einer Negativierung mit einem Maximum bei 440 ms (N400). Bei der kombinierten semantisch-syntaktischen Verletzungsbedingung folgte dieser Negativierung ein positiver Shift (P600). In der syntaktischen Verletzungsbedingung konnte nur eine späte Positivierung gezeigt werden. Die Autoren interpretieren ihre Daten dahingehend, dass die beiden beschriebenen Komponenten relativ unabhängige Verarbeitungsprozesse reflektieren, schließen jedoch geringe Interaktionen nicht aus.

Die Stärke der Ausprägung syntaktischer und semantischer Komponenten steht dabei in einem engen Zusammenhang mit der Aufgabe, welche die Probanden während der Satzdarbietung leisten müssen. Dies konnte von Hahne und Friederici (2002) nachgewiesen werden. Sie führten zwei Experimente durch, bei denen die Probanden korrekte, semantisch inkorrekte, syntaktisch inkorrekte oder semantisch und syntaktisch inkorrekte Sätze hörten.

In einem ersten Experiment erhielten die Versuchspersonen die Instruktion, die generelle Korrektheit der Sätze zu beurteilen. Bei diesem Experiment verursachten Sätze mit semantischer Verletzung eine N400 und Sätze, welche eine syntaktische Strukturverletzung beinhalteten, eine frühe anteriore Negativierung gefolgt von einer P600. Sätze, welche sowohl semantisch inkorrekt waren, als auch syntaktische Strukturverletzungen aufwiesen, zeigten das gleiche EKP-Muster wie eine alleinige syntaktische Verletzung, d.h. trotz semantischer Inkorrektheit trat kein N400-Muster auf.

In einem zweiten Experiment hatten die Probanden nun zu entscheiden, ob die Sätze semantisch korrekt waren, und sie erhielten zusätzlich die Anweisung, syntaktische Strukturverletzungen zu ignorieren. Dabei fand das gleiche Satzmaterial Verwendung wie im ersten Experiment. Auch hier ließ sich eine frühe anteriore Negativierung bei Sätzen mit syntaktischer Strukturverletzung feststellen. Jedoch verursachten in diesem Experiment Sätze, welche semantisch inkorrekt waren und syntaktische Strukturverletzungen beinhalteten, sowohl eine frühe anteriore Negativierung als auch ein N400-Muster. Diese Er-

gebnisse von Hahne & Friederici (2002) zeigten zum einen die Unabhängigkeit früher initialer Parsing-Prozesse von der verwendeten Aufgabenstellung. Zum anderen wiesen sie damit nach, dass die N400, die mit den semantischen Prozessen bei der Satzverarbeitung in Zusammenhang gebracht wird, kontrollierte Prozesse widerspiegelt und stark von der Aufgabenstellung beeinflusst wird.

Sowohl semantische als auch syntaktische Verletzungen führen also zu bestimmten Komponenten im EKP. Modellierende Faktoren bei deren Ausprägung sind dann zum Beispiel in der Art der Verletzung, der Häufigkeit der Darbietung, der Aufgabenstellung und der Modalität, in der ein Stimulus präsentiert wird, zu sehen.

2.3 Prosodische Informationsverarbeitung

Neben phonemischer, semantischer und syntaktischer Information bietet gesprochene Sprache im Unterschied zu einem geschriebenen Text zusätzlich prosodische Information zur Interpretation einer Aussage an. Frühere psycholinguistische Forschung ließ diesen Aspekt lange Zeit unberücksichtigt. Der Grund dafür lag in der leichteren Kontrollierbarkeit des experimentellen Designs bei visuell dargebotenem Stimulusmaterial, Faktoren wie Wortlängenvariabilität und Variationen in Tonhöhe und Amplitude konnten bei visueller Textdarbietung ausgeschlossen werden. Allerdings ist prosodische Information fester und wichtiger Bestandteil der mündlichen Kommunikation. Erst die zunehmend differenzierten Methoden der Hirnforschung haben in der letzten Zeit diesen bisher noch weitgehend unberücksichtigten Aspekt der Sprachverarbeitung in den Mittelpunkt des Interesses rücken lassen. Die Möglichkeit, bestimmte Verarbeitungsprozesse online zum Zeitpunkt des Geschehens aufzuzeichnen und andererseits die zunehmend besseren Methoden, akustische Stimuli zu erstellen und auszuwerten, führen zu immer genaueren Ergebnissen bei der Erforschung von den im menschlichen Gehirn ablaufenden Prozessen bei der Prosodieverarbeitung. Im Folgenden soll ein kurzer Überblick über die neueren Ergebnisse bei der Verarbeitung prosodischer Information gegeben werden.

2.3.1 Der Closure Positive Shift als Korrelat prosodischer Phrasierung

Eine der ersten EKP-Untersuchungen zur Verarbeitung größerer prosodischer Einheiten auf Satzebene wurde von Steinhauer, Alter und Friederici (1999) durchgeführt. So untersuchten Steinhauer et al. (1999) die Verarbeitung akustisch dargebotener Sätze mit unterschiedlicher prosodischer Realisierung mithilfe eines EKP-Designs.

Die Sätze unterschieden sich in zwei Bedingungen, wie die folgenden Beispiele zeigen:

- (a) [Peter verspricht Anna zu arbeiten]_{IPh1} [und das Büro zu putzen.]_{IPh2}
- (b) [Peter verspricht]_{IPh1} [Anna zu entlasten]_{IPh2} [und das Büro zu putzen.]_{IPh3}

Wie in Beispiel (a) dargestellt, ist das Wort „Anna“ Objekt des ersten Verbs „verspricht“. Im Unterschied dazu ist „Anna“ in Beispiel (b) Objekt des zweiten transitiven Verbs „entlasten“. Die korrekte prosodische Realisierung dieser beiden Satzbeispiele führt nun zu unterschiedlichen Betonungsmustern. Während also Satzbedingung (a) nur eine Intonationsphrasengrenze enthält und damit aus zwei Intonationsphrasen besteht, beinhaltet die zweite Bedingung (b) zwei Intonationsphrasengrenzen und setzt sich so aus drei Intonationsphrasen zusammen. Analog dieses Beispiels konstruierten Steinhauer et al. 48 Satzpaare pro Bedingung. Um ausschließen zu können, dass Effekte auf die vom Probanden zu leistende Aufgabenstellung zurückzuführen sind und um die Robustheit der Effekte zu prüfen, wurden mit identischem Stimulusmaterial zwei Experimente mit unterschiedlichen Aufgabenstellungen durchgeführt. Während des ersten Experimentes hatten die Versuchsteilnehmer lediglich in 20% der Sätze einfache Verständnisfragen zu beantworten. Diese Anforderung war relativ leicht zu erfüllen und schien der natürlichen Satzverarbeitung am ehesten zu entsprechen. In einem zweiten Experiment sollten die Probanden zusätzlich zu dieser Verständnisaufgabe nach jedem Satz dessen prosodische Wohlgeformtheit beurteilen.

Die Auswertung der EKPs zeigte signifikant unterschiedliche Muster in den beiden Bedingungen (a) und (b). Die Satzbedingung mit einer IPh-Grenze (intransitiv) zeigte eine Positivierung in Korrelation zu dieser IPh-Grenze, während die Bedingung mit zwei IPh-Grenzen (transitiv) zwei positive Muster aufwies. Diese Positivierung zeigte eine zentro-parietale Verteilung. Damit konnte ein Korrelat der prosodischen Segmentierung sprachlichen Inputs beim Hörer nachgewiesen werden. Diese Positivierung in Korrelation zur Verarbeitung von Intonationsphrasengrenzen wurde Closure Positive Shift (CPS) benannt, da sie das Schließen (*Closure*) einer Intonationsphrase reflektiert. Bei dem Vergleich der Experimente hinsichtlich der unterschiedlichen Aufgabenstellungen ließ sich kein Unterschied feststellen. Dieser Effekt scheint daher ein stabiler Befund zu sein, da die Art des Aufgabentyps keinen Einfluss auf die gefundenen Komponenten hatte.

Da jedoch beide Bedingungen signifikant unterschiedlich lange Pauseninsertionen zwischen den IPhs aufwiesen, stellte sich die Frage, ob die gefundene Komponente durch die Pausen hervorgerufen wurde. Satzfinale Wörter, die üb-

licherweise auch von einer längeren Pause gefolgt werden, lösen ebenfalls eine Positivierung im EKP aus (Van Petten & Kutas, 1991). Die Darbietung dieser Stimuli erfolgte allerdings visuell und die beschriebene Positivierung wurde als P300-artige Komponente im Vergleich zu den anderen dargebotenen Wörtern interpretiert. Um dieses Argument trotzdem zu entkräften und die CPS-Komponente als EKP-Korrelat der prosodischen Segmentierung zu manifestieren, führten Steinhauer et al. (1999) ein weiteres Experiment durch. Die Pausen wurden dabei mittels einer Schnitt-Technik derart entfernt, dass alle weiteren Parameter, die der Hörer zur Interpretation von Intonationsphrasengrenzen nutzt (wie z.B. Längung oder Grenzöne), nicht verändert waren. Die gefundene Positivierung an der (manipulierten) Intonationsphrasengrenze konnte analog zu der im ursprünglichen Stimulusmaterial nachgewiesen werden. Dies kann als Beleg angesehen werden, dass der CPS als eine EKP-Komponente zur Segmentierung des sprachlichen Inputs interpretiert werden kann und nicht durch eine Pauseninsertion ausgelöst wird.

Leuckefeld, Hahne und Alter (2003) führten eine EKP-Untersuchung zur Verarbeitung prosodischer Information an Kindern im Schulalter durch. Auch hier erfolgte die akustische Darbietung von Sätzen mit unterschiedlichen Intonationsmustern. Leuckefeld et al. konnten bereits bei Kindern im Alter von 8 bis 10 Jahren einen CPS in Korrelation zu IPh-Grenzen nachweisen. Dies kann als Beleg dafür angesehen werden, dass prosodische Information bereits sehr früh zur Segmentierung des eintreffenden sprachlichen Inputs genutzt wird.

Ein weiterer interessanter Aspekt, der auch im Mittelpunkt dieser Arbeit steht, betrifft die Abhängigkeit des CPS von der Art des akustischen Inputs. Ausgehend von der Tatsache, dass diese Komponente durch die Verarbeitung von Intonationsphrasengrenzen in einem sprachlichen Input ausgelöst wird, könnte auch ein adäquater musikalischer Stimulus als Auslöser fungieren.

Mit dieser Hypothese befassten sich Knösche, Neuhaus, Haueisen, Alter, Friederici und Witte (in press) in ihrem Experiment und führten EKP-Untersuchungen mit melodischem Stimulusmaterial durch. Sie präsentierten Musikern verschiedene, ihnen unbekannte Melodien. Diese kurzen Melodien enthielten die Parameter, über welche Selkirk (1984) eine IPh-Grenze für sprachliches Satzmaterial definiert. An der rechten Seite der musikalischen Sequenzen befand sich eine längere, hohe Note vor einer darauf folgenden Pause. Diese Parameter konnten in Beziehung gesetzt werden zu einer präfinalen Dehnung und einem hohen Grenzton und der anschließenden Pause, die eine IPh-Grenze in sprachlichem Material kennzeichnet. Im Kontrast dazu wurde eine zweite Bedingung erzeugt, in welcher die Pause aus der Melodie entfernt wurde durch ein zusätzliches Einfügen einer Note in diese Pause. Die Ergebnisse zeigten eine Positivierung im EKP für die nicht manipulierte Bedingung in

Korrelation zur „musikalischen“ IPh-Grenze. Dagegen konnte in der manipulierten Bedingung, welche keine Pause mehr enthielt, diese Positivierung nicht nachgewiesen werden. Die ähnliche Verteilung der Komponente wie in den von Steinhauer et al. (1999) berichteten Daten und das beobachtete Zeitfenster legen den Schluss nahe, dass auch die bei der Verarbeitung von musikalischen Strukturen beobachtete Komponente ähnlich dem CPS ist. Die Autoren interpretieren ihre Daten dahingehend, dass auch in melodischem Stimulusmaterial der CPS die Phrasierung des eintreffenden Inputs widerspiegelt.

2.3.2 Die Universalität des CPS

Interessanterweise ist die Verarbeitung von prosodischer Information, wie intuitiv angenommen, jedoch nicht ausschließlich an die akustische Darbietung gebunden. Viele Menschen können eine Art „innere Stimme“ hören (Chafe, 1988), während sie beispielsweise still einen Text lesen (siehe auch 1.3.2). Das geschriebene Wort aktiviert dabei die damit korrespondierende phonologische Repräsentation und wird als phonologische Rekodierung bezeichnet. Betonungsmuster werden wie beim Hören also auch beim stillen Lesen aktiviert. Damit wird auch beim Lesen der eintreffende Input strukturiert und segmentiert und führt zur subvokalen Aktivierung phonologischer Phrasierung.

Wenn der CPS also eine Komponente darstellt, welche die Verarbeitung prosodischer Phrasierung abbildet, sollte sie auch im Zusammenhang mit der Präsentation visueller Stimuli nachweisbar sein.

Diese Hypothese untersuchten Steinhauer und Friederici (2001). In ihrer Studie sollte der Nachweis erbracht werden, ob einerseits Kommata, welche beim Lesen die Aufgabe prosodischer Strukturierung übernehmen, ebenfalls einen CPS auslösen. Zum anderen wurde der Frage nachgegangen, ob beim stillen Lesen durch subvokale prosodische Phrasierung auch ohne Kommainformation ein CPS hervorgerufen wird.

Dazu wurden den Probanden in einer ersten Reihe von EKP-Experimenten korrekte Sätze in zwei unterschiedlichen Bedingungen dargeboten. Verwendung fand das Satzmaterial, welches Steinhauer et al. (1999) bereits für die auditorische Domäne akustisch dargeboten hatte. Dabei wies eine Kondition (intransitive Bedingung) eine Intonationsphasengrenze auf, während die andere Kondition zwei IPh-Grenzen beinhaltete (transitive Bedingung). Beide Bedingungen sowie weitere Kontrollbedingungen (mit korrekter und falscher Kommaintegration bei Aufzählungen) wurden in randomisierter Reihenfolge visuell auf einem Bildschirm dargeboten. Die IPh-Grenzen in den Experimentalbedingungen waren durch eine Kommainformation dargestellt. Die EKP-Daten konnten eine kleinamplitudige CPS-ähnliche Positivierung sowohl in den Experimental-

bedingungen als auch in den Füllersätzen jeweils in Korrelation zu den dargebotenen Kommata belegen. Diese Positivierung hatte eine vergleichbare zentro-parietale Verteilung wie der CPS in der auditorischen Domäne. Sowohl eine akustische als auch eine visuelle Phrasenmarkierung scheinen also eine qualitativ vergleichbare hirnpfysiologische Reaktion hervorzurufen. Die Autoren vermuten, dass sich die gegenüber der akustischen Darbietung geringere Amplitude des CPS bei der visuellen Repräsentation vermutlich über die beim Lesen generell nur partiell aktivierte phonologische Kodierung erklären lässt.

Die zweite Frage, die Steinhauer & Friederici (2001) mit ihren Experimenten klären wollten, betraf die Notwendigkeit visueller Auslöser (Kommata) zur subvokalen prosodischen Phrasierung. Sie entwickelten ein Untersuchungsdesign, welches es ermöglichte, dieser Frage nachzugehen. Zunächst wurden die Sätze in beiden Bedingungen (transitiv und intransitiv) einer Filterungstechnik (PURR; Sonntag & Portele, 1998) zur Delexikalisierung unterzogen. Bei dieser Filterungstechnik wurden zunächst die Grundperiodenmarken bestimmt und durch ein überlagertes Sinussignal ersetzt. Zusätzlich wurde der Frequenzbereich oberhalb der dritten Harmonischen getilgt. Dabei bleibt die globale Intonationskontur des Originals erhalten. Das so gefilterte Material enthält nur noch die Parameter der Grundfrequenz und der Intensität (Amplitude). Die zeitliche Struktur des Signals bleibt ebenfalls weitestgehend unbeeinflusst. Die segmentalen Eigenschaften des Stimmsignals, wie phonemische, semantische und syntaktische Information, können nicht mehr wahrgenommen werden. Das so entstandene Stimulusmaterial erlaubte nun zwar die Erkennung von Rhythmus und Intonationskontur, nicht jedoch das Erkennen der Wortinformation.

Den Probanden wurde dann zunächst die delexikalisierte Satzmelodie eines Satztypes akustisch präsentiert. Anschließend erfolgte die Darbietung eines Satzes wortweise und ohne Satzzeichen auf einem Bildschirm. Die Versuchspersonen sollten den Satz still lesen. Sie erhielten die Instruktion, beim Lesen die zuvor gehörte Satzmelodie subvokal zu reproduzieren. Im Anschluss daran hatten sie zu entscheiden, ob der gelesene Satz sich gut mit der zuvor gehörten Satzmelodie lesen ließ oder nicht. Die Daten für die Lese-phase zeigten eine ähnliche Positivierung an der Stelle des erwarteten Kommas wie im früheren Leseexperiment mit Komma-Darbietung. Dieser Effekt setzte jedoch etwas früher ein und dauerte länger an, allerdings auch nicht so lange wie bei einer akustischen Darbietung.

Ein zweites interessantes Ergebnis zeigte die Auswertung der EKPs bei der Verarbeitung des delexikalisierten Stimulusmaterials. Hier hatten die Autoren ebenfalls einen CPS in Korrelation zu den Intonationsphrasengrenzen vermutet. Jedoch zeigte sich dieser Effekt nur in einem frühen Zeitfenster. Der CPS, welcher in einem späteren Zeitfenster erwartet wurde, konnte nicht nachgewiesen

werden. Generell zeigte sich insbesondere an den frontalen und zentralen Elektroden ein starker negativer Shift über die gesamte Darbietungszeit. Für das Ausbleiben der zweiten Positivierung führen die Autoren zwei mögliche Erklärungen an. Einerseits könnte die Filterungstechnik Einfluss auf die Grenzmarkierung gehabt haben. Dies würde voraussetzen, dass die erste Grenzmarkierung deutlich stärker ausgeprägt wäre. Eine alternative Erklärung könnte sein, dass die Auslösung des CPS stärker als bisher angenommen von der aufmerksamen Verarbeitung der Phrasengrenze abhängt. Bei der verwendeten Aufgabenstellung könnte es sein, dass die Probanden nur auf die für sie relevante erste Phrasengrenze fokussieren und dem späteren Verlauf der Stimulusdarbietung keine größere Aufmerksamkeit mehr entgegen bringen.

Bereits die implizite Darbietung prosodischer Information durch Kommata oder vorherige Präsentation einer Satzmelodie ist also ausreichend zum Auslösen dieser prosodie-sensitiven Komponente. Auch beim stillen Lesen führt die subvokale prosodische Phrasierung zum Auftreten eines CPS.

2.3.3 Syntax-Prosodie Mismatch

Wie groß ist nun aber der Einfluss der prosodischen Realisierung einer Äußerung auf den Verstehensprozess? Wie bereits ausgeführt (siehe 1.3.2) steht die syntaktische Struktur einer Äußerung oft, jedoch nicht immer, in direktem Zusammenhang zu ihrer prosodischen Realisierung. Die Prosodie eines Satzes dient im optimalen Fall der Disambiguierung und unterstützt den Verstehensprozess. So fällt oftmals das Ende einer majoren syntaktischen Phrase mit dem Ende einer Intonationsphrase zusammen. Was aber geschieht, wenn sich Syntax und Satzprosodie widersprechen, d.h. wenn ein Satz inkorrekt intoniert wird und den Hörer zu einer falschen Interpretation des Gehörten verleitet?

Auch dieser Frage des Einflusses prosodischer Parameter auf den Verstehensprozess gingen Steinhauer et al. (1999) mit ihrem Untersuchungsdesign nach. Zusätzlich zu den schon beschriebenen Bedingungen (a) und (b) konstruierten sie eine dritte Bedingung (c) durch das Zusammenschneiden (*spliced*) der beiden Bedingungen derart, dass es zu einer Inkongruenz zwischen der syntaktischen und der prosodischen Struktur kam. Das folgende Beispiel (c) soll dies illustrieren (# markiert dabei die Position, an der Bedingung (a) an Bedingung (b) geschnitten wurde):

(c) [Peter verspricht]_{IPh1} [Anna # zu arbeiten]_{IPh2} [und das Büro zu putzen.]_{IPh3}

Auch die so entstandenen Sätze wurden den Probanden akustisch präsentiert. Die Studie konnte den Nachweis erbringen, dass ein nicht adäquates Satz-Intonationsmuster ein biphasisches N400-P600 Muster im EKP hervorruft. Die

N400 Komponente spiegelt dabei wahrscheinlich den nochmaligen lexikalischen Zugriff auf den Verbeintrag wider, die beobachtete P600 scheint die Korrektur der nicht kompatiblen initialen Satzanalyse zu reflektieren (Friederici, 1995). Interessanterweise aber konnte in diesem Experiment durch eine ausschließlich akustische Manipulation des Stimulusmaterials dieses Muster gezeigt werden. Bisherige Studien konnten diesen Reanalyseprozess nur bei lexikalisch-semanticen Manipulationen nachweisen. Zusätzlich zu dem beobachteten Muster, welches für eine Korrektur des Verstehensprozesses spricht, konnte auch hier ein CPS an der (nicht adäquaten) Intonationsphrasengrenze beobachtet werden.

Die Prosodie eines Satzes beeinflusst also ebenfalls in hohem Maße den Verstehensprozess. Stimmen syntaktische und prosodische Information nicht überein, zeigen sich im EKP Komponenten, welche mit einer Korrektur des Analyseprozesses durch den Hörer einhergehen.

2.3.4 Untersuchungen zur Verarbeitung prosodischer Information mit bildgebenden Verfahren

Neben den beschriebenen Untersuchungen, welche ein EKP-Design verwendeten, wurden eine Reihe von Studien durchgeführt, welche die Lokalisierung der prosodischen Informationsverarbeitung genauer betrachteten. Da die Methode des EKP zwar eine hohe zeitliche Auflösung der Effekte gestattet (siehe auch ausführlicher unter 2), gleichzeitig nur aber eine geringe Genauigkeit hinsichtlich der Topographie bietet, sollen an dieser Stelle Arbeiten berichtet werden, die mit der Methode der funktionellen Magnet-Resonanz-Tomographie (fMRT) oder der Methode der Positronen-Emissions-Tomographie (PET) durchgeführt wurden.

Eine Studie von Meyer, Alter, Friederici, Lohmann und von Cramon (2002) hatte das Ziel, die beteiligten neuronalen Areale festzustellen, die bei der Verarbeitung prosodischer Information auf Satzebene aktiviert sind. Das verwendete Stimulusmaterial enthielt zum einen Satzmaterial, welches in Anlehnung an die von Steinhauer et al. (1999) verwendeten Stimuli entwickelt worden war. Dieses Satzmaterial enthielt phonemische, syntaktische, semantische und prosodische Information. Eine zweite „syntaktische“ Bedingung wurde konstruiert, indem alle Inhaltswörter durch phonotaktisch legale Pseudowörter ersetzt wurden. Eine dritte Bedingung beinhaltete künstlich delexikalisiertes Material, welches mittels einer Filtertechnik (PURR; Sonntag & Portele, 1998) hergestellt wurde. Den Probanden stand damit nur noch die globale Intonationskontur des Originals zur Interpretation zur Verfügung. Diese drei Bedingungen (normales,

syntaktisches und delexikalisiertes Material) wurden den Probanden in einem fMRT-Experiment akustisch dargeboten.

Meyer et al. (2002) konnten die unterschiedliche Beteiligung der frontalen und temporalen Kortexareale in Abhängigkeit vom Vorhandensein oder Nicht-Vorhandensein linguistischer Information nachweisen. Die Verarbeitung semantischer und syntaktischer Information involvierte vorrangig anteriore und posteriore Bereiche der superior-temporalen Region der linken Hemisphäre. Im Gegensatz dazu zeigte sich bei der Verarbeitung ausschließlich prosodischer Information in der Kondition mit delexikalisiertem Material eine stärkere Aktivierung in der superior-temporalen Region der rechten Hemisphäre. Außerdem führten beide Bedingungen mit deviantem Stimulusmaterial (Pseudosätze und delexikalisiertes Material) zu signifikanten bilateralen Aktivierungen in den fronto-opercularen Arealen. Generell konnten die Autoren eine stärkere Aktivierung der rechten Hirnhälfte gegenüber der linken feststellen, wenn Sprachmelodie verarbeitet wurde.

Diese Ergebnisse zur Lateralisierung bei der Verarbeitung intonatorischer Information sind konsistent mit anderen Studien, welche mit gesunden Probanden und Probanden mit Hirnläsionen durchgeführt wurden. So untersuchten Zatorre, Evans, Meyer und Gjedde (1992) die Verarbeitung von Wechseln in der Tonhöhe. Sie verwendeten dazu die Methode der Positronen-Emissions-Tomographie (PET). Es zeigten sich Aktivierungen im rechten präfrontalen Kortex während Wechsel in der Tonhöhe von den Versuchspersonen wahrgenommen wurden.

Auch beim passiven Hören von Tönen konnte eine stärkere Aktivierung der rechten Hemisphäre in der superior-temporalen Region nachgewiesen werden (Tzourio, Massiou, Crivello, Joliot, Renault & Mazoyer, 1997).

Generell scheint die Verarbeitung von Tonhöheninformationen in Abwesenheit zusätzlicher linguistischer Information wie syntaktischer und/oder semantischer Information eher in der rechten Hemisphäre lateralisiert zu sein (z.B. Baum & Pell, 1999; Johnsrude, Penhune & Zatorre, 2000; Zatorre & Belin, 2001).

2.4 Beitrag der Komponenten zu einem neurokognitiven Satzverarbeitungsmodell

Welchen Beitrag aber können die beschriebenen Komponenten leisten, um die Abläufe bei der Satzverarbeitung besser zu verstehen und zwischen Teilprozessen differenzieren zu können?

Wie unter 1.2.3 genauer beschrieben postuliert Friederici (2002) ein neurokognitives Modell der Satzverarbeitung. Dieses basiert auf der Annahme, dass

frühe Prozesse relativ automatisch und unbeeinflusst von der späteren Verarbeitung ablaufen und erst im weiteren Verlauf die Teilprozesse miteinander interagieren. Anhand der beschriebenen Komponenten lässt sich der zeitliche Ablauf des Satzverarbeitungsprozesses genauer differenzieren.

In der ersten Phase des Verarbeitungsprozesses wird eine initiale syntaktische Struktur erstellt. Diese Struktur basiert auf den Wortkategorien und stellt die einfachste mögliche Phrasenstruktur dar. Außer dieser Kategorieinformation wird zu diesem Zeitpunkt noch keine weitere Information verarbeitet. Verletzungen in dieser frühen Phase (wie zum Beispiel inkompatible Wortkategorien) führen zu einer frühen links-anterioren Negativierung im EKP (ELAN). Diese Negativierung scheint relativ autonom auf syntaktische Verletzungen zu reagieren, sie ist nicht abhängig von der auszuführenden Aufgabenstellung und auch nicht durch direkte Instruktionen beeinflussbar. Das unterstützt die Annahme einer schnellen automatischen Strukturbildung, die unbeeinflusst von anderen Informationen geschieht.

Nachdem eine initiale Phrasenstruktur erstellt ist, wird in der zweiten Phase weitere lexikalische und semantische Wortinformation verarbeitet und in die gebildete Struktur eingefügt. Lässt sich der Input nicht in die gebildete Struktur einpassen, kommt es zu Problemen bei der Integration. Diese problematischen Integrationsprozesse spiegeln sich dabei in der N400-Komponente mit einer zentro-parietalen Verteilung wider.

In der letzten Verarbeitungsphase versucht das Analysesystem, die Informationen aus der ersten und zweiten Phase miteinander zu verknüpfen und sie zu integrieren. Bei einer Inkompatibilität dieser beiden Informationen wird eine erneute Reanalyse durchgeführt. Dies ist zum Beispiel bei Gardenpath-Sätzen möglich, wo eine Korrektur der initial gebildeten Phrasenstruktur zu einer korrekten strukturellen Analyse des Satzes führen kann. In Fällen, in denen eine Reanalyse nicht möglich ist, versucht das Verarbeitungssystem eine Korrektur (z.B. durch Uminterpretieren oder Ergänzen von fehlenden Elementen) des Satzes vorzunehmen. Diese erneuten Reanalysen oder Korrekturprozesse spiegeln eine späte Positivierung wider (P600). Diese dritte Phase wird allerdings durch verschiedenste weitere Merkmale des Satzes (z.B. seine Komplexität), durch die Vorkommenshäufigkeit falscher Sätze insgesamt oder auch durch die Aufgabenstellung (z.B. die Fokussierung auf bestimmte Aspekte semantischer oder syntaktischer Art) beeinflusst.

Das Modell von Friederici beschreibt die Verarbeitung prosodischer Information relativ unbeeinflusst von semantischer und syntaktischer Satzverarbeitung auf einem zweiten Pfad, der parallel abläuft. Der CPS als Komponente der Verarbeitung größerer prosodischer Einheiten liefert bisher noch keine genaueren

Ergebnisse über die zeitliche Abfolge und eventuelle Interaktionen mit semantischer und syntaktischer Informationsverarbeitung. Bisherige Ergebnisse zeigen jedoch, dass eine inkompatible Satzprosodie ebenfalls zu Reanalyse-Prozessen führt, wie das Auslösen eines N400-P600-Musters bei einem Syntax-Prosodie-Mismatch anschaulich illustriert (Steinhauer et al., 1999). Die schwache Ausprägung eines frühen CPS bei delexikalisiertem Material (Steinhauer und Friederici, 2001) könnte ein Indiz dafür sein, dass prosodische Information auch ohne erkennbare Wortinformation verarbeitet werden kann. Dagegen spricht allerdings das Fehlen des zweiten erwarteten CPS.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass bisherige EKP-Studien einen Beitrag zum Verständnis des Ablaufs von Sprachverarbeitungsprozessen leisten konnten. Neben der genauen Beschreibung der Interaktion von segmentaler (semantischer und syntaktischer) Information und prosodischer Information, die noch zu leisten ist, gilt es die Komponente des CPS als Korrelat prosodischer Informationsverarbeitung genauer zu spezifizieren.

3 Neurologische Evidenz zur Sprachverarbeitung

Neben den bisher dargestellten Untersuchungen zur Verarbeitung von Sprache bei gesunden Probanden liefert auch die klinische Forschung an Patienten mit Aphasien Evidenzen für ein neurokognitiv motiviertes Modell der Sprachverarbeitung. In Hinblick auf die Fragestellung dieser Arbeit soll neben der Verarbeitung syntaktischer und semantischer Information insbesondere die Verarbeitung von linguistischer Prosodie an dieser Stelle genauer beschrieben werden.

3.1 Syntaktische und semantische Verarbeitungsprozesse

Untersuchungen von Patienten mit Hirnläsionen zur Bestimmung eines Zusammenhanges zwischen genauer lokalisierten Hirnarealen und bestimmten geistigen Fähigkeiten wurden bereits im 19. Jahrhundert durchgeführt.

Als erster erbrachte der französische Anatom und Anthropologe Paul Broca (1861) den Nachweis, dass die Einschränkung einer bestimmten geistigen Fähigkeit mit der Läsion eines Hirnareals in Zusammenhang steht. Brocas Patient litt unter einer extremen Sprachstörung und war in seiner Sprachproduktion auf eine einzige Silbe beschränkt. Nach dem Tode des Patienten führte Broca eine Autopsie durch und konnte zeigen, dass dessen Sprachstörung durch eine Läsion im anterioren Teil der linken Hemisphäre verursacht war. Broca selbst wies diesem Hirnareal die motorische Sprachfunktion zu. Patienten mit Broca-Aphasie zeigen meist eine erhebliche Verlangsamung der Sprachproduktion unter großer Sprechanstrengung und erheblichen Sprechstörungen. Ihre Sprache ist üblicherweise von kurzen, syntaktisch stark vereinfachten Äußerungen gekennzeichnet und besteht oftmals aus einer Aneinanderreihung von wenigen, meist Inhaltswörtern. Diese Art des Sprachverhaltens wird auch als Agrammatismus bezeichnet (Pick, 1913). Die Kommunikationsfähigkeit von Patienten mit Broca-Aphasie ist in der Regel stark eingeschränkt (Caplan & Hildebrandt, 1988; Caramazza & Zurif, 1976; Kerschensteiner, Poeck, Huber, Stachowiak & Weniger, 1978).

1874 stellte dann der deutsche Neurologe Carl Wernicke seine Forschung an Patienten vor, die sich alle durch Störungen im Sprachverstehen auszeichneten. Sie alle hatten Läsionen im superior-temporalen Teil der linken Hemisphäre. Patienten mit Wernicke-Aphasie zeigen typischerweise eine flüssige Spontansprache, die aber meist unverständlich ist. Sie produzieren phonematische und semantische Paraphasien, die vielfach so entfernt vom Zielwort sind, dass es nicht mehr zu erkennen ist. Äußerungen von Patienten mit Wernicke-Aphasie sind in der Regel oft paragrammatisch, das heißt sie zeigen Wortstel-

lungsfehler, Satzabbrüche, Satzverschränkungen und fehlerhafte Verwendung von Funktionswörtern und Flexionsmorphemen (Huber, Stachowiak, Poeck & Kerschensteiner, 1975). Zudem ist das Sprachverständnis dieser Patienten erheblich eingeschränkt.

Wernicke unterschied daraufhin Hirnareale der sensorischen und der motorischen Sprachproduktion. Der ersten Temporalwindung im hinteren Teil der linken Hemisphäre, welche er identifiziert hatte, wies er die sensorische Sprachfunktion zu. Dem von Broca beschriebenen Areal im vorderen Teil der linken Hemisphäre ordnete er die motorische Sprachfunktion zu.

Die Theorie der Lokalisation des motorischen Sprachzentrums im Broca-Areal (links-anterior) und des sensorischen Sprachzentrums im Wernicke-Areal (links-posterior) galt über Jahrzehnte und ist auch heute noch in einigen Lehrbüchern zu finden.

Neue Methoden in der heutigen Forschung haben allerdings auch in diesem Bereich spezifischere Aussagen möglich gemacht und lassen eine Modifikation des Modells zu. Dabei scheint es, dass es weniger um die generelle Produktion und die Perzeption von Sprache geht, sondern genauer um die Verarbeitung einzelner Komponenten von Sprache, wie syntaktische, semantische und prosodische Informationen.

Erste psycholinguistische Untersuchungen an Patienten mit Broca-Aphasie beschrieben die Defizite der Probanden als globale Störungen bei der Verarbeitung syntaktischer Strukturen (Berndt & Caramazza, 1980; Caramazza & Zuriff, 1976). Dieser Ansatz postuliert demnach ein generelles syntaktisches Defizit, Patienten mit Broca-Aphasie fehlt die Kompetenz, das benötigte syntaktische Wissen ist nicht vorhanden. Diese These des generellen Verlustes der Fähigkeit, syntaktische Informationen zu verarbeiten, kann allerdings die intraindividuelle Variabilität in den syntaktischen Leistungen aphasischer Patienten nicht erklären.

Neuere Studien dagegen beschreiben das Defizit als ein Problem der Performanz. Die Patienten besitzen zwar das notwendige syntaktische Wissen, allerdings ist die Fähigkeit, darauf zurückzugreifen eingeschränkt (Friederici, 1985; Haarman & Kolk, 1991).

Ein ähnlicher Paradigmenwechsel ist auch bei der Beschreibung der Wernicke-Aphasie zu beobachten. Auch dort wird zunehmend die These der generellen Kompetenzstörung von einer Theorie der Performanzstörung abgelöst. Frühere Studien beschrieben die Wernicke-Aphasie als ein durch die Beeinträchtigung oder Schädigung des Lexikons hervorgerufenes Defizit (Whitehouse, Caramazza & Zurif, 1978). Dagegen vermuten neuere Studien, dass Patienten mit Wernicke-Aphasie unfähig sind, kontrollierte lexikalisch-semantische Prozesse

auszuführen, während jedoch die Ausführung automatischer lexikalisch-semanticischer Prozesse nicht beeinträchtigt ist (Hagoort, 1993; Milberg & Blumstein, 1981).

Die generelle Ansicht in den achtziger Jahren bestand also in der Annahme, dass sich die Broca-Aphasie am besten über eine syntaktische Schädigung charakterisieren lässt, während die Wernicke-Aphasie durch eine lexikalisch-semanticische Schädigung beschreibbar ist. Interessanterweise deuten Untersuchungen mit neuen Techniken, welche die Hirnläsionen genauer analysieren, an, dass Patienten mit temporalen Läsionen, die üblicherweise mit einer Wernicke-Aphasie in Verbindung gebracht werden, ebenfalls Probleme bei der Verarbeitung komplexer syntaktischer Satzstrukturen haben, wenn die Läsion auch den anterioren Bereich des superioren temporalen Gyrus (STG) betrifft (Dronkers, Wilkins, Van Valin, Redfern & Jaegers, 1994). Dies unterstützt die Vermutung, dass syntaktische Verarbeitungsprozesse sowohl den anterioren Teil des STG als auch die inferiore frontale Region der linken Hemisphäre (LH) involvieren. Unter Berücksichtigung semanticischer Verarbeitungsprozesse erscheint die bisherige Evidenz recht gering. Es konnte klar nachgewiesen werden, dass semantiche Defizite bei Patienten mit Läsionen in links-temporalen Regionen bestehen, aber semantiche Defizite bei Patienten mit Broca-Aphasie werden nur in einigen wenigen Studien berichtet (Hagoort, 1993; Swaab, Brown & Hagoort, 1995, 1998).

Basierend auf den bisher berichteten Befunden lässt sich generell nur aussagen, dass eine klare Dominanz der linken Gehirnhälfte bei der syntaktischen und semanticchen Verarbeitung von Sprache zu erkennen ist.

3.2 Prosodische Verarbeitungsprozesse

Die bisherige klinische Forschung hat die rechte Hirnhälfte mit der Verarbeitung von Emotionen und damit zusammenhängend mit der Verarbeitung affektiver prosodischer Information in Zusammenhang gebracht. Zur Verarbeitung linguistischer prosodischer Information dagegen existieren bisher nur einige wenige Studien mit Patienten. Die Ergebnisse zur Lateralisierung bei der Verarbeitung prosodischer Information sind dabei weniger eindeutig gegenüber der syntaktischen und semanticchen Informationsverarbeitung.

Diese Uneinheitlichkeit der Befunde kann mehrere mögliche Ursachen haben. Zum einen kann die Verarbeitung prosodischer Information von den Interaktionen zwischen den verschiedenen prosodischen Domänen, wie Silben, Wörter, Phrasen oder Sätze, sowie von den prosodischen Parametern, wie Wortbetonung und Satzaccent, beeinflusst werden. Ein weiterer Einflussfaktor besteht in der Art der Manipulation des Stimulusmaterials, welches zum Bei-

spiel künstlich gefiltert oder verschiedenen Verzerrungsprozeduren unterzogen sein kann. Ebenso kann eine Manipulation in phonemischen Verletzungen bestehen. Und natürlich kann auch die experimentelle Methodik einen Einfluss auf die Verarbeitung eines Stimulus nehmen.

So führten Weintraub, Mesulam und Kramer (1981) eine Untersuchung mit Patienten durch, welche rechtshemisphärische (RH) Hirnläsionen hatten. Die Versuchspersonen hatten unter anderem die Aufgabe, Einzelwörter aufgrund der Wortbetonung zu diskriminieren und identische Sätze, die sich nur hinsichtlich ihrer Intonationskontur unterschieden, miteinander zu vergleichen. Weitere experimentelle Aufgaben bestanden in der Wiederholung von Frage- oder Aussagesätzen sowie der Produktion von Antwortsätzen, deren Intonationskontur von der zuvor gestellten Frage abhing. Im Gegensatz zur Kontrollgruppe schnitten die Versuchspersonen mit einer rechtsseitigen Läsion sowohl bei den Diskriminierungsaufgaben als auch bei Reproduktions- und Produktionsaufgaben signifikant schlechter ab.

Auch Untersuchungen von Brádvik, Dravins, Holtas, Rosen, Ryding und Ingvar (1991) an RH-Patienten konnten bestätigen, dass die rechte Hemisphäre eine große Rolle bei der Verarbeitung linguistischer Prosodie spielt.

Jedoch konnte Bryan (1989) mit Untersuchungen an RH-Patienten und LH-Patienten nachweisen, dass beide Patientengruppen im Gegensatz zur gesunden Kontrollgruppe Defizite bei der Verarbeitung von linguistischer Satzprosodie aufwiesen. Auch hier hatten die Versuchspersonen unter anderem Sätze und Wörter zu diskriminieren, welche aufgrund ihrer unterschiedlichen Intonationskontur bzw. ihres Betonungsmusters die Bedeutung wechselten. Sie führte Produktions- und Verstehensaufgaben auf Wort- und Satzebene sowie auf Dialogebene durch.

Ein weiteres Experiment untersuchte die Sprachidentifikation (englisch und chinesisch) basierend ausschließlich auf prosodischer Information, alle segmentale Information war mittels einer Filterungstechnik eliminiert worden. Bryan (1989) berichtete generell größere Defizite bei RH-Patienten sowohl gegenüber den LH-Patienten als auch gegenüber der Kontrollgruppe bei der Verarbeitung linguistischer Prosodie. Jedoch zeigten die LH-Patienten ebenfalls Einschränkungen bei bestimmten Aufgaben, insbesondere bei der Identifikation bestimmter Wortkategorien, gegenüber den gesunden Probanden.

Eine frühe Studie von Blumstein und Cooper (1974) testete gesunde Probanden mithilfe des Untersuchungsparadigmas zum dichotischen Hören. Sie präsentierten dabei sprachliche Stimuli, welche derart gefiltert wurden, dass für den Hörer nur noch die Intonationskontur erkennbar war. Verwendung fanden dabei 4 verschiedene Satzarten: Deklarativ-, Interrogativ-, Imperativ- und Kondi-

tionalsätze mit ihren unterschiedlichen Intonationskonturen. Die Autoren berichteten eine klare Dominanz des linken Ohres (für die Verarbeitung in der rechten Hemisphäre) für die Erkennung und Identifikation der unterschiedlichen Intonationskonturen.

Perkins, Baran und Gandour (1996) untersuchten die Hemisphärenspezialisierung bei der Verarbeitung linguistischer und nicht-linguistischer Intonationskonturen während der Satzverarbeitung mit RH-Patienten und LH-Patienten. Wenn die Versuchspersonen einen Stimulus anhand seiner Intonationskontur als Aussage oder Frage in semantisch neutralen Sätzen identifizieren sollten, zeigten die LH-Patienten eine signifikant geringere Leistung gegenüber der Kontrollgruppe. Dagegen zeigten sich keine signifikanten Unterschiede zwischen der RH-Gruppe und der Kontrollgruppe. Wenn jedoch die segmentale Information der Sätze reduziert war und die Versuchspersonen nur anhand der isolierten prosodischen Intonationskonturen diskriminieren sollten, demonstrierte die RH-Gruppe eine signifikant geringere Leistung gegenüber der Kontrollgruppe, während es zwischen LH-Patienten und Kontrollgruppe keine signifikanten Unterschiede gab.

Dieses umgekehrte Muster der Ergebnisse spricht für die Annahme einer linkshemisphärischen Dominanz bei der Verarbeitung von Intonationskonturen, welche eine linguistische Funktion innehaben. Wenn jedoch die linguistische Information reduziert oder gänzlich eliminiert ist, zeigt sich eine Dominanz der rechten Hemisphäre. Verschiedene weitere Studien, welche mit ähnlichen Manipulationen arbeiteten, zeigten ebenfalls vergleichbare Resultate (z.B. Blumstein & Cooper, 1974; Heilmann, 1995).

So führte Behrens (1985) eine Untersuchung an gesunden Probanden unter Verwendung des Paradigmas zum dichotischen Hören durch. Dabei fanden 3 verschiedene Manipulationen des Stimulusmaterials statt, um die Ohrdominanz bei der Verarbeitung von Wortbetonungen genauer zu determinieren. In einem ersten Experiment hatten die Versuchspersonen Betonungsmuster bei normalen Wörtern zu identifizieren. Hierbei zeigte sich eine klare Dominanz des rechten Ohres (für die Verarbeitung in der LH). Anschließend wurden diese Wörter derart gefiltert, dass keine phonemische oder semantische Information mehr zur Verfügung stand und nur noch das Betonungsmuster, also die rein prosodische Information verarbeitet werden konnte. Im Gegensatz zum ersten Experiment zeigten die Probanden hier eine Dominanz des linken Ohres (für die Verarbeitung in der RH). Zum Schluss wurden Nonsens-Wörter dargeboten, die also phonemische, aber keine semantischen Informationen beinhalteten. In diesem dritten Experiment zeigten sich keine Ohr-Asymmetrien. Behrens interpretierte ihre Ergebnisse dahingehend, dass bei reduzierter linguistischer Wortinformati-

on und der ausschließlichen Anwesenheit prosodischer Parameter die LH die dominierende Rolle bei der Verarbeitung eines Stimulus innehat.

Die von Behrens berichtete Dominanz der LH bei der Verarbeitung von Wortbetonungsmustern wurde ebenfalls in Studien mit Patienten mit Hirnläsionen (Pell & Baum, 1997; Van Lancker & Sidtis, 1992) nachgewiesen. Es wurde aufgezeigt, dass LH-Patienten Defizite gegenüber RH-Patienten und gesunden Probanden aufwiesen.

In einer Studie von Gandour, Dziedzic, Wong, Lowe, Tong, Hsieh, Sathamnuwong und Lurito (2003) wurde die Verarbeitung von Betonungsmustern in Tonsprachen (wie Mandarin) und Intonationssprachen (wie Englisch) an englischen und chinesischen Probanden untersucht. Sie berichteten die Beteiligung der linken Hirnhemisphäre bei der Verarbeitung von Tönen, die eine lexikalische Bedeutung in tonalen Sprachen, wie Mandarin und Thai besitzen, nur bei den chinesischen Versuchspersonen, nicht aber bei den englischsprachigen.

Die an dieser Stelle berichteten Studien zeigen auf, dass die Verarbeitung linguistischer Prosodie nicht ausschließlich rechtshemisphärisch lateralisiert zu sein scheint. Die Befunde legen den Schluss nahe, dass immer dann, wenn segmentale Information verfügbar ist (wie bei nicht-gefiltertem Sprachmaterial) oder wenn prosodische Information segmentale Information direkt modifiziert (wie Töne in tonalen Sprachen) die linke Hirnhemisphäre bei der Verarbeitung dominiert. Generell aber sind die Befunde zur Lateralisierung und Lokalisierung bei der Verarbeitung prosodischer Information noch recht ungenau und zum Teil auch etwas widersprüchlich.

4 Zentrale Fragestellungen

Im Mittelpunkt dieser Arbeit steht die Frage nach der Verarbeitung prosodischer Information auf Satzebene. Diese Frage ist gerade in den letzten Jahren verstärkt in den Vordergrund gerückt. Der Grund dafür liegt zum einen in der verbesserten Methodik zur Aufzeichnung, Manipulierung und Auswertung akustischer Stimuli und zum anderen in den zunehmend differenzierteren Methoden der Hirnforschung, die es ermöglichen, Verarbeitungsprozesse zeitgleich zu registrieren.

Eine der ersten Studien (Steinhauer et al., 1999), welche die Verarbeitung größerer prosodischer Einheiten mit einem EKP-Design untersuchte, berichtete eine Komponente in Korrelation zur Verarbeitung von Intonationsphrasengrenzen, den Closure Positive Shift (CPS). Es handelte sich dabei um eine positive Potentialverschiebung im EKP gegenüber einer neutralen Bedingung (ohne Intonationsphrasengrenze). Diese Komponente wurde derart interpretiert, dass sie das Schließen (*Closure*) einer Phrase reflektiert.

Die vorliegende Arbeit soll nun die Natur der für die akustische Sprachverarbeitung so wichtigen Komponente, den CPS näher beleuchten. Es soll genauerer Aufschluss darüber gegeben werden, ob der CPS tatsächlich ausschließlich die Verarbeitung prosodischer Parameter widerspiegelt oder ob sie an das Vorhandensein phonemischer, syntaktischer und/oder semantischer Information gebunden ist. Insbesondere soll der Einfluss der segmentalen Information auf die prosodische Verarbeitung untersucht werden. Dies geschieht durch die systematische Variation des verwendeten Stimulusmaterials.

Um die Abhängigkeit des CPS von phonemischer, syntaktischer und semantischer Information zu prüfen, wird sprachliches Stimulusmaterial nun derart manipuliert, dass es in einem ersten Schritt keine semantische Information, nachfolgend weder semantische noch syntaktische Information und in einem letzten Schritt weder semantische und syntaktische noch phonemische Information enthält.

Zunächst wird in einem ersten Experiment normalsprachliches Stimulusmaterial dargeboten. Damit sollen zum einen die Daten von Steinhauer et al. repliziert werden. Zum anderen wird so eine Kontrollbedingung für die nachfolgenden Experimente geschaffen. Basierend auf dem normalsprachlichen Stimulusmaterial werden nun Sätze konstruiert, welche keine semantische Information mehr enthalten. Gleichzeitig jedoch bleibt die syntaktische Struktur des ursprünglichen Satzmaterials erhalten und die verwendeten Pseudowörter verstoßen nicht gegen das Hörempfinden deutscher Muttersprachler. Mit diesem

Untersuchungsdesign wird der Frage nachgegangen, ob der CPS an die Verarbeitung semantischer Information gebunden ist.

Folgend wird für ein drittes Experiment das syntaktische Material dahin gehend manipuliert, dass nun auch alle syntaktische Information eliminiert und durch phonotaktisch legale Pseudowörter ersetzt wird. Damit wird die Abhängigkeit des CPS von der Verarbeitung syntaktischer Strukturen geprüft.

In einem vierten Experiment wird nun auch alle phonemische Information getilgt. Hierfür werden Intonationskonturen gesummt. Damit bleibt dem Hörer jegliche phonemische, syntaktische und semantische Information vorenthalten. Zur Verarbeitung dieses Stimulusmaterials kann er lediglich rein prosodische Parameter nutzen.

Mit der Abfolge dieser vier Experimente kann systematisch überprüft werden, an welche weitere Information das Zustandekommen eines CPS gebunden sein könnte.

Für alle Variationen des Stimulusmaterials werden zwei unterschiedliche Bedingungen kreiert. Dabei besteht jeweils eine erste Bedingung aus zwei IPhs und wirft damit eine IPh-Grenze auf. Im Gegensatz dazu wird eine zweite Bedingung aus drei IPhs konstruiert und enthält somit zwei IPh-Grenzen. Den Nachweis dafür sollen die akustischen Analysen erbringen.

Alle Sätze werden den Probanden akustisch dargeboten. Um eine einheitliche Aufgabenschwierigkeit zu ermöglichen, wird ein Wort-Wiedererkennungsparadigma Verwendung finden. Nur diese Art der Aufgabenstellung lässt sich konsistent über alle Versuche realisieren.

Eine zweite Frage, die diese Arbeit beantworten soll, betrifft die Abhängigkeit einer prosodisch ausgelösten Komponente von einem natürlichsprachlichen Input. Bereits in einer Untersuchung von Steinhauer und Friederici (2001) wurde delexikalisiertes Material, welches keine Wortinformation enthielt, verwendet. Das Stimulusmaterial war mittels einer Filterungstechnik erstellt worden. Hier ließ sich ein CPS nur in einem frühen Zeitfenster nachweisen. Zusätzlich zeigten sich Negativierungen, die an den frontalen und zentralen Elektroden besonders stark ausgeprägt waren. Die Autoren vermuten einen Einfluss der Filterungstechnik auf das Satzmaterial derart, dass prosodische Parameter nicht mehr adäquat interpretiert werden können. Eine alternative Erklärung bestände darin, dass die verwendete Aufgabenstellung den Fokus der Probanden nur auf ein frühes Zeitfenster gerichtet hätte, so dass ein CPS zu einem späteren Zeitpunkt nicht mehr ausgelöst worden wäre.

Um diese Annahme zu verifizieren, soll das „natürlich gesumme“ Stimulusmaterial weiter manipuliert werden, indem kleinste Segmente mittels einer Computertechnik im Millisekundenbereich verzerrt werden. Beim Hörer geht

dadurch der Eindruck der Natürlichkeit verloren. Hier wird dann eine erhöhte Schwierigkeit bei der Segmentierung des Inputs erwartet. Der Vergleich der EKPs bei der Verarbeitung von gesumtem gegenüber künstlich manipuliertem gesumtem Material soll Aufschluss darüber geben, ob eine unterschiedliche Verarbeitung in der Künstlichkeit des Inputs begründet liegt. Auch hier wird das Material in den bereits beschriebenen zwei Bedingungen vorliegen. Die Verwendung des Wort-Wiedererkennungsparadigmas soll zusätzlich die Frage nach der Abhängigkeit von der Aufgabenstellung klären, da diese Art der Aufgabe keine Fokussierung auf einen bestimmten Zeitpunkt erfordert.

Zusätzlich zu den bisher aufgeworfenen Fragen bietet sich das Versuchsdesign an, die Aufgabenabhängigkeit beim Entstehen eines Syntax-Prosodie-Mismatches genauer zu hinterfragen. Im ersten Experiment mit normalsprachlichen Sätzen wird zu diesem Zweck noch eine weitere Bedingung geschaffen. Diese Bedingung orientiert sich ebenfalls an den von Steinhauer et al. konstruierten Sätzen und enthält eine mittels der Cross-splicing-Technik geschaffene Verletzungsbedingung. Diese Bedingung löste in der Untersuchung von Steinhauer et al. (1999) einen prosodischen Mismatch aus, der sich in einem biphasischen N400/P600-Muster widerspiegelte. Die Probanden hatten dabei Verständnisfragen zu beantworten bzw. sollten die prosodische Wohlgeformtheit des Satzes beurteilen. Beide Aufgabenstellungen riefen kein signifikant unterschiedliches Muster hervor. Allerdings setzen beide Aufgabentypen eine inhaltliche Verarbeitung des Satzmaterials voraus.

In der vorliegenden Arbeit wird deshalb das Wort-Wiedererkennungsparadigma Verwendung finden. Die Wort-Wiedererkennung erfordert dabei nicht zwingend eine inhaltliche Verarbeitung des eintreffenden Inputs. Hier soll die Frage beantwortet werden, ob auch eine relativ einfache Aufgabenstellung zur Auslösung eines Syntax-Prosodie-Mismatches und damit zu einem N400/P600-Muster im EKP führt.

Die vorliegende Arbeit soll einen Beitrag dazu leisten, die Komponente CPS genau zu untersuchen und zu manifestieren. Dabei soll ihre Abhängigkeit von bestimmten Parametern, wie phonemischer, syntaktischer und semantischer Information, geprüft werden. Die Arbeit soll weiterhin Aufschluss darüber geben, inwieweit künstlich manipuliertes Stimulusmaterial einen Einfluss auf die Ausprägung der Komponente haben kann. Insbesondere soll der Nachweis erbracht werden, dass sich der CPS als Komponente prosodischer Phrasierung beschreiben lässt.

Im Folgenden werden also fünf Experimente dargestellt, welche die zur Interpretation eines akustischen Stimulus verfügbare Information systematisch variieren. Verwendung findet normales (Experiment I), syntaktisches (Experi-

ment II), pseudosprachliches (Experiment III) und gesumtes (Experiment IV) Stimulusmaterial sowie in einem letzten Experiment künstlich verzerrtes, gesumtes Material (Experiment V).

5 Experiment I: Prosodische Informationsverarbeitung auf Satzebene

5.1 Fragestellungen

In einem ersten Experiment sollten zunächst die Ergebnisse von Steinhauer, Alter & Friederici (1999) repliziert werden, um eine Basis für die nachfolgenden Experimente zu schaffen. Steinhauer et al. (1999) führten einen Versuch durch, bei dem den Probanden auditiv Sätze präsentiert wurden, die sich hinsichtlich ihrer Intonationsphrasierung unterschieden. Es konnte nachgewiesen werden, dass die Verarbeitung von Intonationsphrasengrenzen zu einer typischen Komponente im EKP führt, dem Closure Positive Shift. Dieser positive Shift konnte an allen Elektrodenpositionen in Korrelation zur IPh-Grenze nachgewiesen werden.

Weiterhin konnte die Studie den Nachweis erbringen, dass eine nicht adäquate Satzintonation ein biphasisches N400-P600-Muster im EKP hervorruft. Zu diesem Zweck wurden 2 Satz-Bedingungen mit unterschiedlicher Intonationsphrasierung inadäquat zusammen geschnitten (siehe auch 5.2), so dass es zu einer Inkongruenz zwischen der syntaktischen Struktur und der prosodischen Realisierung der Sätze kam. Auch in dieser Bedingung zeigte sich eine Positivierung in Korrelation zu den Intonationsphrasengrenzen. Zusätzlich jedoch war dieser Komponente eine Negativierung nach 400 ms aufgelagert, gefolgt von einer Positivierung nach 600 ms nach Verbbeginn. Dieses aufgelagerte biphasische Muster wurde also durch die falsche Intonationsphrasierung hervorgerufen. Auch dieser Effekt sollte replizierbar sein. Allerdings stellte sich die Frage, ob dieser Effekt aufgabenabhängig ist und sich nur bei einer Aufgabenstellung, die die tiefere Verarbeitung des Satzes fordert, einstellt. Steinhauer et al. (1999) verwendeten zwei verschiedene Aufgaben, die allerdings beide eine inhaltliche Verarbeitung des Satzmaterials erforderten. Zum einen sollten einfache Verständnisfragen beantwortet werden, zum anderen sollte eine Beurteilungsaufgabe gelöst werden, die erforderte, die prosodische „Wohlgeformtheit“ eines Satzes zu bestimmen.

Im nachfolgend dargestellten EKP-Experiment sollte der CPS in Korrelation zur Verarbeitung von Intonationsphrasengrenzen repliziert werden. Dazu wurden 2 verschiedene Satzbedingungen konstruiert, die sich in ihrer syntaktischen Struktur unterschieden (siehe Tabelle 5-1) und damit auch zu einer unterschiedlichen prosodischen Realisierung führten. Während eine Bedingung (A1) nur eine Intonationsphrasengrenze aufwies, enthielt eine zweite Bedingung (B1)

zwei IPh-Grenzen. Diese unterschiedlichen Satzstrukturen sollten zu signifikant unterschiedlichen EKP-Mustern führen.¹

| | |
|----|---|
| A1 | [Kevin verspricht Mama zu schlafen] _{IPh1} [und ganz lange lieb zu sein.] _{IPh2} |
| B1 | [Kevin verspricht,] _{IPh1} [Mama zu küssen] _{IPh2} [und ganz lange lieb zu sein.] _{IPh3} |
| C1 | [Kevin verspricht,] _{IPh1} [Mama # zu schlafen] _{IPh2} [und ganz lange lieb zu sein.] _{IPh3} |

Tabelle 5-1 Beispiele für normalsprachliches Satzmaterial

Das Experiment sollte ebenfalls Aufschluss darüber geben, ob sich ein biphasisches N4-P6-Muster, ausgelöst durch einen Prosodie-Syntax-Mismatch, nachweisen lässt, wenn keine tiefere inhaltliche Verarbeitung des Satzmaterials zur Erfüllung der Aufgabenstellung notwendig ist. Um diese Fragestellung zu beantworten wurde eine dritte Satzbedingung (C1) derart manipuliert, dass die syntaktische Struktur des Satzes nicht mit der Satzprosodie kongruent war. Als Aufgabenstellung wurde dann das Wort-Wiedererkennungsparadigma gewählt. Diese Aufgabenstellung erfordert nur das Abtasten der Oberflächenstruktur des Satzes und keine weitere, tiefere Verarbeitung. Wenn nun der prosodische Mismatch, der den N400-P600-Komplex hervorruft, nur dann entsteht, wenn eine inhaltliche Verarbeitung des Satzmaterials stattfindet, besteht Grund zu der Annahme, dass eine Wort-Wiedererkennungsaufgabe diesen neuronalen Impuls möglicherweise nicht induziert.

Zusammenfassend wurden für das erste Experiment folgende Hypothesen aufgestellt:

1. Auf Basis der Befunde von Steinhauer et al. (1999) wurden signifikant unterschiedliche EKP-Verläufe der Bedingungen A1 und B1, ausgelöst durch die unterschiedliche Intonationsphrasierung der Bedingungen, erwartet.
2. Bedingung A1, welche eine Intonationsphrasengrenze enthält, sollte einen CPS aufweisen. Bedingung B1, die im Unterschied zu A1 zwei IPh-Grenzen zeigt, sollte demzufolge zwei CPS-Muster auslösen.
3. Der Gardenpath-Effekt in der prosodisch inkongruenten Bedingung C1, den Steinhauer et al. mit ihrem Stimulusmaterial nachweisen konnten, sollte mit einer Wort-Wiedererkennungsaufgabe nicht notwendigerweise replizierbar sein. Als Voraussetzung für die Kenntnisnahme eines Syntax-Prosodie-Mismatch wurde eine inhaltliche Verarbeitung des Satzmaterials angenommen. Eine inhaltliche Verarbeitung wird bei einem

¹ An dieser Stelle sei angemerkt, dass auch die jeweils letzte Intonationsphrase in allen Bedingungen und über alle Experimente hinweg an ihrem Ende eine IPh-Grenze konstituiert, die auch das Satzende darstellt. Da die vorliegende Arbeit jedoch auf die Verarbeitung von IPh-Grenzen innerhalb des Stimulusmaterials fokussiert, wird nicht auf diesen Aspekt eingegangen werden.

Wort-Wiedererkennungsparadigma nur zu erwarten sein, wenn diese automatisch und relativ unabhängig von der Aufgabenstellung ist.

5.2 Akustisches Stimulusmaterial

5.2.1 Stimuluserstellung

Die in den verschiedenen Experimenten verwendeten Sätze wurden von einer trainierten deutschsprachigen Sprecherin in einer schallgedämpften Kabine gesprochen und digital per DAT-Rekorder aufgezeichnet. Anschließend wurden die Aufzeichnungen mit einer Abtastrate von 44,1 kHz und 16 bit Auflösung am Computer als so genannte speechfiles im wav-Format abgespeichert. Des Weiteren wurde zu jedem Satz ein entsprechendes Testwort in Frageintonation von derselben Sprecherin gesprochen. Auch diese Testworte wurden ebenfalls im wav-Format gespeichert. So entstanden für jeden Satz und jedes Testwort separate wav-Dateien.

Die experimentellen Sätze wurden dann den akustischen Analysen unterzogen. Die Analysen berücksichtigen die Parameter Dauer und Grundfrequenz.

5.2.2 Stimulusmaterial

Für den ersten Teil der Untersuchung wurde reguläres Satzmaterial konstruiert, welches sich in seiner Struktur an dem von Steinhauer et al. (1999) entwickelten Material orientierte. Das Satzmaterial beinhaltet alle Ebenen linguistischer Information. Der prosodische, phonemische, syntaktische und semantische Informationsgehalt eines jeden Satzes war vollständig gegeben.

Die konstruierten Sätze unterscheiden sich in ihrer prosodischen Struktur in zwei verschiedene Bedingungen (siehe Tabelle 5-1, Beispielsätze A1 und B1). Während im ersten Beispielsatz (A1) „Mama“ das Objekt des Matrixverbes „schlafen“ und damit Bestandteil des Matrixsatzes selbst ist, so ist „Mama“ im zweiten Satz (B1) dagegen Objekt des Verbs „küssen“ und somit Teil der Verbalphrase.

Durch diese unterschiedliche syntaktische Struktur kommt es bei der sprachlichen Realisierung der Sätze zu zwei unterschiedlichen Betonungsmustern. Während die Bedingung A1, die ein intransitives Verb enthält, aus zwei Intonationsphrasen besteht, beinhaltet die Bedingung B1, die ein transitives Verb enthält, drei dieser Intonationsphrasen.

Generell werden alle Satztypen in allen experimentellen Variationen (normale, syntaktische, pseudo- und gesummte Sätze) zur besseren Verständlichkeit der Analyse in drei Abschnitte (Fragmente) unterteilt.

Der erste Abschnitt wird in allen Variationen analog definiert zum ersten Subjekt-Verb-Fragment („Kevin verspricht“) in den normalen Sätzen. Der zweite Teil beinhaltet dann das Objekt-Verb-Fragment („Mama zu schlafen“) und der dritte Teil die gesamte Konjunkionalphrase („und ganz lange lieb zu sein“). So kann im Weiteren das gesamte Stimulusmaterial mittels der drei definierten Fragmente sowie der Pausen zwischen den Fragmenten beschrieben werden. Abb. 5-1 illustriert diese Aufteilung in drei Fragmente.

| |
|---|
| [Kevin verspricht] _{Fragment1} [Mama zu schlafen] _{Fragment2} [und ganz lange lieb zu sein.] _{Fragment3} |
|---|

Abb. 5-1 Beispielsatz für die Aufteilung des Stimulusmaterials in Fragmente

Für jede der zwei Bedingungen wurden nun 48 Sätze konstruiert, insgesamt also 96 Sätze, die akustischen Analysen unterzogen wurden. Für die Konstruktion einer dritten Bedingung (C1) wurde die Methode des cross-splicings verwendet. Unter cross-splicing versteht man die Kombination von Satzfragmenten aus verschiedenen Bedingungen. Durch das Zusammenschneiden des ersten Fragments und der ersten Pause sowie des folgenden Objekts („Kevin“) der transitiven Bedingung mit einem Teil des zweiten Fragments der intransitiven Bedingung beginnend beim Infinitivmarker „zu“ sowie aller weiteren Elemente der intransitiven Bedingung (siehe Beispiel C1, die Splicing-Position ist mit # gekennzeichnet) entstand die spliced Bedingung.

Der auf diese Weise inadäquat zusammengesetzte Satz weist eine in sich geschlossene Intonationsphrase mit einer Grenze und einer nachfolgenden Pause auf. An diese Pause schließt sich nun das inadäquat zusammengesetzte Fragment 2 an. Damit beinhaltet diese Satzkonstruktion also einen Syntax-Prosodie-Mismatch. Diese Bedingung C1 stimmt in ihren akustischen Parametern mit der transitiven Bedingung überein, d.h. sie besteht aus 3 Intonationsphrasen. Sie stellt jedoch syntaktisch eine intransitive Bedingung dar. Die syntaktische Struktur und die prosodische Realisierung der Sätze stimmen nicht miteinander überein, sie sind inkongruent. Die Darbietung der Sätze in Bedingung C1 sollte also zu einem Syntax-Prosodie-Mismatch beim Hörer führen. Auch für diese dritte Bedingung wurden 48 Sätze konstruiert.

Zu allen Sätzen in den 3 Bedingungen A1, B1 und C1 wurde außerdem ein dazugehöriges Probe-Wort in Frageintonation gesprochen. Die Probes hatten mehrere Restriktionen zu erfüllen. Sie waren entweder Bestandteil des Satzes (in 50% der Fälle), oder sie waren im Satz nicht enthalten. Sie bezogen sich ausbalanciert auf jede Wortposition im Satz. Die abzulehnenden Probes waren entweder semantisch oder akustisch dem Wort ähnlich, auf welches sie sich bezogen.

5.2.3 Akustische Analysen

Dauerparameter

Um die Dauer der Konstituenten und die Pausen zwischen ihnen bestimmen zu können, wurden unter der Cool Edit Software in den Sounddateien der Experimentalstimuli Marker vor und nach jedem Fragment eingefügt (siehe Abb. 5-1). Diese Informationen wurden pro Bedingung gemittelt und einer statistischen Auswertung unterzogen.

Die durchschnittliche Gesamtlänge der Sätze in Bedingung A1 beträgt 3.800 ms, in Bedingung B1 liegt der Durchschnitt bei 4.030 ms Satzlänge. Die akustischen Analysen des Satzmaterials zeigen sowohl hinsichtlich der Länge der einzelnen Fragmente und der Pausen zwischen den Fragmenten (siehe Abb. 5-2) signifikante Unterschiede zwischen beiden Bedingungen.

Alle akustischen Analysen wurden mit dem zweiseitigen T-Test durchgeführt. Das erste Fragment ist in Bedingung B1 mit 943 ms signifikant länger als in A1, in dem das erste Fragment nur durchschnittlich 790 ms dauert ($t[94] = -6,00$; $p < .01$).

Weiterhin existiert in Bedingung B1 eine Pause nach dem ersten Verb, die 491 ms andauert, welche in Bedingung A1 nicht in diesem Ausmaß zu beobachten ist. In Bedingung A1 hat diese Zeitspanne zwischen erstem und zweitem Fragment nur eine Dauer von durchschnittlich 53 ms. Damit ist die Pause signifikant länger in Kondition B1 ($t[94] = -21,86$; $p < .01$).

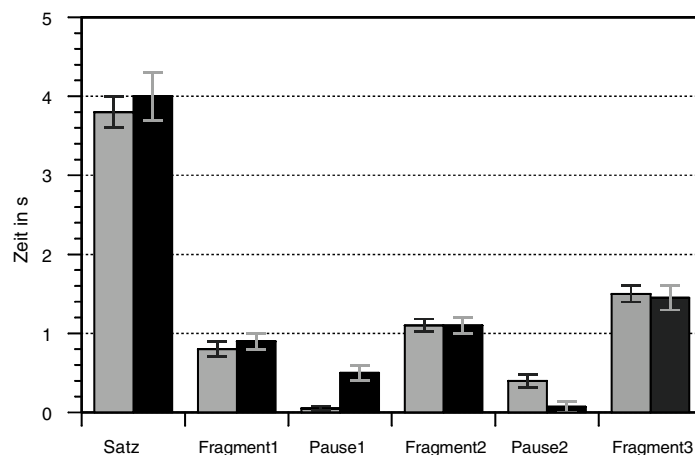


Abb. 5-2 Durchschnittliche Satzlängen bei normalsprachlichem Material für Bedingung A1 (grau) und B1 (schwarz)

Grundfrequenzverlauf

In einem zweiten Schritt wurden nun die F0-Werte für alle Experimentalsätze ausgelesen. Dazu wurden mit der WinPitch-Software zusätzliche Textdateien

erstellt, die in Zeitfenstern von 20 ms Grundfrequenzwerte und ihren diskreten Zeitpunkt auslesen. Davon waren die Pausen ausgenommen. Mittels eines awk-Skriptes konnte dann jeweils der erste, der maximale, der minimale und der letzte F0-Wert (also 4 Werte pro Fragment) zwischen 2 Markern bestimmt werden.

Auch hinsichtlich der Betrachtung des Grundfrequenzverlaufes zeigen die beiden Bedingungen A1 und B1 unterschiedliche Verläufe (siehe Abb. 5-3). Zu beobachten ist zunächst ein hoher Grenzton am Ende des ersten Fragments in Bedingung B1 (Wert 4 in der Grafik). Dieser erste Grenzton ist in Bedingung A1 nicht feststellbar. Zusätzlich dazu zeigen beide Bedingungen am Ende des 2. Fragments einen hohen Grenzton an (Wert 8 in der Grafik).

Aus den genannten Faktoren kann geschlossen werden, dass Satzbedingung A1 eine Intonationsphrasengrenze nach dem zweiten Fragment (bei etwa 1.930 ms nach Satzbeginn) enthält, während Bedingung B1 zwei Intonationsphrasengrenzen aufweist (eine erste bei ca. 940 ms und eine zweite bei etwa 2.520 ms nach Satzbeginn).

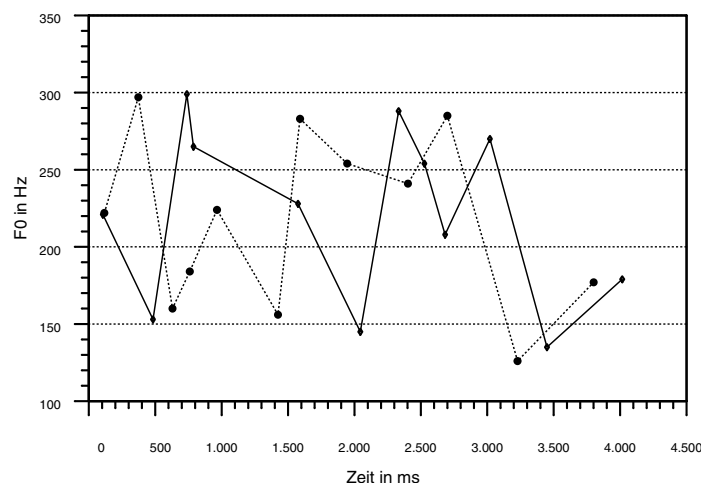


Abb. 5-3 Verlauf der Grundfrequenz (F0) bei normalsprachlichem Material für Bedingung A1 (gepunktet) und B1 (schwarz)

5.2.4 Randomisierung des Stimulusmaterials

Jeder Versuchsperson wurden in einer Experimentalsitzung alle 134 Sätze präsentiert. Um Reihenfolgeeffekte auszuschließen wurde das Satzmaterial pseudo-randomisiert. Dabei wurden folgende Restriktionen eingehalten:

Zwischen Sätzen mit fast identischem semantischem Inhalt lagen mindestens 20 andere. Es folgten maximal 3 Sätze mit dem gleichen Matrixverb auf-

einander. Dieselbe Satzbedingung (2 vs. 3 Intonationsphrasen vs. spliced Bedingung) wurde maximal dreimal hintereinander präsentiert und auch der erforderliche Antworttyp (Wort ist im vorhergehenden Satz enthalten vs. nicht enthalten) durfte nicht öfter als dreimal nacheinander auftreten.

Mehrere Präsentationslisten, die diese Restriktionen erfüllten, wurden mithilfe des Randomisierungsprogrammes Conan erstellt. Insgesamt entstanden so 4 verschiedene Randomisierungslisten. Weiterhin wurden die randomisierten Sätze in 4 Blöcke unterteilt. Auch die Blockabfolge variierte, so dass kein Proband einen identischen Versuchsablauf hatte. Damit konnte jeglicher Reihenfolge- oder Übungseffekt ausgeschlossen werden.

5.3 Versuchsdurchführung

5.3.1 Probanden

An diesem Versuch nahmen 22 Probanden teil. Da die EEGs von zwei Versuchsteilnehmern jedoch gravierende Artefakte aufwiesen, blieben diese von der weiteren Auswertung ausgeschlossen.

Das Durchschnittsalter der verbleibenden 20 Probanden (10 weibliche) lag bei 23,4 Jahren. Alle Versuchspersonen sowohl in diesem als auch in allen weiteren durchgeführten Experimenten waren nach eigenen Angaben und gemessen mit dem Edinburgh Handedness Inventory (Oldfield, 1971) rechtshändig. Sie berichteten keine Hörprobleme und sprachen deutsch als Muttersprache.

5.3.2 Verlauf der Versuchssitzung

Die Versuchspersonen saßen in einem bequemen Sessel innerhalb einer schallisolierten Kabine. In ca. 80 cm Abstand befand sich ein Monitor. In den Händen hielten die Probanden die ERTS-Box, mithilfe derer die Aufgabenstellung erfüllt werden sollte.

Das Versuchsmaterial wurde den Probanden akustisch über Lautsprecher bei 70 dB dargeboten. Der Versuch selbst dauerte 35 min. Inklusive Vor- und Nachbereitung waren die Probanden ca. 2 Stunden im Labor. Das beinhaltete die Instruktion der Versuchsteilnehmer, das Reinigen der Kopfhaut mit abrasiver Paste, das Aufsetzen der EEG-Kappen, die Applikation des Gels in die Elektroden, das Anschließen in der Kabine sowie das anschließende Entfernen und Reinigen. Die Probanden wurden für ihre Teilnahme am Experiment entsprechend vergütet.

5.3.3 Trialpräsentation und EEG-Aufzeichnung

Die Reize lagen nach vorheriger digitaler Bearbeitung mit der Software Cool Edit im wav-Format auf der Festplatte installiert vor und konnten über die Soundkarte abgespielt werden. Die Festlegung der Abfolge der Sätze war in einer Stapelverarbeitungsdatei für das jeweilige Experiment gespeichert und konnte über die Software ERTS (ERTS– V3.32c VGA/ERP: Experimental Run Time System, Behringer, 1997) abgerufen werden.

Den Probanden wurde ein Wort-Wiedererkennungsparadigma dargeboten, um ihre Aufmerksamkeit auf die akustische Darbietung des Satzmaterials zu lenken und über den gesamten Versuch zu gewährleisten. Erhoben wurden die Reaktionszeiten der Versuchsteilnehmer bei der Entscheidungsaufgabe sowie die Fehlerrate bei der Entscheidung.

Zunächst erschien auf dem Monitor ein Fixationskreuz, welches während der gesamten Satzdarbietung dort stehen blieb und erst nach Satzende verschwand. Anschließend wurde akustisch ein Satz präsentiert. Nach einem Interstimulusintervall von 1.500 ms wurde ein Testwort in Frageintonation dargeboten. Die Versuchsperson hatte nun möglichst schnell und richtig zu entscheiden, ob dieses Wort im vorher gehörten Satz enthalten war oder nicht. Je nach Instruktion wurde dann entweder die rechte oder die linke Taste der ERTS-Box gedrückt. Rechts/Links-Antworten waren über die Teilnehmer des Versuches gleichmäßig ausbalanciert, das heißt 50% der Probanden mussten bei einem enthaltenen Wort die rechte Taste drücken, die anderen 50% die linke Taste. Für ein nicht enthaltenes Wort sollte die dann jeweils andere Taste betätigt werden.

Die Probanden waren angehalten, während der Satzdarbietung das Kreuz auf dem Mittelpunkt des Monitors zu fixieren, um die Augenbewegungen möglichst gering zu halten. Nach der Satzdarbietung oder während der Testwortdarbietung konnte geblinzelt werden.

Vor dem Start des eigentlichen Experimentes wurden den Probanden 10 Übungssätze dargeboten, die sie mit der Aufgabenanforderung vertraut machen sollten und nach denen möglicherweise auftretende Unklarheiten beseitigt werden konnten.

Die elektrophysiologische Aktivität wurde durch eine computergestützte Registrierung des EEGs und EOGs während gleichzeitiger Stimuluspräsentation erfasst. Zur Aufzeichnung der Messdaten wurde die Software „xrefa“ (MPI, Nowagk, 1998) verwendet. In den vorliegenden Experimenten wurden 23 EEG-Kanäle und 4 EOG-Kanäle mit einer Abtastfrequenz (Samplingrate) von 250 Hz aufgezeichnet.

Die gemessenen Impedanzen lagen vor Versuchsbeginn bei allen Probanden unter 5 k Ω . Während der Durchführung der Ableitung wurde über die Qualität des EEG-Signals und besondere Vorkommnisse ein Protokoll geführt.

5.4 Ergebnisse

5.4.1 Datenaufbereitung

An dieser Stelle sei stellvertretend für alle Experimente die Datenaufbereitung ausführlicher beschrieben. Die Daten dieses Experimentes wie auch die aller folgenden durchliefen die gleiche Prozedur und unterlagen den gleichen Kriterien.

Die Auswertung der Daten erfolgte mit dem Programmpaket EEP 3.2.1 (EEP-ERP Evaluation Package, MPI Leipzig). Als erstes wurden alle fehlerbehafteten Messepochen von der Auswertung ausgeschlossen. Als Ausschlusskriterium wurde eine oberhalb von 33 μ V liegende Amplitude definiert. So wurden alle Lidschläge und andere Bewegungsartefakte von der weiteren Auswertung eliminiert.

Im Anschluss daran wurden Messepochen von 4.500 ms definiert, die gewährleisten, dass die Auswertung über die gesamte Satzlänge erfolgen konnte (siehe Abb. 5-2 Durchschnittliche Satzlängen bei normalsprachlichem Material). Messepochen, die Artefakte beinhalteten, wurden von der weiteren Auswertung ausgeschlossen. Die Anzahl der artefaktbehafteten Messepochen variierte nicht signifikant zwischen den Bedingungen. Nur Versuchspersonen mit mehr als 30 fehlerfreien Messepochen pro Bedingung wurden in die Datenauswertung einbezogen. Die definierten artefaktbereinigten Messepochen wurden nun separat für jede Versuchsperson pro Bedingung und Elektrode gemittelt. Als Baseline diente ein Zeitintervall von 200 ms vor Satzbeginn.

Die Satzanfänge konnten anhand des vom ERTS-Programm gesendeten Triggers identifiziert werden. So entstand für jeden Probanden ein EKP-Muster für die jeweiligen Bedingungen. Da die Ableitung monopolar auf A1 erfolgte, wurde nun die Einzelmittlung pro Versuchsperson rereferenziert auf A1 und A2.

In einem letzten Schritt wurden die Einzelmittelungen über alle Versuchspersonen pro Bedingung und pro Elektrode gemittelt, so dass Grand Averages entstanden.

5.4.2 EKP-Daten

5.4.2.1 Auswertung der EKP-Daten

Alle durchgeführten statistischen Analysen erfolgten separat für die Mittellinienelektroden und für die lateralen Elektroden. Für die lateralen Elektroden wurden insgesamt 6 Regionen definiert, die so genannten „regions of interest“ (ROI). Dieses Verfahren der ROI-Bildung wurde angewendet, um spezifischere Aussagen bezüglich der Topografie der Effekte treffen zu können. Das Verfahren ermöglicht zwar keine exakte Lokalisierung der beobachteten Effekte, aber doch eine genauere Beschreibung gegenüber der Darstellung durch Einzel Elektroden. Zudem verhindert die Bildung von ROIs den Verlust der statistischen Power, die bei Varianzanalysen über eine große Anzahl von Elektroden entstehen würde (siehe Gunter & Friederici, 1999).

Für alle hier durchgeführten Versuche wurden ROIs über anteriore, zentrale und posteriore Regionen getrennt für beide Hemisphären gebildet.

Die anterior linke Region wurde durch Mittelung von F7, F3 und FC3 errechnet, die zentral linke bestand aus T7, C3 und CP5 und die posterior linke aus P7, P3 und O1. Analog dazu wurde die anterior rechte Region aus Mittelung über F8, F4, FC4, die zentral rechte aus T8, C4 und CP6 und die posterior rechte aus P8, P4 und O2 errechnet. Diese 6 ROIs und die 3 Mittellinienelektroden FZ, CZ und PZ gingen in die folgenden Analysen ein. Die Ergebnisse der statistischen Analysen werden ausschließlich dann berichtet, wenn sich die durchgeführten Tests als signifikant erwiesen.

Grundsätzlich fanden varianzanalytische Methoden Anwendung. Das Design über die Mittellinienelektroden umfasste die Faktoren Bedingung und Region, während die Analysen über die lateralen Elektroden zusätzlich zu diesen zwei Faktoren den Faktor Hemisphäre beinhalteten. Bei mehr als einem Freiheitsgrad wird die Greenhouse-Geisser-Adjustierung/ Box-Epsilon berichtet (nach Maxwell & Delany, 1989).

Bei statistisch signifikanter Interaktion des Faktors Bedingung mit dem Faktor Region oder dem Faktor Hemisphäre wurden neue ROIs in Abhängigkeit der Art der Wechselwirkung gebildet. So wurde eine anteriore ROI aus den links und rechts anterioren Elektroden sowie FZ errechnet. Analog dazu wurde eine zentrale (aus den linken und rechten zentralen Elektroden sowie CZ) und eine posteriore (aus den linken und rechten posterioren Elektroden sowie PZ) ROI gebildet.

Mithilfe dieser neu definierten Bereiche wurden Interaktionen des Faktors Bedingung mit dem Faktor Region aufgeklärt. Zeigten die Analysen eine Interaktion des Faktors Bedingung mit dem Faktor Hemisphäre, wurden 2 Bereiche neu zusammengefasst: Der linkshemisphärische Bereich umfasste die Elektro-

den F7, F3, FC3, T7, C3, CP5, P7, P3 und O1. Analog dazu wurde ein rechts-hemisphärischer Bereich aus F8, F4, FC4, T8, C4, CP6, P8, P4 und O2 gebildet. Mithilfe dieser neu gebildeten ROIs konnten die Interaktionen aufgelöst werden. Zeigten die Analysen statistisch signifikante Wechselwirkungen des Faktors Bedingung mit den beiden anderen Faktoren, wurden Varianzanalysen über einzelne ROIs oder Mittellinienelektroden gerechnet.

Die statistischen Analysen wurden in Zeitfenstern von 500 ms beginnend bei Satz-Onset gerechnet. Eine Ausnahme stellt lediglich die Analyse des N400-P600-Komplexes bei normalsprachlichem Material dar. Bei dieser Analyse ließ die visuelle Inspektion der Daten Zeitfenster von 200 ms angemessen erscheinen.

Für die bessere grafische Darstellung der gemittelten Werte über die Stichproben wurden die Daten in allen experimentellen Variationen mit 7 Hz lowpass gefiltert. Die statistischen Analysen liefen ausschließlich über die ungefilterten Datensätze.

5.4.2.2 Statistische Auswertung

Abb. 5-4 zeigt den gemittelten Verlauf der EKPs der Bedingungen A1 und B1 über 4.500 ms. Erwartungsgemäß zeigen beide Bedingungen am Satzbeginn zunächst eine fast identische Abfolge der N100 und der P200. Dieses Muster spiegelt das Einsetzen des akustisch dargebotenen Satzmaterials wider.

Der weitere Potentialverlauf gestaltet sich in beiden Bedingungen unterschiedlich. Bedingung B1, welche zwei IPh-Grenzen beinhaltet, ruft zwei positive Wellenformen im EKP hervor. Ein erster positiver Shift beginnt bei ungefähr 1.500 ms nach Satzbeginn. Das Einsetzen eines zweiten positiven Shifts kann bei ca. 2.700 ms beobachtet werden. Im Unterschied dazu zeigt Bedingung A1, welche nur eine IPh-Grenze enthält, einen positiven Shift, der bei 2.000 ms nach Satzbeginn einsetzt.

Ein erster signifikanter Unterschied zwischen den Bedingungen A1 und B1 lässt sich in einem Zeitfenster zwischen 1.500 - 2.000 ms statistisch nachweisen. Ein Haupteffekt Bedingung kann sowohl an den Mittellinienelektroden ($F[1,19]= 7,84$; $p<.01$) als auch an den lateralen ROIs ($F[1,19]= 6,34$; $p<.05$) festgestellt werden.

Ein zweiter signifikanter Unterschied lässt sich in einem späteren Zeitfenster zwischen 2.300 - 2.800 ms nachweisen. Sowohl an den Mittellinienelektroden ($F[1,19]= 7,09$; $p<.05$) als auch an den lateralen ROIs ($F[1,19]= 5,83$; $p<.05$) existiert hier ein Haupteffekt Bedingung.

Alle Effekte sind bilateral über die beiden Hemisphären verteilt. Es zeigen sich keine Interaktionen zwischen den Faktoren Bedingung x Region oder Be-

dingung x Hemisphäre. Beide Konditionen zeigen signifikant verschiedene EKP-Muster in Korrelation mit den unterschiedlichen Intonationskonturen. Während die Bedingung (A1), die eine IPH-Grenze enthält, auch nur einen positiven Shift aufwirft, zeigt die zweite Bedingung (B1) zwei positive Wellenformen im EKP, die in Korrelation zu den zwei IPH-Grenzen stehen, die diese Bedingung beinhaltet.

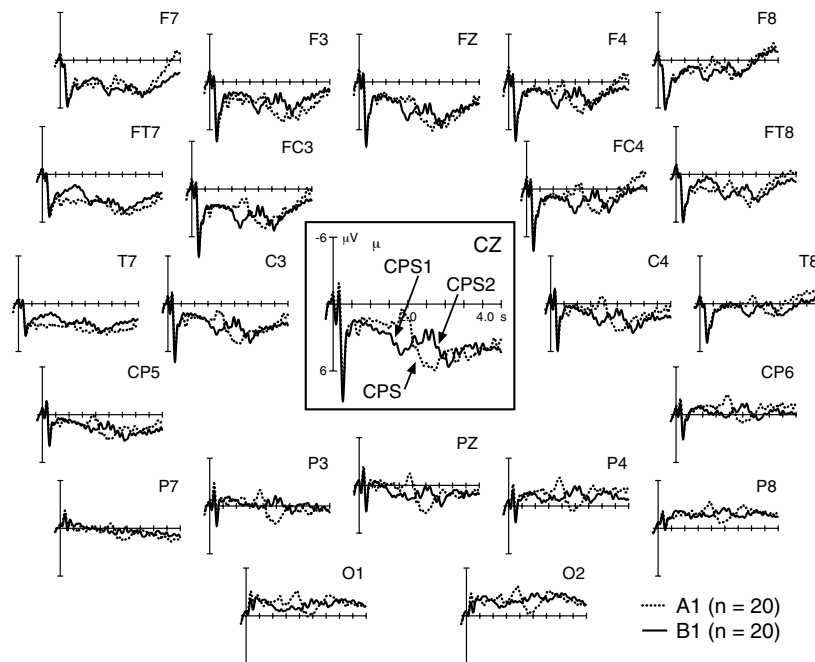


Abb. 5-4 EKPs über den gesamten Satz bei normalsprachlichem Material für Bedingung A1 (gepunktet) und B1 (schwarz). B1 zeigt einen ersten positiven Shift, der bei ungefähr 1.500 ms beginnt, sowie einen zweiten Shift, welcher bei ca. 2.700 ms startet. Bedingung A1 dagegen zeigt nur einen positiven Shift, der bei ungefähr 2.000 ms beginnt.

Um einen möglicherweise vorhandenen Gardenpath-Effekt zu untersuchen, wurden nun die Bedingungen B1 und C1 miteinander verglichen. Nur B1 und C1 sind direkt miteinander vergleichbar, da nur hier eine prosodische Phrasengrenze vor dem zweiten Verb auftritt. Durch die fehlende prosodische Phrase in A1 weicht diese bereits schon vor dem Zeitpunkt der Verarbeitung des zweiten Verbs weit von den beiden anderen Bedingungen ab.

In Abb. 5-5 sind die EKPs für die inadäquat zusammengeschnittene Bedingung C1 und die transitive Bedingung B1 dargestellt. C1 beinhaltet eine inkorrekte prosodische Phrasierung an der ersten Intonationsphrasengrenze. Die

durch das Zusammenschneiden zweier Bedingungen (A1 und B1) künstlich eingefügte IPh-Grenze an dieser Stelle sollte zu einem Gardenpath-Effekt führen. Dieser basiert auf einer Verletzung der intransitiven Argumentstruktur des zweiten Verbs und führt damit zu einer Nichtübereinstimmung zwischen Satzprosodie und der syntaktischen Struktur der Sätze. Die prosodische Realisierung der gesplitten und der transitiven Bedingung gestaltet sich somit analog.

Beide Bedingungen weisen nach dem ersten Satzfragment eine Intonationsphrasengrenze auf. Sie enthalten beide ebenfalls nach dem zweiten Satzfragment eine zweite IPh-Grenze. Die Oberflächenstruktur beider Bedingungen ist damit identisch. Beide Bedingungen weisen jeweils einen positiven Shift an der ersten und an der zweiten IPh-Grenze auf.

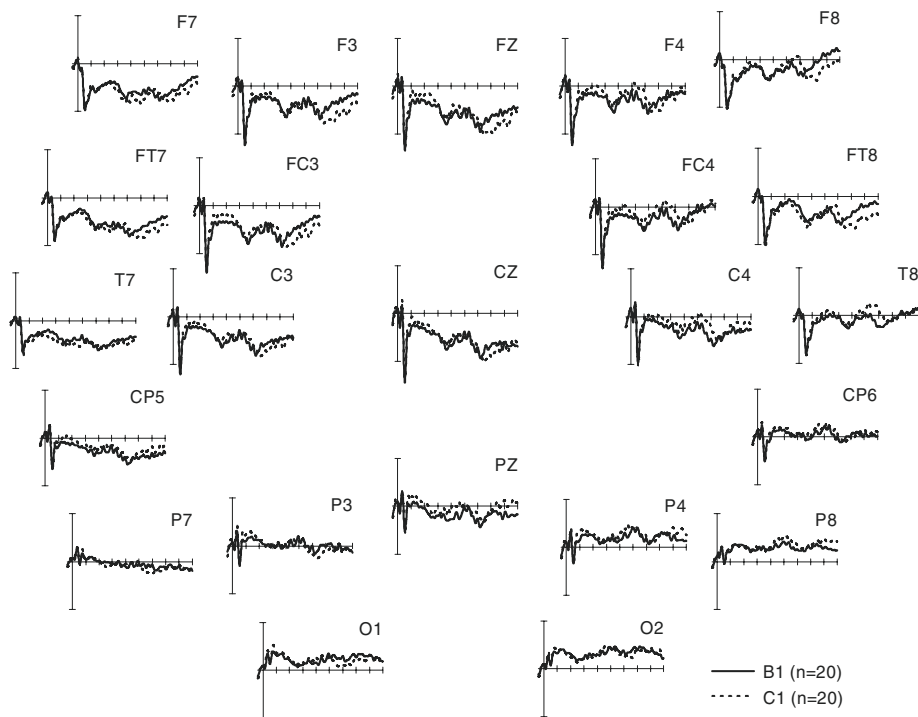


Abb. 5-5 EKPs über den gesamten Satz bei normalsprachlichem Material für Bedingung B1 (schwarz) und C1 (gepunktet). Beide Bedingungen zeigen fast identische Verläufe: einen ersten positiven Shift der bei ungefähr 1.500 ms beginnt, sowie einen zweiten positiven Shift, welcher bei ca. 2.700 ms startet.

Im Hinblick auf die erwarteten Effekte wurden nun die beiden Bedingungen B1 und C1 erneut gemittelt. Dabei wurden neue Trigger-Files für die Versuchs-

personen definiert, die auf den bisher verwendeten Trigger-Files und den Result-Files basierten.

Da bei einer Versuchsperson der Result-File nicht mit dem Trigger-File kompatibel war, musste dieser Proband von der weiteren Auswertung ausgeschlossen werden. Aufgrund dieser Tatsache beinhalten die weiteren Analysen nur noch 19 Versuchspersonen. Als zeitlicher Nullpunkt wurde der Onset des Infinitivmarkers „zu“ definiert. Die verwendete Baseline betrug -200 ms.

Die abgebildete Grafik (siehe Abb. 5-6) zeigt ein Zeitfenster von -200 ms bis +2000 ms relativ zum neu definierten Nullpunkt. Beide Bedingungen zeigen zunächst bis ca. 600 ms einen fast identischen Verlauf. Im Anschluss daran weicht C1 zunächst negativ von B1 ab. Darauf folgt ein positiverer Verlauf gegenüber B1 bei ca. 1.200 ms.

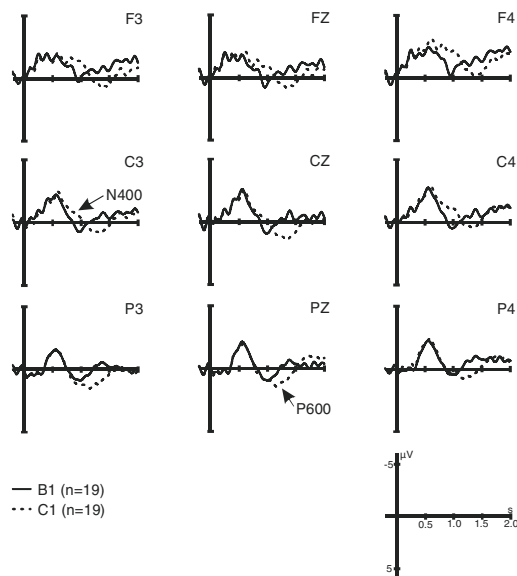


Abb. 5-6 EKPs der Bedingungen B1 (schwarz) und C1 (gepunktet) beginnend beim Infinitivmarker „zu“. Die Bedingungen zeigen bis 600 ms identische Verläufe. Dann zeigt Bedingung C1 zunächst einen negativeren, anschließend einen positiveren Verlauf gegenüber B1.

Im Unterschied zu den bisherigen Auswertungen über die gesamte Satzlänge wurden hier Zeitfenster von 200 ms ausgelesen. Die visuelle Inspektion der Abbildungen ließ die Größe der neu definierten Zeitfenster angemessen erscheinen.

Erste signifikante Unterschiede zeigen sich in einem Zeitfenster von 800 - 1.000 ms. Hier weicht die Bedingung mit inkorrekt prosodischer Phrasierung (C1) negativ gegenüber der korrekten Bedingung (B1) ab. An den lateralen

Elektroden lässt sich ein Haupteffekt Bedingung ($F[1,18]= 8,09$; $p<.01$) feststellen. Weiterhin sind signifikante Interaktionen des Faktors Bedingung mit dem Faktor Region sowohl an lateralen ($F[2,36]= 22,64$; $p<.01$) als auch an den Mittellinienelektroden ($F[2,36]= 6,08$; $p<.05$) zu beobachten. Die Auflösung der Interaktionen zeigt einen Haupteffekt Bedingungen an den frontalen ($F[1,18]= 13,33$; $p<.01$) und an den zentralen ($F[1,18]= 11,80$; $p<.01$) Elektroden. Auch im Zeitfenster von 1.000-1.200 ms ist an den lateralen Elektroden eine Interaktion der Faktoren Bedingung x Region festzustellen ($F[2,36]= 9,55$; $p<.01$). In diesen beiden Zeitfenstern zeigt die inadäquate Bedingung C1 einen negativeren Verlauf gegenüber der prosodisch adäquaten Bedingung B1.

Ein zweiter signifikanter Haupteffekt des Faktors Bedingung ist im Zeitfenster 1.200 - 1.400ms ($F[1,18]= 6,71$; $p<.05$) an den Mittellinienelektroden festzustellen. Der Verlauf der Bedingung mit nicht adäquater prosodischer Realisierung (C1) ist in diesem Zeitfenster gegenüber Bedingung B1 positiver ausgeprägt.

5.4.3 Behaviorale Daten

Während des Versuches wurden zusätzlich zur EEG-Aufzeichnung die behavioralen Daten der Versuchsteilnehmer bei der Wiedererkennungsaufgabe erfasst. Im Folgenden werden diese Daten, die aus den Reaktionszeiten der Probanden und ihren Fehlerhäufigkeiten bei der Wiedererkennungsaufgabe bestehen, berichtet.

Die durchschnittliche Reaktionszeit betrug 388 ms mit einer Standardabweichung von 346 ms. Die Probanden reagierten in 88,1% der Fälle richtig, in 5,7% falsch. Die Fehlerhäufigkeit verteilte sich gleichmäßig über alle 3 Bedingungen, es waren keine signifikanten Unterschiede zu beobachten. Also auch die nicht korrekt realisierte Bedingung C1 führte nicht zu einer erhöhten Fehlerquote. 6,2% der Entscheidungsaufgaben wurden außerdem nicht bzw. zu schnell beantwortet, so dass es zu einer „time-out“-Aufzeichnung kam. Auch die Nichtbeantwortung verteilte sich gleichmäßig über die Bedingungen. Die sehr geringe Fehlerhäufigkeit spricht dafür, dass die Aufgabe von den Probanden ohne großen kognitiven Aufwand gelöst werden konnte.

Die Protokolle, die während der Aufzeichnung über den Versuchsverlauf angefertigt wurden, geben Aufschluss darüber, dass die nicht erfolgte Beantwortung bedingt war durch ein zu schnelles Reagieren der Probanden. Die Versuchspersonen reagierten also bereits mit einem Knopfdruck, obwohl das jeweils zu erkennende Probe noch nicht vollständig präsentiert war.

5.5 Zusammenfassung und Diskussion

In einem ersten Experiment wurden den Versuchspersonen akustisch Sätze und nach einem Interstimulusintervall einzelne Wörter in Frageintonation dargeboten. Während des Versuches hatten die Probanden eine Wort-Wiedererkennungsaufgabe zu erfüllen. Zeitgleich wurden ihre EEG's aufgezeichnet und behaviorale Daten in Form von Reaktionszeiten und auftretender Fehlerhäufigkeit erhoben.

Der CPS

Das dargebotene Satzmaterial unterschied sich zwischen den Bedingungen hinsichtlich der syntaktischen Struktur. Diese syntaktische Struktur der Sätze spiegelte sich in verschiedenen prosodischen Realisierungen wider. Die akustischen Analysen konnten signifikante Unterschiede hinsichtlich der einzelnen Dauerparameter und des Verlaufes der Grundfrequenz nachweisen. Es konnte gezeigt werden, dass Bedingung A1 aus zwei IPhs bestand, während sich Bedingung B1 aus drei IPhs zusammensetzte. Daraus folgte, dass A1, im Gegensatz zu B1 mit zwei IPh-Grenzen, nur eine IPh-Grenze beinhaltete.

Die Bedingungen mit unterschiedlicher prosodischer Phrasierung zeigten unterschiedliche EKP-Muster über den Satzverlauf. Die prosodische Phrasierung innerhalb eines Satzes führte zu einer Positivierung im EKP unmittelbar an den IPh-Grenzen. Die auftretende Komponente war über alle Elektrodenpositionen zu beobachten. Des Weiteren stimmte sie in Zeitbereich, Polarität und Topografie mit der von Steinhauer, Alter & Friederici (1999) beschriebenen Komponente überein. Diese positive Wellenform wurde von Steinhauer et al. als eine prosodische Komponente interpretiert und Closure Positive Shift (CPS) benannt. Die Komponente wurde derart interpretiert, dass sie die Verarbeitung von Intonationsphrasengrenzen widerspiegelt. Der CPS ist bei dieser Art des sprachlichen Inputs bilateral über alle Regionen verteilt.

Der N400-P600-Komplex

Eine zweite Fragestellung, die dieses Experiment beantworten sollte, befasste sich mit der Replizierbarkeit eines biphasischen N400-P600-Muster bei der Verarbeitung des zweiten Verbs in der Gardenpath-Bedingung (C1). Dieses Muster ist in dem durchgeführten Experiment ebenfalls feststellbar, obwohl eine Wort-Wiedererkennungsaufgabe von den Probanden nur das Detektieren von Einzelwörtern erfordert. Dieses Ergebnis deutet darauf hin, dass bei akustischer Satzverarbeitung der Stimulus auch dann inhaltlich verarbeitet wird, wenn dies durch die Aufgabe nicht gefordert wird.

Steinhauer et al. (1999), die das erwartete N400-P600-Muster zeigen konnten, führten die Experimente mit zwei verschiedenen Aufgabenstellungen durch.

In einem ersten Experiment hatten die Probanden in 20% der Sätze einfache Verständnisfragen zu beantworten. Dies war zwar eine relativ einfache Aufgabenstellung, erforderte jedoch auch bereits die inhaltliche Verarbeitung der dargebotenen Sätze. In einem zweiten Experiment sollten sie zusätzlich zur Beantwortung der Verständnisfragen unmittelbar nach jedem Satz die prosodische Korrektheit des Satzes beurteilen. Diese Aufgabenstellung war im Vergleich zur ersten schwerer zu erfüllen. In beiden Experimenten, d.h. mit beiden Aufgabenstellungen konnte ein Gardenpath-Effekt im EKP nachgewiesen werden. Die EKPs weisen in der prosodisch inkorrekten Bedingung ein N400-P600-Muster nach dem kritischen Verb auf. Dabei zeugt die N400 vermutlich von einem erneuten lexikalischen Zugriff auf den Verbeintrag, während die darauf folgende P600-Komponente für eine Korrektur der Satzanalyse spricht (siehe 2). So schien das Entstehen dieses Musters notwendigerweise an eine inhaltliche Verarbeitung des Satzmaterials gebunden zu sein. Diese inhaltliche Verarbeitung war jedoch bei dem hier durchgeführten Experiment nicht erforderlich.

Trotzdem konnte auch in diesem Versuch ein N400-P600-Komplex nachgewiesen werden. Allerdings zeigten die festgestellten Komponenten eine andere Verteilung gegenüber Steinhauer et al., welche eine zentro-parietale Ausprägung berichteten. In dem hier dargestellten EKP-Experiment kann eine erste negative Komponente in einem Zeitfenster von 800 - 1.200 ms vor allem mit einer fronto-zentralen Verteilung festgestellt werden. Eine zweite positive Komponente in einem Zeitfenster von 1.200 - 1.400 ms zeigt sich dagegen an den Mittellinienelektroden. Aufgrund der zeitlichen Auflösung und der Abfolge der Komponenten wird dieses biphasische EKP-Muster jedoch trotz abweichender Verteilung als Abfolge des N400-P600-Komplexes angesehen.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die erste Hypothese, welche unterschiedliche EKP-Muster in Abhängigkeit von den unterschiedlichen prosodischen Realisierungen der Bedingungen vermutete, bestätigt werden konnte. Die Bedingungen A1 und B1, die jeweils unterschiedliche syntaktische Strukturen aufwiesen und damit auch prosodisch unterschiedlich realisiert waren, führten zu signifikant unterschiedlichen EKP-Mustern.

Die zweite Hypothese vertrat die Annahme, dass Bedingung A1, welche eine Intonationsphrasengrenze enthält, im EKP einen CPS in Korrelation zu dieser IPh-Grenze zeigen würde. Bedingung B1 dagegen enthält zwei IPh-Grenzen und sollte damit auch im EKP zwei CPS-Muster auslösen. Auch diese zweite Hypothese ließ sich mit dem durchgeführten Experiment bestätigen.

Die dritte Hypothese sagte aus, dass die Entstehung eines N4-P6-Musters an die inhaltliche Verarbeitung des Stimulusmaterials gebunden sei. Dass sich dieser Komplex auch mit einem Wort-Wiedererkennungsparadigma auslösen

lässt, weist daraufhin, dass inhaltliche Informationen im sprachlichen Input relativ automatisch verarbeitet werden. Die etwas unterschiedliche Verteilung des N4-P6-Musters könnte auf einen geringfügigen Einfluss der Aufgabe hinweisen.

6 Experiment II: Prosodische Informationsverarbeitung bei syntaktischem Satzmaterial

6.1 Fragestellungen

Wie unter 5 dargestellt, führt die Verarbeitung von Intonationsphrasengrenzen zu einer positiven Wellenform im EKP, dem Closure Positive Shift. Bisher konnte ein CPS in natürlichsprachlichem sinnvollem Satzmaterial nachgewiesen werden. In einem zweiten Experiment soll nun der Frage nachgegangen werden, ob die inhaltliche Verarbeitung des verwendeten Stimulusmaterials notwendig ist, um einen CPS auszulösen. Oder aber ist eine syntaktisch intakte Satzstruktur bei sinnlosem Satzmaterial eine ausreichende Bedingung, um einen CPS hervorzurufen?

Bereits Hahne & Jescheniak (2001) konnten mit so genannten Jabberwocky-Sätzen, d.h. Sätzen, bei denen alle Inhaltswörter durch Pseudowörter ersetzt wurden, einen Gardenpath-Effekt nachweisen. Das heißt bereits Sätze, die nur eine syntaktische Struktur beinhalten, stellen eine ausreichende Bedingung dar, um ein biphasisches N400-P600-Muster im EKP auszulösen.

Basierend auf diesen und auf den Ergebnissen des ersten Experimentes wurde also vermutet, dass auch sinnloses, aber auf syntaktischen Strukturen der deutschen Sprache basierendes Satzmaterial eine ausreichende Bedingung für das Auslösen des CPS an IPh-Grenzen darstellt.

Analog zu Experiment I wurden auch hier zwei Satzbedingungen mit unterschiedlicher prosodischer Strukturierung konstruiert. Alle Inhaltswörter wurden durch Pseudowörter ersetzt, die phonotaktisch legal waren.

Eine erste Bedingung (A2) bestand aus zwei Intonationsphrasen und zeigte eine IPh-Grenze, eine zweite Bedingung (B2) wies zwei IPh-Grenzen auf und bestand aus drei Phrasen. Beide Bedingungen sollten signifikant unterschiedliche EKP-Muster hervorrufen.

Zusammenfassend sollte also mit diesem Experiment geklärt werden, ob Stimulusmaterial, welches phonemische, syntaktische und prosodische Informationen enthält, an den IPh-Grenzen einen CPS auslöst.

Weiterhin stellte sich die Frage, ob dieser CPS eine gleiche Verteilung wie bei normalsprachlichem Material aufweist. Da der sprachliche Input jedoch nur gering gegenüber normalem Satzmaterial differiert, wäre auch die Verteilung über den Skalp vermutlich ähnlich oder es wären nur geringe Unterschiede feststellbar.

Folgende Hypothesen wurden für das zweite Experiment aufgestellt:

1. Für die Bedingungen A2 und B2 wurden aufgrund der unterschiedlichen Intonationsphrasierungen signifikant unterschiedliche EKP-Muster erwartet.
2. Bedingung A2 sollte in Korrelation zu einer enthaltenen IPh-Grenze einen CPS aufweisen, Bedingung B2 dagegen sollte zwei CPS-Muster, basierend auf zwei IPh-Grenzen, zeigen.
3. Die Verteilung der CPS-Komponente bei syntaktischen Sätzen sollte gegenüber normalem Satzmaterial geringe Differenzen aufweisen, falls die Originalverteilung nicht nur durch prosodische oder durch prosodische und syntaktische Informationen bedingt ist.

6.2 Stimulusmaterial und akustische Analysen

Um die aufgeworfenen Fragen beantworten zu können, wurde für den zweiten Teil der Untersuchung inhaltsleeres (sinnloses) Material entwickelt, so genannte Jabberwocky-Sätze, die eine intakte syntaktische Struktur aufwiesen (syntaktische Sätze). Die syntaktische Struktur der Sätze basierte auf dem im ersten Teil der Untersuchung verwendeten normalen Satzmaterial. Alle Inhaltswörter wurden durch bedeutungslose Wörter ersetzt (siehe Tabelle 6-1: Beispielsätze A2 und B2). Die verwendeten Pseudowörter verstießen dabei nicht gegen das Hörempfinden deutscher Muttersprachler und waren phonotaktisch legal. Die so entstandenen syntaktischen Sätze wiesen nun die gleiche syntaktische Struktur und somit die gleiche Intonationsphrasierung wie das unter Experiment I dargestellte Satzmaterial auf.

Jeweils 2 Sätze waren identisch konstruiert, wiesen aber analog zum regulären Satzmaterial unterschiedliche phonologische Phrasengrenzen auf. Das verwendete Material enthielt nun prosodische, phonemische und syntaktische Informationen, während alle semantische Information nicht mehr vorhanden war.

| | |
|----|---|
| A2 | [Der Bater verklicht Onna zu labeiken] _{IPh1} [und das Rado zu nupen.] _{IPh2} |
| B2 | [Der Bater verklicht] _{IPh1} [Onna zu labeiken] _{IPh2} [und das Rado zu nupen.] _{IPh3} |

Tabelle 6-1 Beispiele für syntaktische Sätze

Dauerparameter

Auch im Fall der syntaktischen Sätze sind signifikante Unterschiede hinsichtlich der Längen der Satzfragmente und des Verlaufes der Grundfrequenz zu sehen (siehe Abb. 6-1, Abb. 6-2). Die durchschnittliche Satzlänge in Bedingung A2 beträgt 4.041 ms, in Bedingung B2 4.346 ms. Das erste Satzfragment ist in

Bedingung B2 durchschnittlich 1.121 ms und in Bedingung A2 927 ms lang. Damit ist das erste Satzfragment in der Satzbedingung B2, welche 2 Intonationsphrasengrenzen beinhaltet, signifikant länger gegenüber der Kondition (A2) mit nur einer Intonationsphrasengrenze ($t[94] = -8,59; p < .01$). Auch die auf das erste Satzfragment folgende Pause zeigt, wie erwartet, signifikante Unterschiede in Abhängigkeit von der Kondition. Während in Bedingung B2 die erste Intonationsphrase abgeschlossen ist und eine längere Pause von durchschnittlich 428 ms folgt, ist diese Pause in Kondition A2, ebenfalls wie vermutet, nicht zu beobachten, da keine IPh-Grenze vorliegt. Der ungefähre Abstand zwischen erstem und zweitem Satzfragment beträgt in dieser Bedingung nur 74 ms. Damit ist dieser Abstand zwischen den beiden Satzfragmenten signifikant länger in Bedingung B2 ($t[94] = -20,32; p < .01$). Bedingt durch das längere erste Fragment und die darauf folgende Pause ist dann das zweite Fragment in Bedingung B2 bei durchschnittlich 2.634 ms beendet, in Bedingung A2 dagegen bereits bei 2.099 ms.

Die Analysen der Dauerparameter zeigen also signifikant verschiedene Realisierungen. Während Bedingung B2 also sowohl ein längeres erstes Fragment als auch eine darauf folgende Pause zeigt, kann in Bedingung A2 diese Pause nicht beobachtet werden. Fragment eins und zwei sind nicht durch eine Pause voneinander getrennt. Beide Bedingungen zeigen aber eine Pause nach dem zweiten Fragment.

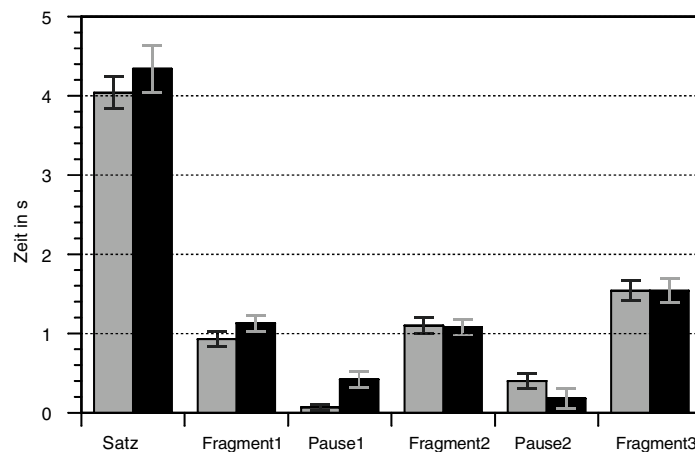


Abb. 6-1 Durchschnittliche Satzlängen des syntaktischen Materials für Bedingung A2 (grau) und B2 (schwarz)

Grundfrequenzverlauf

Auch bei der Analyse der Grundfrequenzen der beiden Satztypen treten Unterschiede auf. Während in Bedingung B2 ein hoher Grenzton kurz vor Beendi-

gung des ersten Fragmentes zu sehen ist (bei ca. 950 ms nach Satzbeginn, Wert 4 in der Grafik), existiert dieser Grenzton in Bedingung A2 nicht.

Beide Bedingungen weisen jedoch einen Grenzton nach dem zweiten Fragment auf (in Bedingung A2 bei ca. 2.100 ms, in Bedingung B2 bei ungefähr 2.600 ms, jeweils Wert 8 der Grafik).

Basierend auf der Analyse der Dauerparameter und der Grundfrequenzen in beiden Bedingungen, kann geschlossen werden, dass Bedingung A2 eine Intonationsphrasengrenze enthält und somit aus zwei Intonationsphrasen besteht, während Bedingung B2 dagegen zwei Intonationsphrasengrenzen zeigt und damit aus drei Intonationsphrasen besteht.

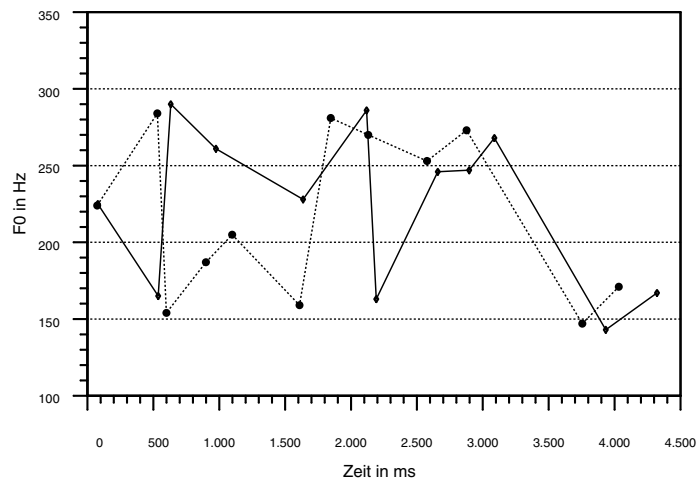


Abb. 6-2 Verlauf der Grundfrequenz (F0) bei den syntaktischen Sätzen für Bedingung A2 (gepunktet) und B2 (schwarz)

6.3 Versuchsdurchführung

An diesem Versuch nahmen 22 Probanden (11 weibliche) teil, deren Durchschnittsalter 24,6 Jahre betrug.

Der Versuch wurde analog wie in Kapitel 5.3 beschrieben durchgeführt und ausgewertet.

6.4 Ergebnisse

6.4.1 EKP-Daten

In Abb. 6-3 sind die gemittelten Verläufe der EKP-Daten aller Versuchspersonen in den beiden Bedingungen A2 und B2 bei syntaktisch korrektem, in-

haltsleerem Material über den gesamten Satzverlauf dargestellt. Auch hier zeigt sich zunächst eine fast identische N1 und P2 Abfolge, die die frühe Verarbeitung des akustischen Inputs widerspiegelt.

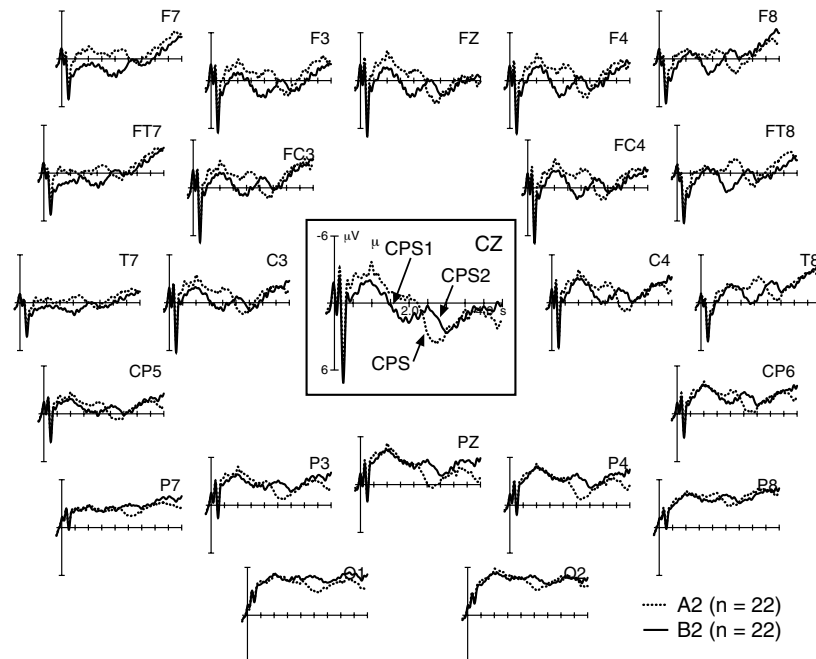


Abb. 6-3 EKPs über den gesamten Satz bei syntaktischem Material für Bedingung A2 (gepunktet) und B2 (schwarz). B2 zeigt einen ersten positiven Shift, der bei ungefähr 1.500 ms beginnt, sowie einen zweiten Shift, welcher bei ca. 2.800 ms startet. Bedingung A1 dagegen zeigt nur einen positiven Shift, der bei ungefähr 2.200 ms beginnt.

Die durch die unterschiedlichen Bedingungen hervorgerufenen EKP-Muster zeigen voneinander abweichende Verläufe und unterscheiden sich signifikant. Die Bedingung, welche 2 Intonationsphrasengrenzen aufweist (B2), zeigt eine erste positive Wellenform in Korrelation zur ersten IPh-Grenze. Dieser erste positive Shift startet bei etwa 1.500 ms nach Satzbeginn. Eine zweites positives Verlaufsmuster beginnt bei etwa 2.800 ms nach Satzbeginn.

Im Gegensatz zu Bedingung B2 weist Bedingung A2, die nur eine Intonationsphrasengrenze enthält, auch nur ein positives EKP-Muster auf. Dieser positive Shift startet bei ungefähr 2.200 ms nach Satzbeginn.

Die statistischen Analysen können diese Unterschiede nachweisen. Ein signifikanter Effekt zeigt sich in einem ersten Zeitfenster zwischen 1.800 und 2.300 ms sowohl an den Mittellinienelektroden ($F[1,21]=6,26$; $p<.05$) als auch

an den lateralen Elektroden ($F[1,21]= 5,31; p<.05$). In diesem Zeitfenster gestaltet sich der Verlauf der Bedingung B2 positiver gegenüber A2. Außerdem ist in diesem Zeitfenster eine Interaktion des Faktors Bedingung mit dem Faktor Region ($F[2,42]= 6,58; p<.01$) zu berichten. Um diese Interaktion aufzuklären wurden separate Analysen (siehe 5.4.2.1) durchgeführt. Dabei konnte ein statistisch signifikanter Haupteffekt Bedingung an den frontalen Elektroden ($F[1,21]= 10,99; p<.01$) und an den zentralen Elektroden ($F[1,21]= 7,86; p<.01$) festgestellt werden.

In einem zweiten Zeitfenster zwischen 2.500 und 3.000 ms zeigt sich ein weiterer signifikanter Effekt des Faktors Bedingung an den Mittellinienelektroden ($F[1,21]= 6,31; p<.05$). In diesem Zeitfenster zeigt Bedingung A2 einen positiveren Verlauf gegenüber B2.

Beide Bedingungen rufen zwei unterschiedliche EKP-Muster hervor und unterscheiden sich also signifikant in zwei Zeitfenstern. In Korrelation zu den jeweiligen IPh-Grenzen zeigt Bedingung A2 nur einen positiven Shift, während B2 zwei positive Wellenformen zeigt.

6.4.2 Behaviorale Daten

Die durchschnittliche Reaktionszeit der Probanden in diesem Versuch betrug 527 ms, mit einer Standardabweichung von 380 ms. Es wurde zu 76,8% richtig und zu 19,1% falsch reagiert. Bei 4,1% der Fragen wurde die Taste zu schnell oder zu spät gedrückt.

Damit benötigten die Probanden im Durchschnitt fast 140 ms länger zur Beantwortung der Fragestellung gegenüber den normalen Sätzen. Auch die Fehlerhäufigkeit war erhöht gegenüber normalsprachlichem Stimulusmaterial.

6.5 Zusammenfassung und Diskussion

In diesem zweiten durchgeführten Experiment wurden Versuchspersonen akustisch Sätze dargeboten. Analog wie bereits im ersten beschriebenen Experiment hatten die Probanden während des Versuches ein Wort-Wiedererkennungsparadigma zu erfüllen. Im Gegensatz zu dem unter 5.2 beschriebenen Satzmaterial enthielten die hier verwendeten Sätze nur noch Funktionswörter und Flexionsmorpheme. Alle Inhaltswörter waren durch Pseudowörter ersetzt worden, wobei die Sätze nicht gegen das Hörempfinden deutscher Muttersprachler verstießen. Die syntaktische Struktur der Sätze blieb erhalten und wies keine Verletzungen auf. Die Struktur des syntaktischen Satzmaterials war analog der Struktur der normalen Sätze gestaltet.

Auch bei syntaktischem Stimulusmaterial fanden zwei verschiedene Satztypen Verwendung, welche sich hinsichtlich ihrer Intonationsphrasierung unterschieden. Während eine Bedingung (A2) aus zwei IPhs bestand und damit nur eine IPh-Grenze enthielt, wies eine zweite Bedingung (B2) zwei IPh-Grenzen auf und bestand somit aus drei IPhs.

Das verwendete Stimulusmaterial wurde akustischen Analysen hinsichtlich der Dauerparameter und des Verlaufes der Grundfrequenz unterzogen. Beide Bedingungen wiesen signifikante Unterschiede hinsichtlich der untersuchten Parameter auf. Die akustischen Analysen konnten die unterschiedlichen prosodischen Phrasierungen der Bedingungen A2 (eine IPh-Grenze) und B2 (zwei IPh-Grenzen) nachweisen. Damit zeigten die Bedingungen vergleichbare Intonationskonturen gegenüber dem normalsprachlichen Satzmaterial des ersten durchgeführten Experimentes.

Die behavioralen Daten legten den Schluss nahe, dass die Erfüllung der Wort-Wiedererkennungsaufgabe bei syntaktischen Sätzen einen höheren kognitiven Aufwand gegenüber dem normalen Satzmaterial erforderte. Erhöhte Reaktionszeiten und ein größeres Fehleraufkommen gegenüber dem normalen Satzmaterial waren festzustellen. Der Grund dafür ist in der Unbekanntheit der verwendeten Pseudowörter zu suchen.

Die EKP-Muster in den beiden Bedingungen zeigen deutliche Unterschiede in ihren Verläufen auf. In Korrelation zu den jeweiligen IPh-Grenzen wiesen beide Bedingungen unterschiedliche Wellenformen auf. Bedingung A2 zeigte nur einen positiven Shift, während Kondition B2 zwei positive Wellenformen aufwies. Diese positiven Wellenformen wurden als CPS bezeichnet, da sie wie die bei Steinhauer et al. (1999) beschriebene Komponente in Korrelation zu den IPh-Grenzen auftrat und in Polarität und zeitlichem Ablauf der CPS-Komponente entsprach.

Hinsichtlich der Verteilung der Komponente ließen sich geringfügige Unterschiede gegenüber normalsprachlichem Satzmaterial nachweisen. Im Unterschied zu der in Experiment I (siehe 5) festgestellten Verteilung zeigte die Komponente bei den syntaktischen Sätzen im ersten relevanten Zeitfenster zusätzlich zu einem Haupteffekt Bedingung auch eine signifikante Interaktion der Faktoren Bedingung und Region. Die Aufklärung dieser Interaktionen zeigte signifikante Effekte im frontalen und zentralen Bereich. Das legte den Schluss nahe, dass die Andersartigkeit des sprachlichen Inputs in frühen Zeitfenstern im Gegensatz zu normalem Satzmaterial stärker in frontalen und zentralen Regionen verarbeitet wird.

Im zweiten relevanten Zeitfenster ließ sich dagegen nur ein Haupteffekt Bedingung an den Mittellinienelektroden feststellen. Hier entsprach der Effekt also dem mit normalsprachlichem Satzmaterial festgestellten.

Eine erste aufgestellte Hypothese zur Verarbeitung von syntaktisch korrektem, inhaltslosem Material vermutete aufgrund der unterschiedlichen Intonationsphrasierungen in den beiden konstruierten Bedingungen auch unterschiedliche Muster im EKP. Dies konnte klar nachgewiesen werden. Beide Bedingungen unterschieden sich in ihren EKP-Mustern signifikant voneinander.

Die zweite aufgestellte Hypothese vermutete für die Bedingung mit einer IPh-Grenze auch nur einen CPS, während eine zweite Bedingung mit zwei IPh-Grenzen zwei CPS-Muster auslösen sollte. Diese Hypothese bestätigte sich. Bedingung A2 zeigte einen CPS in Korrelation zur Verarbeitung der enthaltenen IPh-Grenze. Bedingung B2, welche zwei IPh-Grenzen auswies, löste im EKP zwei CPS-Muster aus.

Eine dritte Hypothese legte den Schluss nahe, dass die Verteilung der Komponente bei syntaktischem Material, basierend auf der geringen Andersartigkeit des Inputs gegenüber normalen Sätzen, geringe Differenzen aufweisen würde.

Dies konnte nur in einem ersten relevanten Zeitfenster nachgewiesen werden. Hier zeigte sich eine stärker fronto-zentrale Verteilung des CPS bei syntaktischen Sätzen.

Im zweiten relevanten Zeitfenster dagegen konnten keine Unterschiede hinsichtlich der Verteilung nachgewiesen werden. Dies deutet daraufhin, dass der CPS Reflektion von prosodischen oder prosodischen und syntaktischen Prozessen ist, nicht aber maßgeblich durch den Inhalt des Satzes bedingt ist.

7 Experiment III: Prosodische Informationsverarbeitung bei pseudoprachlichem Satzmaterial

7.1 Fragestellungen

Nachdem die Unabhängigkeit des CPS von den semantischen Komponenten eines Satzes mithilfe der syntaktischen Sätze nachgewiesen werden konnte, stellte sich nun die Frage, ob die syntaktische Struktur des Satzmaterials einen notwendigen Auslöser dieser Komponente darstellt. Ist ein sprachlicher Input, der sowohl prosodische als auch syntaktische Strukturen beinhaltet, notwendig oder löst bereits Stimulusmaterial, welches nur noch phonemische und prosodische Parameter beinhaltet, ein CPS-Muster im EKP aus? Da von Steinhauer et al. (1999) dieses Muster als prosodische Komponente definiert wurde, bestand Grund zu der Annahme, dass auch ein ausschließlich prosodisch-phonemischer sprachlicher Input eine ausreichende Bedingung zur Auslösung der CPS darstellt.

Bereits das syntaktische Material wurde jedoch geringfügig anders verarbeitet als das normalsprachliche Material, d.h. in einem frühen Zeitfenster war eine stärkere frontale und zentrale Aktivität zu beobachten. Daher stellte sich hier weiterhin die Frage, ob bei der Verwendung von Satzmaterial, welches auch keine syntaktischen Elemente mehr enthält, eine divergierende Verteilung gegenüber normalsprachlichem Satzmaterial festzustellen wäre.

Mit einem dritten Experiment sollten nun folgende Fragen genauer beleuchtet werden:

Ist ein CPS mit Stimulusmaterial, welches nur prosodische und phonemische Informationen enthält, auszulösen? Und wenn dies eine ausreichende Bedingung darstellen würde, wie sähe die Verteilung dieser Komponente aus? Unterscheidet sie sich von der Komponente, die von normalem Satzmaterial ausgelöst wird?

Basierend auf den bisher durchgeführten Experimenten I und II wurde auch hier ein Korpus an Pseudosätzen geschaffen, welche sich signifikant in ihrer prosodischen Struktur unterschieden. Das Stimulusmaterial baute auf dem verwendeten syntaktischen Material auf. Aus diesem Material wurden nun ebenfalls alle Funktionswörter eliminiert und durch Pseudowörter ersetzt, so dass weder Inhalts- noch Funktionswörter oder Flexionsmorpheme enthalten waren. Damit wurde gewährleistet, dass dem Hörer zur Interpretation des sprachlichen Inputs nur noch prosodische und phonemische Informationen zur Verfügung standen.

Die so konstruierten Sätze unterschieden sich nun analog zu den bisher durchgeführten Experimenten in zwei Bedingungen. Bedingung A3 enthielt nur eine IPh-Grenze, während Bedingung B3 zwei IPh-Grenzen aufwies. Erwartet wurden auch hier signifikant unterschiedliche EKP-Muster in Korrelation zu den differierenden prosodischen Strukturen des verwendeten Stimulusmaterials.

Folgende Hypothesen wurden für das Experiment mit pseudosprachlichem Satzmaterial aufgestellt:

1. Die beiden Bedingungen A3 und B3, die sich hinsichtlich ihrer Intonationsphrasenstruktur unterscheiden, rufen signifikant voneinander abweichende EKP-Muster hervor.
2. Auch bei pseudosprachlichem Stimulusmaterial ruft Bedingung A3, die eine IPh-Grenze aufweist, einen CPS hervor, während Bedingung B3, welche zwei IPh-Grenzen enthält, auch zwei CPS-Muster auslöst.
3. Basierend auf den Befunden mit syntaktischen Sätzen (Experiment II) wird eine stärker frontale Verteilung des CPS gegenüber normalsprachlichem Satzmaterial (Experiment I) angenommen.

7.2 Stimulusmaterial und akustische Analysen

Für das dritte Experiment wurde die linguistische Information weiter manipuliert und reduziert. Die so genannten pseudosprachlichen Sätze entstanden durch das Ersetzen der Funktions- und Inhaltswörter durch inhaltslose Wörter. Die so konstruierten Sätze enthalten nun keine semantische und syntaktische Information mehr, lediglich prosodische und phonemische Bestandteile stehen dem Hörer noch zur Verfügung (siehe Beispiele A3 und B3). Alle hier verwendeten bedeutungslosen Wörter verstoßen nicht gegen das Hörempfinden deutscher Muttersprachler und sind phonotaktisch legal.

| | |
|----|--|
| A3 | [Bater saklimm Onna ko labeikeg] _{IPh1} [nug som Rado lie nupes.] _{IPh2} |
| B3 | [Bater saklimm] _{IPh1} [Onna ko labeikeg] _{IPh2} [nug som Rado lie nupes.] _{IPh3} |

Tabelle 7-1 Beispiele für pseudosprachliches Satzmaterial

Dauerauslese

Die durchschnittliche Länge der Sätze in Bedingung A3 beträgt 4.464 ms, wobei das erste Fragment 831 ms andauert. Die Sätze in Kondition B3 dagegen dauern etwa durchschnittlich 4.671 ms an, das erste Fragment in dieser Bedingung 917 ms.

Die akustischen Analysen ergaben auch hier wieder ein signifikant längeres erstes Fragment für Bedingung B3 ($t[94] = -3,41$; $p < .01$) gegenüber Bedingung

A3. Auch die dem ersten Fragment folgende Pause zeigt eine signifikante Differenz zwischen den Bedingungen ($t[94] = -27,61; p < .01$).

Die Abbildung (Abb. 7-1) weist eine Pause in Bedingung B3 aus, die 351 ms lang ist. Diese erste Pause ist in Bedingung A3 nicht zu beobachten. Der Abstand zwischen Fragment eins und zwei beträgt in Bedingung A3 nur 36 ms.

Eine zweite Pause zeigen beide Bedingungen nach dem zweiten Fragment auf. Aufgrund des längeren ersten Fragments und der darauf folgenden Pause in Bedingung B3, ist das zweite Fragment in dieser Bedingung später beendet als in Bedingung A3. In Kondition A3 endet das zweite Fragment bei durchschnittlich 2.020 ms, in B3 bei ca. 2.393 ms.

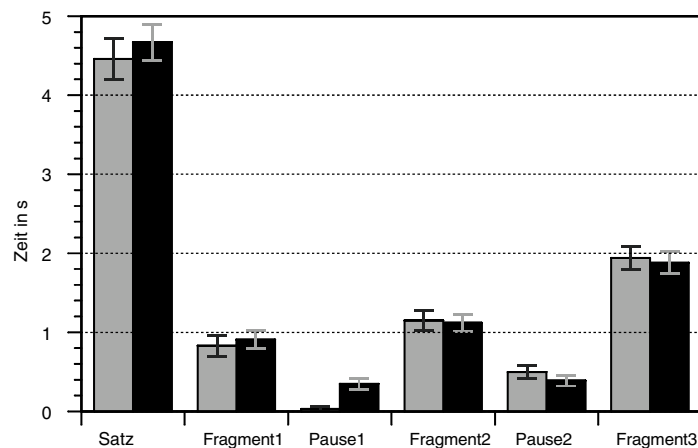


Abb. 7-1 Durchschnittliche Satzlängen bei pseudosprachlichem Material für Bedingung A3 (grau) und Bedingung B3 (schwarz)

Grundfrequenzanalyse

Die Betrachtung des Verlaufes der Grundfrequenz (siehe Abb. 7-2) zeigt einen hohen Grenzton für Kondition B3 am Ende des ersten Fragments (Wert 4 in der abgebildeten Grafik). Bedingung A3 weist diesen hohen Ton an dieser Stelle nicht auf.

Beide Bedingungen zeigen jedoch einen Grenzton am Ende des zweiten Fragments (Wert 8 der Grafik). Die berichteten Daten führen zu der Schlussfolgerung, dass Bedingung A3 eine Intonationsphrasengrenze (bei ca. 2.000 ms) enthält und somit aus zwei Intonationsphrasen besteht. Dem gegenüber zeigt Bedingung B3 zwei Intonationsphrasengrenzen (bei ca. 920 ms und 2.400 ms) und besteht daher aus drei Intonationsphrasen.

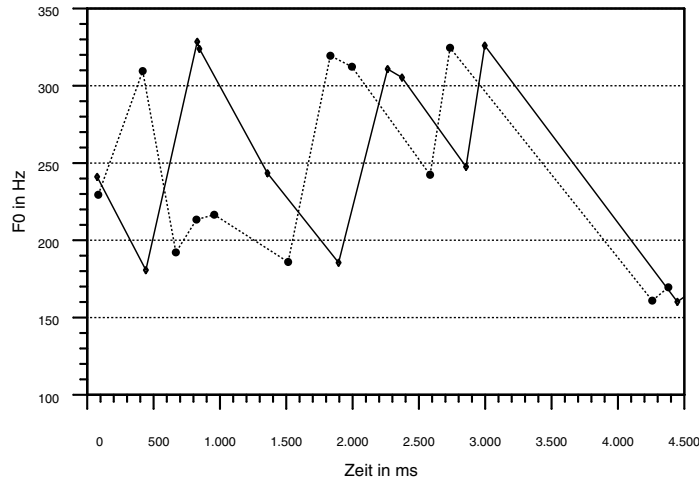


Abb. 7-2 Verlauf der Grundfrequenz (F0) bei pseudosprachlichem Material für Bedingung A3 (gepunktet) und Bedingung B3 (schwarz)

7.3 Versuchsdurchführung

An diesem Versuch nahmen 22 Probanden teil (11 weibliche), deren Durchschnittsalter bei 23,6 Jahren lag. Versuchsaufbau und Ablauf waren analog wie in 5.3 beschrieben gestaltet.

7.4 Ergebnisse

7.4.1 EKP-Daten

Die gemittelten EKPs für die pseudosprachlichen Sätze sind in Abb. 7-3 zu sehen. Beginnend mit einer Baseline von 200 ms vor Satzonset über eine Dauer von 4.500 ms sind die EKP-Muster für die Bedingung (A3), die nur eine IPh-Grenze enthält, als gepunktete Linie sowie die Bedingung (B3) mit zwei IPh-Grenzen als schwarze Linie dargestellt. Beide Bedingungen zeigen eine erwartete N100/P200-Abfolge, welche durch das Eintreffen des akustischen Inputs hervorgerufen wird.

Beide Bedingungen zeigen unterschiedliche EKP-Muster. Kondition B3 ruft einen ersten positiven Shift hervor, der bei 1500 ms startet, und einen zweiten, der bei ungefähr 2.500 ms beginnt. Bedingung A3 dagegen zeigt nur eine positive Wellenform, die bei ca. 2.000 ms startet. Beide Bedingungen unterscheiden sich statistisch signifikant voneinander.

Eine Interaktion des Faktors Bedingung mit dem Faktor Hemisphäre ($F[1,21]= 7,69; p<.01$) wird in einem Zeitfenster zwischen 1.500 und 2.000 ms

signifikant. Außerdem zeigt sich eine signifikante Interaktion des Faktors Bedingung mit dem Faktor Region ($F[2,42]= 7,12; p<.01$) ebenfalls in diesem Zeitfenster. Um die Interaktionen aufzuklären wurden Einzelanalysen gerechnet (siehe 5.4.2.1). Die weiteren Analysen ergaben einen Haupteffekt Bedingung an den rechten anterioren Elektroden ($F[1,21]= 5,94; p<.05$).

Ein zweiter Haupteffekt Bedingung ist in einem Zeitfenster zwischen 2.500 und 3.000 ms an den lateralen ($F[1,21]= 7,21; p<.05$) als auch an den Mittellinienelektroden ($F[1,21]= 5,68; p<.05$) zu beobachten.

Die Bedingung mit einer Intonationsphrasengrenze (A3) ruft also einen positiven Shift hervor, während Bedingung B3 mit zwei IPh-Grenzen zwei positive EKP-Muster zeigt.

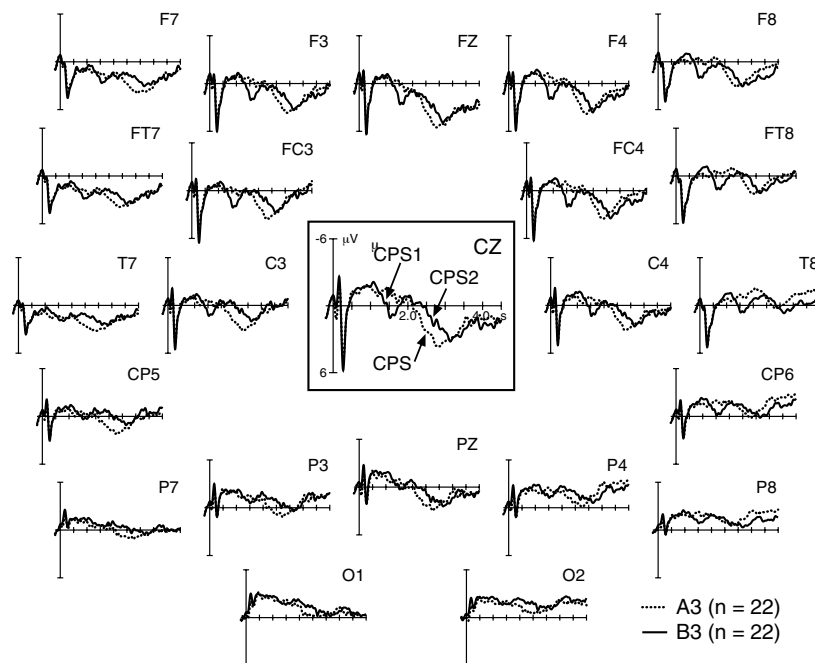


Abb. 7-3 EKPs über den gesamten Satz bei pseudoprachlichem Material für Bedingung A3 (gepunktet) und B3 (schwarz). B3 zeigt einen ersten positiven Shift, der bei ungefähr 1.500 ms beginnt, sowie einen zweiten Shift, welcher bei ca. 2.500 ms startet. Bedingung A3 dagegen zeigt nur einen positiven Shift, der bei ungefähr 2.000 ms beginnt.

7.4.2 Behaviorale Daten

Bei der Wort-Wiedererkennungsaufgabe mit pseudoprachlichem Stimulusmaterial betrug die durchschnittliche Reaktionszeit 576 ms, mit einer Standard-

abweichung von 422 ms. Es trat eine Fehlerrate von 34,3% gegenüber 63,1% richtig beantworteten Fragen auf. 2,6% wurden zu schnell oder zu langsam beantwortet.

Hier lag nun eine deutlich erhöhte Fehlerrate sowohl gegenüber den normalen (5,7%) als auch den syntaktischen Sätzen (19,1%) vor. Auch die Reaktionszeit stieg gegenüber den bisherigen Bedingungen an. Das legt die Vermutung nahe, dass die Verarbeitung von Material dieser Art größeren kognitiven Aufwand erfordert.

7.5 Zusammenfassung und Diskussion

Analog zu den bisher dargestellten Experimenten wurde den Probanden auch in diesem Versuch akustisches Stimulusmaterial dargeboten. Während der Darbietung hatten die Versuchspersonen eine Wort-Wiedererkennungsaufgabe zu erfüllen. Das in diesem Experiment verwendete Satzmaterial enthielt lediglich prosodische und phonemische Informationen, Inhalts- und Funktionswörter waren durch phonotaktisch legale Pseudowörter ersetzt worden.

Das Stimulusmaterial unterteilte sich wiederum in zwei unterschiedlich prosodisch strukturierte Bedingungen. Diese unterschiedliche prosodische Struktur konnte durch die akustischen Analysen belegt werden. Sie ergaben signifikante Unterschiede zwischen den beiden Bedingungen hinsichtlich der Dauerparameter und des Grundfrequenzverlaufs. Die akustischen Analysen zeigten auf, dass eine Bedingung (A3) nur eine IPh-Grenze enthielt und somit aus zwei Intonationsphrasen bestand. Dagegen wies die zweite Bedingung (B3) zwei IPh-Grenzen auf und setzte sich damit aus drei Intonationsphrasen zusammen.

Die behavioralen Daten wiesen eine hohe Fehlerhäufigkeit und hohe Reaktionszeiten gegenüber den bisher durchgeführten Experimenten auf. Das führte zu der Schlussfolgerung, dass die Verarbeitung ausschließlich prosodisch-phonemischer Information in einem erhöhten kognitiven Aufwand resultiert.

Die unterschiedlichen prosodischen Strukturen der beiden Bedingungen riefen wie erwartet signifikant unterschiedliche EKP-Muster hervor. Kondition A3 zeigte eine positive Wellenform, Kondition B3 zwei positive Shifts in Korrelation zu den jeweiligen IPh-Grenzen in den Bedingungen.

Im Gegensatz zu den Experimenten I und II ließ sich im ersten relevanten Zeitfenster kein Haupteffekt Bedingung feststellen. Der Unterschied zwischen den Bedingungen manifestierte sich in signifikanten Interaktionen der Faktoren Bedingung x Region und Bedingung x Hemisphäre. Die Auflösung dieser Interaktionen zeigte dann einen Haupteffekt Bedingung an den rechten frontalen

Elektroden. Stimulusmaterial, welches nur prosodische und phonetische Komponenten enthält, führt also in einem frühen Zeitfenster zu einer stärkeren frontalen Aktivierung an den rechtshemisphärischen Elektroden.

Im zweiten relevanten Zeitfenster war analog zu den Experimenten I und II (mit normalem Satzmaterial und syntaktischen Sätzen) ein signifikanter Haupteffekt Bedingung an den Mittellinienelektroden und an den lateralen Elektroden festzustellen.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass auch Material, welches keine semantische und syntaktische Information enthält, eine positive Wellenform im EKP in Relation zur Verarbeitung von IPh-Grenzen auslöst. Diese beobachtete positive Wellenform stimmt in Zeitbereich und Polarität mit der in den bisherigen Experimenten berichteten Komponente überein und ist deshalb als CPS zu definieren. Diese Ergebnisse stützen die Annahme von Steinhauer et al. (1999), die den CPS als prosodische Komponente beschreiben.

Bezüglich der aufgestellten Hypothesen lassen sich folgende Aussagen treffen:

Eine erste Hypothese vermutete voneinander abweichende EKP-Muster für die beiden, prosodisch unterschiedlich realisierten Bedingungen. Diese Hypothese kann bestätigt werden. Die statistischen Analysen weisen für die Bedingungen signifikante Unterschiede aus.

Die zweite aufgestellte Hypothese vertrat die Annahme, dass in Relation zu den IPh-Grenzen Bedingung A3 einen CPS hervorruft, wohingegen Bedingung B3 zwei CPS-Muster aufweist. Auch diese Hypothese ließ sich mit dem durchgeführten Experiment belegen.

Die Auslösung des CPS steht damit bei Stimulusmaterial, welches nur prosodische und phonemische Informationen enthält, ebenfalls in Korrelation mit der Verarbeitung prosodischer Phrasengrenzen.

Die dritte Hypothese vermutete eine stärker frontale Verteilung des CPS gegenüber normalsprachlichem Stimulusmaterial. Die EKP-Daten spiegeln eine stärker rechtsfrontale Verarbeitung der ersten Phrasengrenze in Bedingung B3 wider. Für das zweite relevante Zeitfenster lässt sich keine divergente Verteilung gegenüber der Verarbeitung von normalen Sätzen feststellen. So kann die dritte Hypothese nur als teilweise bestätigt angesehen werden.

8 Experiment IV: Prosodische Informationsverarbeitung bei gesummtem Material

8.1 Fragestellungen

Basierend auf den bisher durchgeführten Experimenten stellte sich nun die Frage, ob der CPS als eine ausschließlich prosodisch ausgelöste Komponente anzusehen ist. Wenn das der Fall wäre, müsste sie ebenfalls durch Stimulusmaterial ausgelöst werden, welches nur rein prosodische Informationen zur Interpretation durch den Hörer enthält und jeglicher phonemischer, syntaktischer und semantischer Input eliminiert ist.

Bisherige Untersuchungen (z.B. Steinhauer & Friederici, 2001; Toepel & Alter, 2002) verwendeten zu diesem Zweck delexikalisiertes Material. Dieses Material wurde erzeugt, indem die Sprachsignale einer speziell für diese Zwecke entwickelten Filtermethode (PURR, Sonntag & Portele, 1998) unterzogen wurden. Das Stimulusmaterial, welches dieser Prozedur unterzogen wurde, erlaubte die Erkennung der relevanten prosodischen Parameter wie Rhythmus und Intonationskontur, ließ jedoch nicht das Erkennen der lexikalischen Wortinformation zu. Steinhauer und Friederici (2001) berichten einen CPS in einem ersten relevanten Zeitfenster, jedoch das Ausbleiben einer späteren Positivierung in einem zweiten relevanten Zeitfenster. Zusätzlich zu diesem Ergebnis zeigte sich eine bedingungsunabhängige Negativierung über die gesamte Darbietung, welche vor allem an frontalen und zentralen Elektroden zu beobachten war. Ähnliche Ergebnisse berichten auch Toepel und Alter (2002).

Steinhauer und Friederici (2001) vermuteten einen möglicherweise doch vorhandenen Einfluss der Delexikalisierungsfilterung auf die Grenzmarkierung. Dies würde implizieren, dass eine frühe Phrasengrenze von vorn herein deutlicher markiert war und so zur Auslösung des ersten CPS führt. Eine mögliche Alternativerklärung der Autoren wäre aber auch die Vermutung, dass die Auslösung des CPS stärker als bisher angenommen von der aufmerksamen Verarbeitung der Phrasengrenze abhängen würde. Im Fall des durchgeführten Experimentes wäre es durchaus denkbar, dass die Probanden in erster Linie nur auf die aufgabenrelevante erste Phrasengrenze fokussierten, nicht aber auf die (nicht aufgabenrelevante) zweite Phrasengrenze.

Ziel dieses Experimentes war es nun, diese Vermutungen genauer zu hinterfragen und Beeinflussungen durch Filterungstechniken und Aufgabenfokussierung zu beseitigen.

Um also einen natürlichsprachlich klingenden Input zu schaffen, der trotzdem die Restriktionen des delexikalisierten Materials erfüllte, wurde nun gesummtes Stimulusmaterial konstruiert. So konnte sichergestellt werden, dass lediglich prosodische Parameter für eine Interpretation zur Verfügung standen, jedoch keine künstlich manipulierten Stimuli verwendet wurden. Zusätzlich wurde dadurch gewährleistet, dass kein Einfluss der Delexikalisierungsmethode auf prosodische Parameter, wie die Grenzmarkierungen bestand. Die Aufgabenstellung für die Probanden bestand dann auch hier in einem Wort-Wiedererkennungsparadigma. Dies sollte (neben der Vergleichbarkeit mit den bisher durchgeführten Experimenten) sicherstellen, dass die Probanden nicht nur auf ein frühes Element des akustischen Stimulus fokussierten.

Vermutet wurde nun, dass so hergestelltes Stimulusmaterial zu sowohl zu einem CPS in Korrelation zu einer ersten Phrasengrenze als auch zu einem späteren CPS in einem zweiten relevanten Zeitfenster führen würde. Eine weitere Annahme bestand darin, dass aufgrund der verwendeten Aufgabenstellung und der Natürlichkeit des Stimulusmaterials keine ausgeprägte bedingungsunabhängige Negativierung zu beobachten sein würde.

Zudem wurde für Stimulusmaterial ohne segmentale Information, wie es das gesummte Material darstellt, und welches nur ausschließlich prosodische Information zur Verfügung stellt, angenommen, dass die ausgelöste CPS-Komponente stärker rechtshemisphärisch ausgeprägt wäre. Anlass zu dieser Vermutung gaben bisherige Untersuchungen mit delexikalisiertem Material unter Verwendung von bildgebenden Verfahren (z.B. Meyer et al., 2002), die eine stärkere Aktivierung der RH bei der Verarbeitung von delexikalisiertem Material feststellten.

Zu diesem Zweck wurden analog zu den bisher durchgeführten Experimenten zwei Bedingungen konstruiert, die sich bezüglich ihrer Intonationsphrasierung unterschieden. Bedingung A4 bestand aus 2 Intonationsphrasen und enthielt somit nur eine IPh-Grenze. Dagegen wies Bedingung B4 zwei IPh-Grenzen auf und setzte sich aus 3 Intonationsphrasen zusammen.

Das führte zu folgenden Hypothesen:

1. Die zwei unterschiedlichen Intonationskonturen im gesummten Stimulusmaterial manifestieren sich in zwei signifikant unterschiedlichen EKP-Mustern.
2. Die Bedingung mit einer IPh-Grenze (A4) zeigt einen CPS, während die Bedingung mit zwei IPh-Grenzen (B4) zwei positive Shifts auslöst.
3. Das vollständige Fehlen segmentaler Information im Stimulusmaterial führt zu einer stärker rechtshemisphärisch ausgeprägten CPS-Komponente.

4. Die Natürlichkeit des gesummten Stimulusmaterials und die verwendete Aufgabenstellung gewährleisten eine ähnliche Amplitudenausprägung wie in den Experimenten I - III und verhindern eine starke bedingungs-unabhängige Negativierung.

8.2 Stimulusmaterial und akustische Analysen

In einem vierten Experiment sollte nun also die Verarbeitung von ausschließlich prosodischen Informationsmustern untersucht werden. Zu diesem Zweck wurden die Sätze von der Sprecherin derart eingesummt, dass sie zunächst einen normalsprachlichen Satz laut las und diesen anschließend mit dem gleichen Intonationsmuster laut summt. So entstanden pro Bedingung jeweils 48 gesummte Sätze, die weder variierende phonemische, noch syntaktische oder semantische Informationen enthielten. Das Summen der Sätze gewährleistete, dass lediglich die prosodischen Parameter wie Rhythmus und Intonationskontur erhalten blieben.

| | |
|----|---|
| A4 | [mm mmm mmmm mm mmmm] _{IPh1} [mmm mmm mmm mmm mmmm.] _{IPh2} |
| B4 | [mm mmm] _{IPh1} [mmmm mm mmmm] _{IPh2} [mmm mmm mmm mmm mmmm.] _{IPh3} |

Tabelle 8-1 Beispiele für das gesummte Material

Um die Aufgabenstellung des Wort-Wiedererkennungsparadigmas erfüllen zu können, mussten anders als in den bisher beschriebenen Experimenten für das gesummte Material zusätzliche so genannte „Fillersätze“ konstruiert werden. Zu diesem Zweck wurden noch einmal je 48 gesummte Sätze in beiden Bedingungen hergestellt und in diese Sätze einzelne „richtige“, d.h. normalsprachliche Worte (Probes) hineingeschnitten. Die Position dieser Worte innerhalb der Sätze wurde ebenfalls über alle möglichen Positionen randomisiert. Die dazu gehörigen Probes waren dann zu 50% in diesen Fillersätzen enthalten bzw. nicht enthalten.

Das Material bedingte es also, dass in allen Experimentalsätzen das Probe-Wort nicht enthalten und in den Fillersätzen zur Hälfte enthalten und zur Hälfte nicht enthalten war. Da aber für die Probanden bei Satzbeginn nicht vorhersehbar war, ob das gesummte Material ein Wort enthalten würde oder nicht, konnte trotzdem die Aufmerksamkeit der Versuchspersonen gewährleistet werden.

Dauerparameter

Die durchschnittliche Länge des gesummten Materials in Bedingung A4 betrug 3.538 ms, in Bedingung B4 3.754 ms. Die akustischen Analysen zeigen hier keinen signifikanten Unterschied in der Länge des ersten Fragments. Dieses ist in Bedingung A4 786 ms, in Bedingung B4 828 ms lang. Allerdings zeigt sich auch hier ein signifikanter Unterschied in der Pausenlänge, die diesem ers-

ten Fragment folgt. In Bedingung B4 ist diese Pause, die 317 ms andauert, signifikant länger als in Kondition A4 ($t[94] = -25,30$; $p < .01$). In Kondition A4 beträgt der Abstand zwischen erstem und zweitem Fragment nur etwa 10 ms. Beide Bedingungen weisen eine Pause nach dem zweiten Fragment auf. Das zweite Fragment endet in Bedingung A4 durchschnittlich bei 1.854 ms, in Bedingung B4 bedingt durch die längere erste Pause erst bei ca. 2.157 ms.

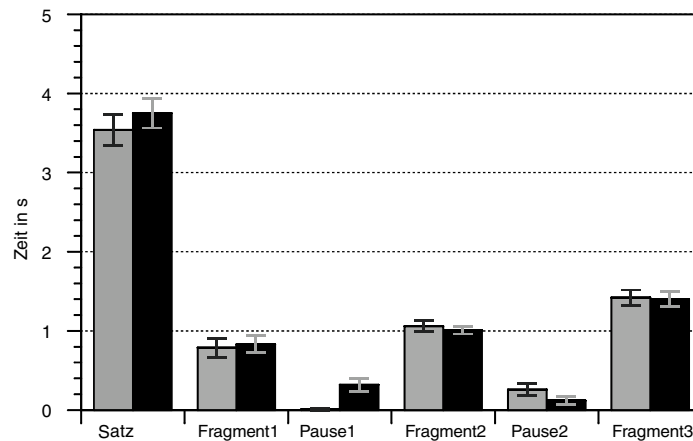


Abb. 8-1 Durchschnittliche Satzlängen bei gesummtem Material für Bedingung A4 (grau) und B4 (schwarz)

Grundfrequenzverlauf

Auch die Analysen der Grundfrequenz (siehe Abb. 8-2) zeigen Unterschiede zwischen den beiden Bedingungen.

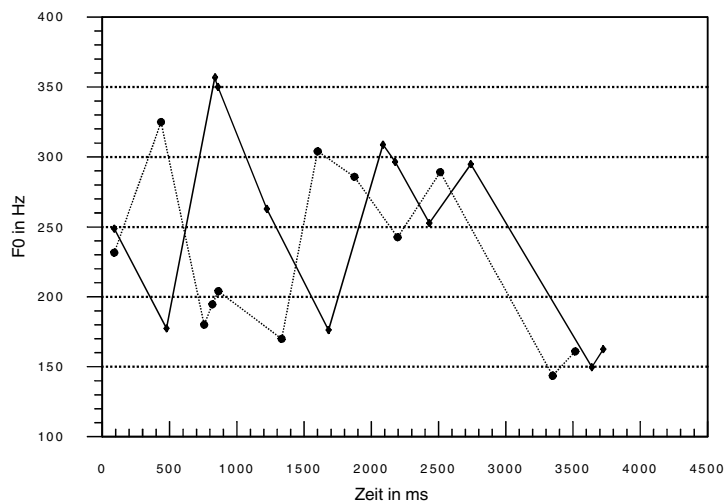


Abb. 8-2 Verlauf der Grundfrequenz (F0) bei gesummtem Material für Bedingung A4 (gepunktet) und B4 (schwarz)

Analog zu den bisherigen Bedingungen zeigt auch Kondition B4 einen hohen Grenztton gegen Ende des ersten Fragments (Wert 4 der Grafik). In Kondition A4 ist dieser Grenztton an dieser frühen Position nicht zu verzeichnen.

Dagegen zeigen beide Bedingungen einen Grenztton in der Position gegen Ende des zweiten Fragments (Wert 8 der Grafik). Auch hier kann also geschlossen werden, dass Bedingung A4 eine Intonationsphrasengrenze beinhaltet und somit aus zwei Intonationsphrasen besteht. Dagegen zeigt B4 zwei Intonationsphrasengrenzen und besteht also aus drei Intonationsphrasen.

8.3 Versuchsdurchführung

8.3.1 Probanden

An diesem Versuch nahmen 22 Probanden (11 weibliche) teil, deren Durchschnittsalter bei 24,5 Jahren lag. Die Versuchsteilnehmer erfüllten ebenfalls alle weiteren Voraussetzungen (wie unter 5.3.1 beschrieben).

8.3.2 Trialpräsentation

Auch beim Hören des gesummten Materials hatten die Probanden eine Wort-Wiedererkennungsaufgabe zu erfüllen, um die Aufgabenstellung über die gesamte Versuchsreihe konstant zu halten.

Bedingt durch die zusätzlichen Füllersätze wurden den Probanden in diesem Experiment also 192 Sätze und die dazugehörigen Probes präsentiert. Die Sätze wurden 8 Blöcken dargeboten, der Ablauf des Experimentes selbst war analog zu 5.3.3 gestaltet.

8.4 Ergebnisse

8.4.1 EKP-Daten

In Abb. 8-3 sind die gemittelten EKPs für das gesummte Material in den beiden Bedingungen dargestellt. Die Füllersätze wurden dabei von der Auswertung ausgeschlossen.

Beide Bedingungen zeigen zunächst eine Negativierung um 100 ms (N1), gefolgt von einer Positivierung von 200 ms (P2) und reflektieren damit die frühe Verarbeitung des akustischen Stimulus.

Auch hier ruft die Bedingung mit den zwei IPh-Grenzen (B4) zwei positive Shifts hervor, während Bedingung A4, die nur eine IPh-Grenze enthält, auch nur einen positiven Shift hervorruft. Außerdem ist ein zusätzlicher negativer Peak in einem sehr frühen Zeitfenster in Bedingung B4 zu beobachten. Dieser

Peak ist signifikant in einem Zeitfenster zwischen 500 und 1.000 ms an den lateralen ROIs ($F[1,21]=7,88$; $p<.01$) und an den Mittellinienelektroden ($F[1,21]=5,48$; $p<.05$).

Dieser Negativierung folgt ein positiver Shift in Kondition B4, der eine signifikante Interaktion der Faktoren Bedingung und Region auslöst ($F[2,42]=14,75$; $p<.01$) in einem Zeitfenster zwischen 1.000 und 1.500 ms.

Ein weiterer Unterschied im Verlauf der beiden Bedingungen wird in einem späteren Zeitfenster zwischen 2.000 und 2.500 ms an den Mittellinienelektroden statistisch signifikant ($F[1,21]=7,52$; $p<.01$). Zusätzlich ist eine Interaktion der Faktoren Bedingung und Hemisphäre zu beobachten ($F[1,21]=7,78$; $p<.01$). Weiterführende Analysen können dann einen Haupteffekt Bedingung an den rechtshemisphärischen Elektroden feststellen ($F[1,21]=6,04$; $p<.05$).

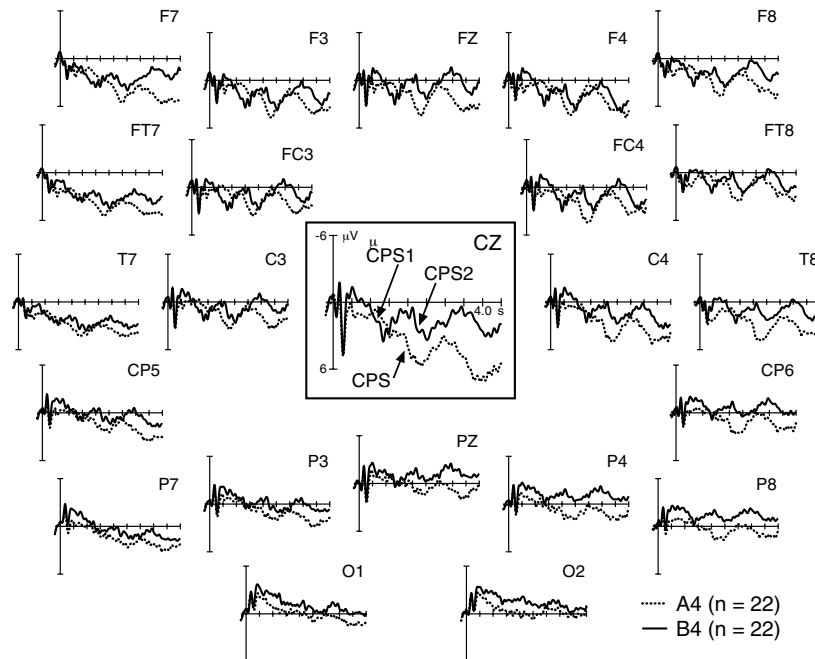


Abb. 8-3 EKPs über den gesamten Satz bei gesummtem Material für Bedingung A4 (gepunktet) und B4 (schwarz). B4 zeigt einen ersten negativen Shift in einem Zeitfenster zwischen 500-1.000 ms. Darauf folgt ein erster positiver Shift, der bei ungefähr 1.000 ms beginnt, sowie ein zweiter Shift, welcher bei ca. 2.500 ms startet. Bedingung A4 dagegen zeigt nur einen positiven Shift, der bei ungefähr 2.000 ms beginnt.

Post-hoc Hypothesen über den Einfluss der frühen Negativierung auf die Lokalisation des ersten positiven EKP-Musters führten zu einer erneuten Analyse

des relevanten Zeitfensters. Zu diesem Zweck wurde der Onset auf das individuelle Ende des ersten Fragmentes jedes einzelnen Items verschoben. In diesem Zeitfenster nach Beendigung des ersten Fragments wurde die erste positive Komponente vermutet. Auch bei den erneuten Analysen wurden Zeitfenster von 500 ms untersucht, um die Ergebnisse vergleichbar zu halten. In einem ersten Zeitfenster zwischen 0 – 500 ms ist ein starker positiver Shift für Bedingung B4 zu beobachten (siehe Abb. 8-4). In diesem Zeitfenster wird ein Haupteffekt Bedingung sowohl an den lateralen ROIs ($F[1,21]= 22,88$; $p<.01$) als auch an den Mittellinienelektroden ($F[1,21]= 20,39$; $p<.01$) signifikant.

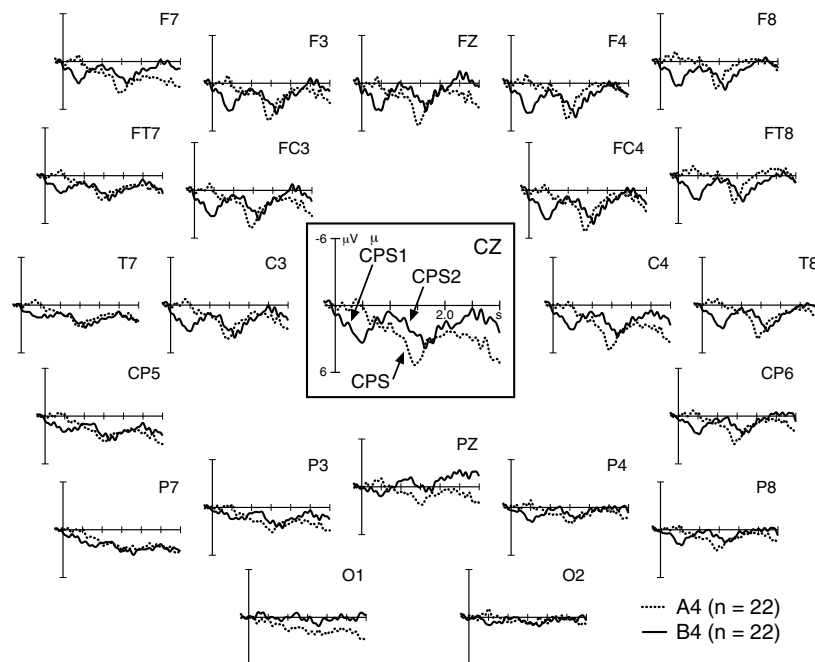


Abb. 8-4 EKPs beginnend nach dem ersten Fragment für Bedingung A4 (gepunktet) und B4 (schwarz)

Zusätzlich kann eine Interaktion der Faktoren Bedingung und Region an den lateralen ($F[2,42]= 19,59$; $p<.01$) und an den Mittellinienelektroden ($F[2,42]= 4,17$; $p<.05$) beobachtet werden. Weitere Analysen zeigen einen Haupteffekt Bedingung an den anterioren ($F[1,21]= 38,48$; $p<.01$) und an den zentralen Elektroden ($F[1,21]= 25,92$; $p<.01$).

Die unterschiedliche prosodische Struktur im gesummten Material führt also auch zu signifikant unterschiedlichen EKP-Mustern. Während Bedingung A4 mit nur einer Intonationsphrasengrenze nur einen positiven Shift hervorruft, zeigt Bedingung B4, die zwei Intonationsphrasengrenzen enthält, ebenfalls zwei positive Shifts sowie eine frühe Negativierung.

8.4.2 Behaviorale Daten

An dieser Stelle werden nur die Reaktionszeiten und die Fehlerhäufigkeiten auf die Experimentalsätze berichtet. Wie auch bei der Auswertung der EKP-Daten fließen die Fillersätze nicht in die Auswertung ein.

Die durchschnittliche Reaktionszeit betrug 406 ms, mit einer Standardabweichung von 290 ms. Die Probanden reagierten in 93,2% der Fälle richtig, in 4,8% falsch und in 2% der Entscheidungsaufgaben wurde zu schnell oder nicht reagiert. Hier ist also eine geringere Fehlerhäufigkeit gegenüber den Experimenten II und III zu beobachten. Auch die Reaktionszeit ist durchschnittlich kürzer.

8.5 Zusammenfassung und Diskussion

In Experiment IV wurde den Versuchspersonen gesummtes Stimulusmaterial akustisch dargeboten. Dieses Stimulusmaterial orientierte sich an den normalen Sätzen in Experiment I, deren prosodische Intonationskontur von einer Sprecherin gesummt wurde. So entstanden auch hier zwei Bedingungen mit unterschiedlicher prosodischer Phrasierung. Die akustischen Analysen konnten signifikante Unterschiede zwischen den beiden Bedingungen hinsichtlich der Dauerparameter und der Grundfrequenzverläufe belegen. Bedingung A4 bestand demnach aus zwei Phrasen und enthielt nur eine IPh-Grenze. Um Unterschied dazu enthielt Bedingung B4 zwei IPh-Grenzen und setzte sich aus drei Phrasen zusammen.

Die Probanden hatten während der Versuchsdarbietung eine Wort-Wiedererkennungsaufgabe zu erfüllen. Zu diesem Zweck enthielt das Stimulusmaterial Fillersätze, in die ein gesprochenes Wort eingebettet war, die aber nicht für die weitere Auswertung verwendet wurden. Die verkürzten Reaktionszeiten und die geringere Fehlerhäufigkeit gegenüber dem pseudosprachlichen Material lassen einen reduzierten kognitiven Aufwand vermuten. Das Detektieren einzelner Wörter in einem Korpus aus gesummtem Material stellte also keine große Beanspruchung an die Probanden dar.

Interessanterweise zeigte sich bei der Betrachtung der EKP-Muster über beide Bedingungen keine Negativierung, welche die bisherigen Studien mit delexikalisiertem Material berichteten (z.B. Steinhauer, 2001; Steinhauer & Friederici, 2001; Toepel & Alter, 2002). Die in diesen Studien berichtete Negativierung scheint also nicht von der Abwesenheit lexikalischer Information diktiert zu sein.

Beide Bedingungen werden bereits in einem frühen Zeitfenster unterschiedlich verarbeitet, was sich in einer signifikanten Negativierung von Bedingung B4 gegenüber A4 manifestiert. Ein rein prosodischer Input scheint also andere

Verarbeitungsmechanismen auszulösen als die Verarbeitung von Stimuli, die phonemische, syntaktische und/oder semantische Information beinhalten.

Bei der Analyse der akustischen Parameter zeigt Bedingung A4 einen frühen hohen Akzent am Beginn der ersten Intonationsphrase. Dieser Akzent ist in Bedingung B4 an dieser Position nicht enthalten. Dieses akustische Muster unterstützt jedoch die Annahme des Hörers über die nachfolgende prosodische Struktur der Äußerung (siehe z.B. Beach, 1991, Marslen-Wilson, Tyler, Warren, Grenier & Lee, 1992; Warren, Grabe & Nolan, 1995). Die frühe Negativierung in Bedingung B4 wird also interpretiert als ein reiner Detektionsmechanismus für das satzinitiale Akzentuierungsmuster, welches die impliziten Hypothesen des Hörers über die Länge der aktuell zu verarbeitenden prosodischen Phrase unterstützt.

Gefolgt wird diese Negativierung von einer positiven Amplitudenverschiebung in Bedingung B4. Diese Positivierung wird dann besonders deutlich, wenn der Onset der Mittelung auf das Ende des ersten Fragments verschoben wird. Dort wird zum einen die Komponente erwartet, zum anderen wird so die Überlagerung der Komponente durch die Negativierung vermieden. Diese erste Positivierung steht in Korrelation zur ersten IPh-Grenze in B4 und wird deshalb als CPS definiert.

Ein zweiter Unterschied zwischen den Bedingungen A4 und B4 manifestiert sich signifikant in einem späteren Zeitfenster. Dieser Unterschied spiegelt die Verarbeitung der IPh-Grenze in den jeweiligen Bedingungen wider und ist rechtshemisphärisch stärker ausgeprägt. Dieser Befund steht im Widerspruch zu den von Steinhauer & Friederici (2001) berichteten Daten, in denen eine späte Positivierung bei delexikalisiertem Material nicht beobachtet werden konnte.

An dieser Stelle können die Spekulationen der Autoren, die einen Einfluss der Delexikalisierungsmethode auf die Grenzmarkierungen oder der Aufgabenstellung auf die Aufmerksamkeitsfokussierung der Probanden nur auf ein frühes Zeitfenster nicht bestätigt oder widerlegt werden. Die Darbietung gesummter Intonationskonturen ohne segmentale Information bei Erfüllung eines Wort-Wiedererkennungsparadigmas jedoch führt zur Auslösung der CPS-Komponente sowohl in einem frühen als auch in einem späteren relevanten Zeitfenster in Korrelation zu den jeweiligen IPh-Grenzen.

Die stärkere rechtshemisphärische Ausprägung des CPS in einem späteren Zeitfenster dagegen steht in Übereinstimmung mit der aufgestellten Hypothese und bisherigen Befunden (siehe Meyer et al. 2002). Allerdings kann dies für das erste relevante Zeitfenster nicht berichtet werden, hier lässt sich kein Hemisphärenunterschied beobachten.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass eine erste Hypothese, welche die Manifestation unterschiedlicher Intonationskonturen der Bedingungen A4 und B4 in signifikant unterschiedlichen EKP-Mustern vermutete, bestätigt werden konnte.

Eine zweite Hypothese vertrat die Annahme, dass in Abhängigkeit der IPh-Grenzen die Bedingungen jeweils ein bzw. zwei CPS-Muster auslösen. Die Bedingung A4, die nur eine IPh-Grenze beinhaltet, zeigt auch nur einen CPS, während B4, mit zwei IPh-Grenzen auch zwei CPS-Muster auslöst. Damit gilt auch die zweite Hypothese als bestätigt. Die rein prosodische Information ist also eine ausreichende Bedingung einen CPS hervorzurufen, ein phonemischer, syntaktischer oder semantischer Input erscheint nicht erforderlich.

Die dritte aufgestellte Hypothese vermutete eine stärkere rechtshemisphärische Ausprägung des CPS. Tatsächlich lässt sich, im Unterschied zu den bisher dargestellten Experimenten dieser Arbeit, bei gesummtem Material eine rechtshemisphärische Lateralisierung in einem späten Zeitfenster feststellen. Allerdings gilt dies nicht für den CPS in Korrelation zur ersten IPh-Grenze in Kondition B4, also für ein früheres Zeitfenster. Damit kann die dritte Hypothese nur als teilweise angenommen angesehen werden.

Die vierte Hypothese vermutete eine ähnliche Amplitudenausprägung wie in den Experimenten I – III auch bei gesummtem Material. Des Weiteren wurde die Annahme formuliert, dass die Natürlichkeit des Stimulusmaterials und die verwendete Aufgabenstellung des Wort-Wiedererkennungsparadigmas eine bedingungsunabhängige Negativierung im EKP verhindert. Dies ließ sich mit dem durchgeführten Experiment bestätigen.

9 Experiment V: Prosodische Informationsverarbeitung bei künstlich manipuliertem Material

9.1 Fragestellungen

Nachdem ein Auslösen des CPS bei der Verarbeitung von IPh-Grenzen auch mit Stimulusmaterial nachgewiesen werden konnte, welches weder syntaktische, semantische noch variierende phonemische Informationen beinhaltet, stellte sich die Frage, ob zum einen die Erstellung des Materials die Voraussetzung für das Auslösen der CPS-Komponente darstellt. Zum anderen ist der Einfluss der Aufgabenstellung auf das Entstehen der CPS-Komponente im EKP von Interesse.

Wie bereits berichtet (siehe 8.1) wurden bisherige Untersuchungen zur Verarbeitung von rein prosodischer Information mit künstlich manipuliertem Stimulusmaterial durchgeführt. Im Gegensatz dazu wurde im beschriebenen Experiment IV von einer trainierten Sprecherin gesummes Material verwendet, welches die Anforderungen an delexikalisiertes Material ebenfalls erfüllte. Dieses Stimulusmaterial verletzte nicht das Hörempfinden der Probanden durch bestimmte Filtertechniken oder andere Arten künstlicher Manipulation, bot aber dem Hörer trotzdem nur einen rein prosodischen Input.

Wenn nun in der Natürlichkeit und Unverzerrtheit der dargebotenen Stimuli die Ursache dafür begründet liegen würde, dass keine bedingungsunabhängige Negativierung hervorgerufen wird und die Intonationsphrasengrenzen in ähnlicher Form verarbeitet werden wie bei normalem Satzmaterial, so müsste eine Verzerrung zu anderen Ergebnissen führen.

Um diese Vermutung genauer beleuchten zu können, wurde nun das gesummte Material künstlich verzerrt, so dass zwar die Intonationskontur erhalten blieb, jedoch der Eindruck der Natürlichkeit des Stimulusmaterials beim Hörer verloren ging. Auch hier war dann kein phonemischer, syntaktischer oder semantischer Input mehr vorhanden, lediglich die prosodischen Parameter stehen zur Interpretation zur Verfügung des Hörers. Basierend auf den Bedingungen A4 und B4 wurden nun die künstlich verzerrten Bedingungen A5 und B5 konstruiert, die dann jeweils eine (A5) bzw. zwei (B5) IPh-Grenzen auswiesen. Das so hergestellte akustische Material sollte nun ähnliche EKP-Muster wie bei Steinhauer & Friederici (2001) oder Toepel & Alter (2002) hervorrufen. Erwartet wurden nun auch eine starke bedingungsunabhängige Negativierung sowie ein Auslösen des CPS nur in einem frühen Zeitfenster.

Um einen Einfluss der Aufgabenstellung ausschließen zu können und um die Ergebnisse vergleichbar zu halten, fand auch hier ein Wort-Wiedererkennungsparadigma Verwendung. So kann auch der Vermutung nachgegangen werden, die Fokussierung auf ein frühes Zeitfenster im Stimulusmaterial verhindere das Auslösen der CPS-Komponente in einem späteren Zeitfenster.

Daraus ergaben sich folgende Hypothesen:

1. Die zwei unterschiedlichen Intonationskonturen des künstlich manipulierten Materials zeigen sich in unterschiedlichen EKP-Mustern.
2. Ein CPS wird nur durch die Bedingung B5, welche in einem frühen Zeitfenster eine IPh-Grenze aufweist, ausgelöst. Ein zweites CPS-Muster, in Korrelation zur zweiten IPh-Grenze in Bedingung B5 und zur ersten IPh-Grenze in A5 lässt sich nicht nachweisen.
3. Die Künstlichkeit des Stimulusmaterials führt zu einer starken bedingungsunabhängigen Negativierung im EKP.

9.2 Stimulusmaterial und akustische Analysen

In diesem Experiment wurde Stimulusmaterial verwendet, welches auf den unter 8.2 beschriebenen gesummtten Sätzen basierte. Dieses Material enthielt ausschließlich prosodische Information, der lexikalische Input war durch das Summen vollständig herausgelöst. Zusätzlich sollten die Stimuli nun künstlich manipuliert werden, um beim Hörer den Eindruck natürlicher Sprache zu tilgen. Dies geschah mit Hilfe des Programms Cool Edit. Dieses Programm ermöglicht es, bestimmte Verzerrungen in einem akustischen Stimulus vorzunehmen. In jedem gesummtten Satz wurden nun Verzerrungen derart vorgenommen, dass an der horizontalen Achse der Satz in winzige Segmente von 10 ms Dauer eingeteilt wurde und jedes zweite Segment entlang der Achse gespiegelt wurde. Das Anhören von solcherart manipuliertem Material hinterließ beim Hörer den Eindruck eines geringen Echos und verfälschte die Natürlichkeit des Stimulus. Trotzdem wurden alle weiteren Parameter wie Dauer und Verlauf der Grundfrequenz von dieser Manipulation nicht betroffen. Sie entsprachen den gesummtten Sätzen.

So entstanden zwei neue Bedingungen, die sich wiederum hinsichtlich ihrer prosodischen Phrasierung unterschieden. Bedingung A5 wies in Analogie zu A4 nur eine Phrasengrenze auf, während eine zweite Bedingung B5 (analog zu B4) zwei IPh-Grenzen beinhaltete. Für eine genaue Beschreibung der Dauerparameter und der Verläufe der Grundfrequenzen sei auf 8.2 verwiesen.

Die Differenzen zwischen dem gesummtten und dem verzerrten gesummtten Stimulusmaterial manifestieren sich in geringen Schwankungen im Verlauf der

Grundfrequenz. Abb. 9-1 illustriert beispielhaft diesen Verlauf bei einem ausgewählten Stimulus in Bedingung A4 (natürlich gesummt). Der identische Satz nach der Verzerrung ist in Abb. 9-2 dargestellt. Die Kontur weist in Bedingung A5 gegenüber A4 kleinste Zacken auf, die aber weder den Verlauf der Grundfrequenz noch die Dauerparameter beeinflussen.

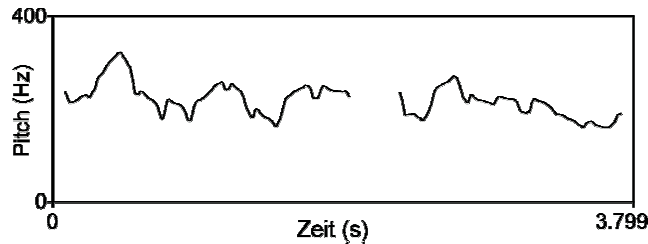


Abb. 9-1 Beispiel für den F0-Verlauf eines Stimulus in Bedingung A4

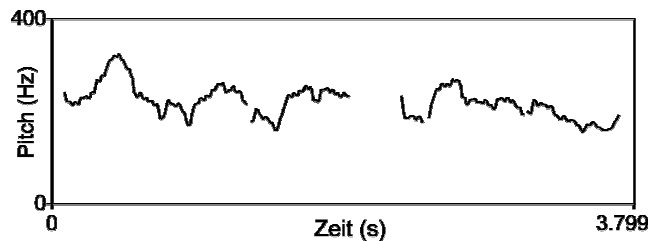


Abb. 9-2 Beispiel für den F0-Verlauf eines Stimulus in Bedingung A5

9.3 Versuchsdurchführung

An diesem Experiment nahmen 22 Versuchspersonen (11 weibliche) teil, deren Durchschnittsalter bei 24,1 Jahren lag und die ebenfalls alle weiteren Voraussetzungen (wie unter 5.3.1 beschrieben) erfüllten.

Die Trialpräsentation orientierte sich an Experiment IV (siehe 8.3.2), auch hier hatten die Probanden eine Wort-Wiedererkennungsaufgabe zu erfüllen, wobei zusätzlich zu den 96 Experimentalsätzen weitere 96 Fillersätze präsentiert wurden.

9.4 Ergebnisse

9.4.1 EKP-Daten

In Abb. 9-3 ist der gemittelte Verlauf über die Bedingungen A5 und B5 dargestellt. Auch hier gingen die Fillersätze nicht in die Auswertung ein. Bei der visuellen Inspektion fällt zunächst der deutlich negativere Verlauf in beiden Bedingungen gegenüber den bisher dargestellten Experimenten auf. Insbesondere

an den parietalen Elektroden zeigt sich ein stark ausgeprägter, bedingungs-unabhängiger negativer Shift.

Beide Bedingungen zeigen wie erwartet am Satzanfang eine fast identische Abfolge der N100 und der P200. Diese Abfolge spiegelt auch hier das Einsetzen des akustischen Stimulus wider. Gegenüber den bisher durchgeführten Experimenten fällt jedoch auf, dass bereits diese Komponenten an den parietalen Elektroden einen deutlich negativeren Verlauf haben.

Beginnend bei ca. 1.000 ms divergieren die Kurven dann bedingungsabhängig. Bedingung B5 zeigt einen positiveren Verlauf gegenüber A5, obwohl die Potentialverschiebung nicht in den positiven Bereich gelangt.

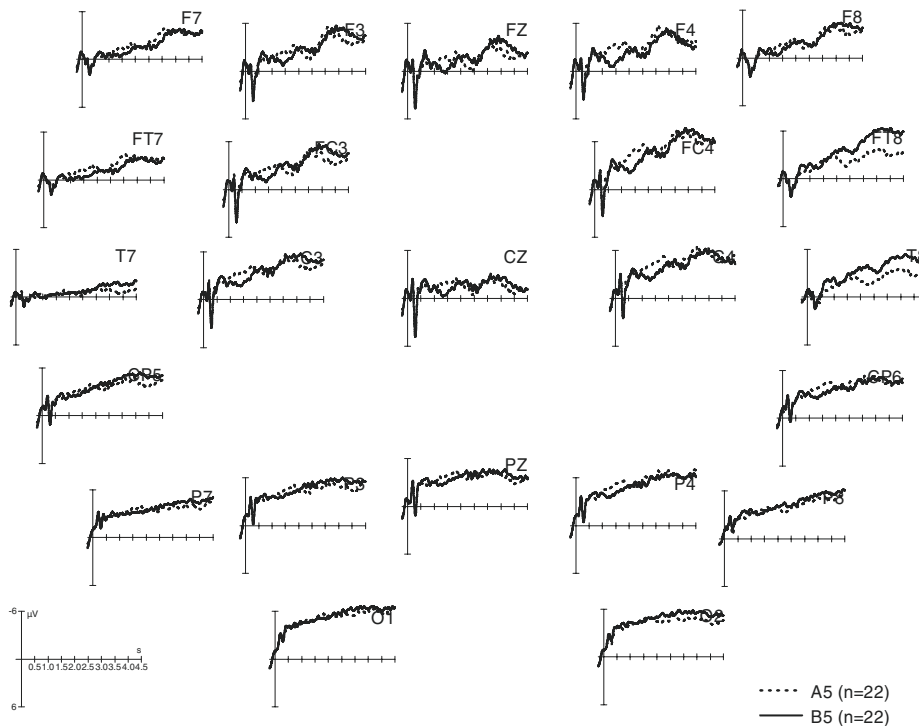


Abb. 9-3 EKPs über den gesamten Satz bei künstlich verzerrtem, gesummtem Material für Bedingung A5 (gepunktet) und B5 (schwarz). Bedingung B5 zeigt einen positiven Shift an frontalen und zentralen Elektroden, der bei ca. 1.200 ms beginnt.

Die statistischen Analysen können in einem Zeitfenster zwischen 1.000 ms und 1.500 ms eine Interaktion der Faktoren Bedingung x Region ($F[2,42]= 6,01$; $p<.01$) an den lateralen Elektroden nachweisen. Obwohl eine Positivierung für Bedingung B5 in diesem Zeitfenster an den frontalen Elektroden zu beobachten

ist, lässt sich kein Haupteffekt Bedingung nachweisen. Der Einfluss der Negativierung scheint die Effekte zu überlagern und sie somit nicht nachweisbar zu machen. Auch ein möglicherweise vorhandener zweiter positiver Shift kann statistisch nicht sichtbar gemacht werden.

Da eine starke Negativierung über beide Bedingungen alle anderen Effekte vermutlich überlagert, wurden nun auch hier erneute Analysen durchgeführt. Dabei wurde der Onset wiederum auf das individuelle Ende des ersten Fragments verschoben, weil in diesem Zeitfenster die erste positive Komponente für die Bedingung mit den zwei IPh-Grenzen (B5) erwartet wurde. Kondition B5 weist in dieser Position im Unterschied zu A5 die erste Intonationsphrasengrenze auf.

Abb. 9-4 zeigt den Verlauf der beiden Bedingungen nach dem Ende des ersten Fragments. Hier zeigt sich deutlich der insgesamt weniger negative Verlauf gegenüber der Gesamtdarstellung. In Bedingung B5 wird eine starke positive Abweichung gegenüber dem Verlauf der Bedingung A5 deutlich. Die Bedingungen weisen einen signifikant unterschiedlichen Verlauf auf.

Es lässt sich ein Haupteffekt des Faktors Bedingung sowohl an den lateralen ROIs ($F[1,21]= 15,29$; $p<.01$) als auch an den Mittellinienelektroden ($F[1,21]= 12,74$; $p<.01$) in einem Zeitfenster von 500 ms nach Offset des ersten Fragments nachweisen.

Auch in dem darauf folgenden Zeitfenster von 500 - 1.000 ms existiert ein Haupteffekt Bedingung (laterale ROIs: $F[1,21]= 8,10$; $p<.05$, Mittellinienelektroden: $F[1,21]= 6,17$; $p<.05$) sowie eine Interaktion der Faktoren Bedingung x Region an den lateralen ROIs ($F[2,42]= 6,76$; $p<.05$). Die Bedingung B5, welche zwei IPh-Grenzen aufweist, zeigt also in Korrelation zur ersten IPh-Grenze eine Positivierung im EKP auf.

Im weiteren Verlauf der Bedingungen ist eine Positivierung zu beobachten, die in Bedingung A5 bei etwa 1.000 ms beginnt und ihr Maximum bei ca. 1.500 ms nach Ende des ersten Fragments erreicht. In Bedingung B5 startet eine zweite Positivierung geringfügig später gegenüber A5 bei etwa 1.200 ms und erreicht das Maximum bei 1.700 ms (siehe Abb. 9-4). Diese spätere Positivierung ist sowohl bei der Betrachtung der Bedingungsverläufe ab Stimulusonset als auch ab dem Ende des ersten Fragments zu sehen. Sie erscheint rechtshemisphärisch etwas stärker ausgeprägt.

Insgesamt jedoch ist dieses zwischen den Bedingungen divergierende EKP-Muster nicht stark genug ausgeprägt, um statistisch nachgewiesen werden zu können. Weder in den Analysen beginnend ab dem Stimulusonset, noch in den Berechnungen, die an dem Ende des ersten Fragments beginnen, lassen sich in einem späteren Zeitfenster signifikante Unterschiede berichten.

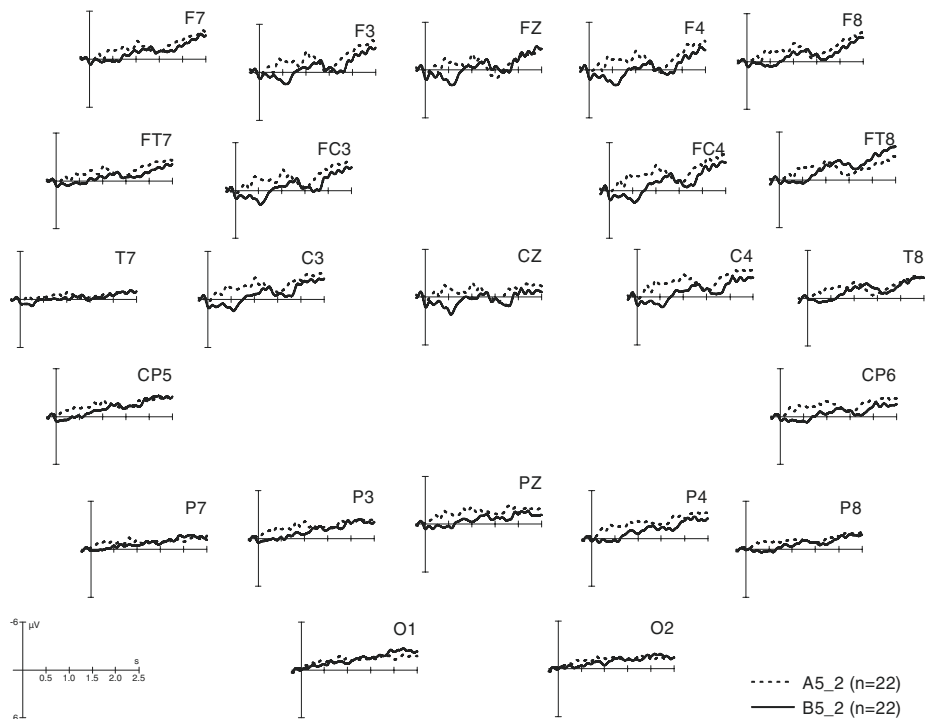


Abb. 9-4 EKPs der Bedingungen A5 (gepunktet) und B5 (schwarz) beginnend nach dem ersten Fragment bis 2.500 ms.

In Bedingung B5, welche zwei IPh-Grenzen enthält, lässt sich also ein erstes positives EKP-Muster nachweisen. Diese Positivierung steht in Korrelation zur Position der ersten IPh-Grenze in dieser Bedingung. Das lässt sich insbesondere auch durch die Verschiebung des Mittelungsbeginns auf das Ende des ersten Fragments nachweisen. An dieser Stelle wird eine erste signifikante Abweichung der Bedingungen voneinander erwartet, da Kondition B5 an dieser Position eine IPh-Grenze aufweist, die in A5 nicht vorhanden ist.

Eine zweite Positivierung in Bedingung B5 in Korrelation zur zweiten IPh-Grenze, sowie eine Positivierung in A5 in Korrelation zur IPh-Grenze lässt sich zwar bei Betrachtung der Verläufe feststellen, jedoch nicht statistisch signifikant nachweisen.

9.4.2 Behaviorale Daten

Da die Füllersätze auch hier von der weiteren Auswertung ausgeschlossen wurden, werden nur die Reaktionszeiten und Fehlerhäufigkeiten auf die Experimentalsätze berichtet.

Die durchschnittliche Reaktionszeit bei der Wort-Wiedererkennung betrug 367 ms, mit einer Standardabweichung von 331 ms. Die Fehlerhäufigkeit betrug 3,3%, gegenüber 92,8% korrekten Reaktionen. In 3,8% der Fälle wurde zu schnell oder zu langsam reagiert. Auch hier ist also eine kurze Reaktionszeit bei sehr geringer Fehlerhäufigkeit zu beobachten.

9.5 Zusammenfassung und Diskussion

Basierend auf dem konstruierten gesummtten Stimulusmaterial wurde ein Korpus künstlich verzerrter gesummtter Sätze geschaffen. Dieses Material enthielt ebenfalls weder semantische, syntaktische noch variierende phonemische Information. Im Unterschied zu Experiment IV war es jedoch zusätzlich künstlich manipuliert worden.

Das dargebotene Stimulusmaterial unterschied sich auch in diesem Experiment in zwei Bedingungen. Bedingung A5 (die auf der Manipulation der Sätze in A4 basierte) zeigte eine Intonationsphrasengrenze, während Bedingung B5 (basierend auf der Manipulation des Stimulusmaterials B4) zwei IPh-Grenzen aufwies.

Den Probanden wurde dieses Stimulusmaterial akustisch dargeboten. Sie hatten analog zu den gesummtten Sätzen eine Wort-Wiedererkennungsaufgabe zu erfüllen (siehe 8.3.2), die verwendeten Füllersätze, in welche ein gesprochenes Wort eingebettet war, wurden auch hier von der weiteren Auswertung ausgeschlossen. Die kurzen Reaktionszeiten und die geringe Fehlerhäufigkeit lassen hier, wie auch bei dem gesummtten Stimulusmaterial, einen reduzierten kognitiven Aufwand bei der Aufgabenerfüllung vermuten. Die reine Detektion gesprochener Wörter in einem Korpus aus künstlich verzerrtem, gesummttem Stimulusmaterial war für die Versuchspersonen eine nur geringe Beanspruchung.

Im Unterschied zu allen in dieser Arbeit bisher beschriebenen Experimenten zeigte sich bedingungsunabhängig eine starke Negativierung über den gesamten Verlauf der ereigniskorrelierten Potentiale. Diese Negativierung war an den parietalen Elektroden am stärksten ausgeprägt. Eine bedingungsunabhängige Negativierung bei künstlich bearbeitetem delexikalisiertem Material wird auch u.a. von Steinhauer & Friederici (2001) und Toepel & Alter (2002) berichtet. In beiden EKP-Untersuchungen war durch eine Filtertechnik (PURR, Sonntag & Portele, 1998) der sprachliche Input soweit reduziert worden, dass nur noch prosodischer Input zur Verfügung der Hörer stand. Übereinstimmend zeigte sich eine starke Negativierung, die jedoch im Unterschied zu Experiment V frontal am stärksten ausgeprägt war. Der Grund für diese Negativierung scheint also nicht in der Tatsache begründet, dass kein semantischer, syntaktischer

und/oder phonemischer Input mehr vorhanden ist. Wäre dies der Grund, hätten bereits die gesumnten Sätze eine derartige Negativierung aufweisen müssen. Da das nicht zutrifft, scheint also der manipulierte akustische Input der Auslöser dieser Negativierung im EKP zu sein.

Trotz dieser ausgeprägten Negativierung zeigen die beiden Bedingungen divergente Verläufe. Bedingung B5 zeigt eine erste Positivierung, die bei etwa 1.000 ms nach Stimulusonset beginnt und ihr Maximum bei 1.500 ms erreicht. Sie ist nur an den frontalen und zentralen Elektroden feststellbar. Da diese Positivierung in Korrelation zur ersten IPh-Grenze in dieser Bedingung steht und einen ähnlichen Verlauf sowie Latenz eines CPS-Musters hat, wird diese Positivierung ebenfalls als Closure Positive Shift beschrieben. In der bereits erwähnten Untersuchung von Steinhauer et al. (2001) mit gefiltertem Stimulusmaterial wurden ebenfalls zwei Bedingungen verwendet, die sich in ihrer prosodischen Phrasierung unterschieden. Auch hier konnte ein erster CPS nur durch das prosodische Muster ausgelöst werden.

Auch ein zweiter CPS in Bedingung B5 und ein CPS in Bedingung A5 in Korrelation zu den jeweiligen IPh-Grenzen ist bei visueller Inspektion der EKPs erkennbar. Jedoch war das erwartete CPS-Muster weniger deutlich und verfehlte das Signifikanzniveau. Auch Steinhauer und Friederici (2001) berichteten diese Ergebnisse. Trotz Nachweises des ersten CPS-Musters, konnte der zweite erwartete CPS nicht gezeigt werden. Damit scheint gesichert, dass das Ausbleiben des CPS in diesem späteren Zeitfenster nicht in Zusammenhang steht mit einer Aufgabenstellung, welche die Fokussierung auf frühe Zeitfenster erfordert. Der spätere CPS bleibt auch mit einer Aufgabenstellung, welche nur einen relativ geringen kognitiven Aufwand erfordert und keine Fokussierung auf bestimmte Zeitfenster nahe legt, aus. Damit scheint die Art der Aufgabenstellung keinen oder nur einen sehr geringen Einfluss auf die Verarbeitung prosodischer Phrasengrenzen zu besitzen und das Auslösen einer CPS weitgehend unabhängig von der kognitiven Beanspruchung durch den verwendeten Task.

Hinsichtlich der Verteilung der CPS-Muster kann dieses Experiment also die Daten von Steinhauer & Friederici replizieren. Ein CPS in einem frühen Zeitfenster ist belegbar, die divergenten Verläufe der Bedingungen in einem späteren Zeitfenster lassen sich jedoch statistisch nicht nachweisen. Auch eine Negativierung ist feststellbar. Allerdings scheint die Verzerrung im Unterschied zu den Filtertechniken eine stärker parietal ausgeprägte Negativierung auszulösen.

Die erste aufgestellte Hypothese vermutete in Abhängigkeit der unterschiedlichen Intonationskonturen in den beiden Bedingungen auch unterschiedliche EKP-Verläufe. Dies ließ sich mit dem durchgeführten Experiment bestätigen.

Die EKP-Muster der Bedingungen A5 und B5, welche unterschiedliche Intonationsphrasierungen aufweisen, unterscheiden sich signifikant voneinander.

Die zweite Hypothese besagte, dass sich ein CPS nur in einem frühen Zeitfenster für Bedingung B5 nachweisen lässt. Bedingung B5 weist, im Unterschied zu A5, eine Intonationsphrase in einem frühen Zeitfenster auf. Ein zweites CPS-Muster in Korrelation zur zweiten IPh-Grenze in B5 und zur ersten IPh-Grenze in A5 zeigt sich nicht. Auch diese Hypothese konnte mit dem durchgeführten Experiment belegt werden. Ein CPS lässt sich nur in Bedingung B5 in Korrelation zur ersten IPh-Grenze nachweisen. Weitere Effekte lassen sich zwar bei der visuellen Inspektion der Muster erkennen, verfehlen jedoch das Signifikanzniveau.

In einer dritten Hypothese wurde eine starke bedingungsunabhängige Negativierung im EKP in Abhängigkeit von der Künstlichkeit des Stimulusmaterials vermutet. Auch diese dritte Hypothese kann mit dem Untersuchungsmaterial bestätigt werden. Das künstlich verzerrte Material löste eine bedingungsunabhängige Negativierung aus, die jedoch parietal ihre stärkste Ausprägung aufwies.

10 Abschließende Diskussion und Ausblick

10.1 Zusammenfassende Ergebnisse

Im Mittelpunkt der vorliegenden Arbeit stand die Untersuchung der sprachlich relatierten Komponente CPS. Erste Studien (Steinhauer et al., 1999) konnten den Nachweis erbringen, dass diese Komponente in Relation zur Verarbeitung von IPh-Grenzen auftritt. Um die Natur dieser für die Sprachverarbeitung wichtigen Komponente näher zu beleuchten, wurde die dargebotene Information systematisch variiert. Damit sollte der Einfluss segmentaler Information auf die prosodische Verarbeitung genauer untersucht und beschrieben werden.

Zu diesem Zweck wurde ein Untersuchungsdesign konstruiert, welches es erlaubte, die dargebotene Information schrittweise zu reduzieren bis hin zur völligen Eliminierung segmentaler Information. Es wurden 5 verschiedene Experimente mit identischem Aufgabendesign, jedoch unterschiedlichem Stimulusmaterial durchgeführt.

Die Probanden hatten über alle verwendeten Stimulustypen hinweg ein Wort-Wiedererkennungsparadigma zu erfüllen. Diese Aufgabe gestattete es, die kognitiven Anforderungen der Versuchspersonen über alle Experimente hinweg vergleichbar zu gestalten und Aufgabeneffekte auszuschließen.

Erhoben wurden die EKPs der Versuchspersonen während der akustischen Darbietung des Stimulusmaterials sowie behaviorale Daten in Form von Reaktionszeiten und Fehlerhäufigkeiten.

In einem ersten Experiment fanden normale Sätze Verwendung. Basierend auf diesem Satzmaterial wurde für ein zweites Experiment syntaktisches Material entwickelt, welches zwar noch syntaktische Information lieferte, jedoch keinen semantisch sinnvollen Inhalt enthielt. In einem dritten Schritt wurde aus diesem Stimulusmaterial ebenfalls alle syntaktische Information getilgt. Für ein viertes Experiment wurde das Stimulusmaterial unter Beachtung der Intonationskontur von einer Sprecherin eingesummt. Ein abschließendes Experiment sollte dann die Abhängigkeit der Verarbeitung prosodischer Information von einem natürlichsprachlichen Input klären. Zu diesem Zweck wurde das gesummte Material künstlich verzerrt.

Über alle Satztypen hinweg fanden zwei Bedingungen Verwendung, die jeweils unterschiedliche Intonationsmuster aufwiesen. Diese beiden unterschiedlichen Intonationsmuster wurden in allen Variationen vergleichbar gehalten. Dies konnte mit den akustischen Analysen nachgewiesen werden. Weiterhin belegten die akustischen Analysen, dass sich die Sprachsignale in den beiden verwendeten Satztypen systematisch unterscheiden. Ein erster Satztyp (A) be-

stand dabei aus zwei IPhs und enthielt somit nur eine IPh-Grenze. Dem gegenüber stand ein zweiter Satztyp (B), welcher aus drei IPhs bestand und somit zwei IPh-Grenzen enthielt.

Im Folgenden soll zunächst noch einmal ein kurzer Überblick über die wichtigsten Ergebnisse der fünf Experimente gegeben werden. Daran schließt sich eine Diskussion an, welche versucht, die Einordnung des CPS in die bisherige Befundlage zu beschreiben. Ein Ausblick auf offen gebliebene Fragen und weitere interessante Aspekte, die in dieser Arbeit jedoch nicht abgehandelt werden konnten, bildet den Abschluss der vorliegenden Arbeit.

10.1.1 Der CPS und die N400/P600-Komponente in normalsprachlichem Stimulusmaterial

In einem ersten Experiment sollten zunächst die von Steinhauer et al. (1999) gefundenen Daten zu einer prosodisch relatierten Komponente, der CPS, repliziert werden und eine Kontrollbedingung für die nachfolgenden Experimente geschaffen werden. Des Weiteren sollte die Frage der Abhängigkeit von der verwendeten Aufgabenstellung bei der Entstehung eines Syntax- Prosodie-Mismatches nachgegangen werden. Verwendung fanden dabei zwei korrekte Satzbedingungen sowie eine Verletzungsbedingung, welche aus den beiden korrekten Bedingungen zusammen geschnitten (gespliced) war.

Dieses erste Experiment mit normalsprachlichem Stimulusmaterial konnte zwei Ergebnisse erbringen. Zum einen konnte klar der CPS als prosodisch relatierte Komponente in Korrelation zur Verarbeitung von IPh-Grenzen nachgewiesen und bestätigt werden. Die beobachtete Komponente war an allen Elektrodenpositionen nachzuweisen und bilateral verteilt. Damit entsprach die gefundene Komponente in Polarität und Topografie den von Steinhauer et al. (1999) berichteten Daten. Damit kann die Komponente des CPS als weiter etabliert angesehen werden.

Eine zweite Fragestellung dieses ersten Experimentes betraf die Auslösung eines N400/P600-Musters im EKP durch einen Syntax- Prosodie-Mismatch unter Verwendung eines Wort-Wiedererkennungsparadigmas. Hierbei fand Satzmaterial Verwendung, welches durch rein prosodische Manipulation eine inkorrekte Bedingung darstellte. Es konnte nachgewiesen werden, dass auch diese Aufgabenstellung, welche nicht zwingend eine tiefere inhaltliche Verarbeitung des verwendeten Stimulusmaterials erforderlich machte, für die Auslösung dieses biphasischen Musters eine ausreichende Bedingung darstellt.

Allerdings gestaltete sich die Verteilung der Komponenten anderes als in bisher berichteten Untersuchungen (Steinhauer et al., 1999), die eine zentroparietale Ausprägung beschrieben. In diesem Experiment konnte eine erste

negative Komponente mit einer fronto-zentralen Ausprägung festgestellt werden. Sie wurde gefolgt von einer positiven Komponente, die besonders an den Mittellinienelektroden ausgeprägt war. Jedoch wurde dieses beobachtete Muster trotzdem als N400/P600-Komplex interpretiert, da sowohl die Abfolge der Komponenten als auch ihre zeitliche Auflösung in Übereinstimmung mit der bisherigen Befundlage waren. Die N400-Komponente spiegelt dabei vermutlich semantische Integrationsprobleme wider und den nochmaligen lexikalischen Zugriff auf den Verbeintrag. Die P600 wird dagegen als Korrelat der Reanalyse und Korrektur der nicht kompatiblen Satzanalyse interpretiert (Friederici, 1995). Damit wurde ein weiterer Beleg dafür erbracht, dass dieser Komplex auch durch einen prosodisch induzierten Mismatch ausgelöst werden kann.

Ein biphasischer N400/P600-Komplex als Reaktion auf einen Syntax-Prosodie-Mismatch lässt sich also auch durch eine Aufgabenstellung auslösen, welche keinen großen kognitiven Aufwand erfordert. Die geringe Aufgabenanforderung spiegelt sich dabei in den kurzen Reaktionszeiten und den sehr geringen Fehlerhäufigkeiten der Probanden während dieses Versuches wider.

Der CPS wurde also erwartungsgemäß in Relation zur Verarbeitung von IPh-Grenzen ausgelöst. Er war bilateral über alle Elektroden verteilt. Die verwendete Aufgabenstellung war trotz geringer Schwierigkeit ein ausreichender Auslöser für das Entstehen eines biphasischen N400/P600-Musters bei der Verarbeitung eines Syntax-Prosodie-Mismatch.

10.1.2 Der CPS bei syntaktischem Stimulusmaterial

Um den CPS als prosodisch relationierte Komponente genauer spezifizieren zu können, wurde für ein zweites Experiment das Stimulusmaterial derart manipuliert, dass alle Inhaltswörter durch Pseudowörter ersetzt wurden. Diese Pseudowörter verstießen nicht gegen das Hörempfinden deutscher Muttersprachler. Die Sätze waren durch diese Art der Manipulation ohne semantischen Inhalt, ihre syntaktische Struktur jedoch blieb unverletzt erhalten. Die so konstruierten Sätze bildeten das syntaktische Stimulusmaterial.

Basierend auf dem im ersten Experiment verwendeten Stimulusmaterial fanden hier zwei Satztypen Verwendung, welche sich signifikant hinsichtlich ihrer Intonationskontur unterschieden. Im EKP riefen beide Bedingungen dann auch signifikant unterschiedliche Muster hervor. In beiden Bedingungen konnte ein CPS in Relation zu den jeweiligen Intonationsphrasengrenzen nachgewiesen werden. Das heißt semantischer Input ist kein notwendiger Auslöser für die Komponente des CPS. Auch ohne semantischen Inhalt, sondern nur durch syntaktische und phonemische sowie prosodische Information wird ein CPS in Korrelation zur Verarbeitung von IPh-Grenzen hervorgerufen.

Die Verteilung der Komponente gestaltete sich allerdings geringfügig anders als in normalsprachlichem Stimulusmaterial. Auch hier ist die Verteilung der Komponente bilateral. Anders jedoch als im ersten Experiment zeigt sich in einem frühen Zeitfenster, in welchem der erste CPS erwartet wird, eine stärker frontale und zentrale Verteilung. Das spricht für eine abweichende Verarbeitung des syntaktischen Stimulusmaterials gegenüber Material mit semantischem Inhalt. Es scheint, dass die Ungewöhnlichkeit des Inputs zu einer stärker ausgeprägten fronto-zentralen Verteilung führt.

Allerdings lässt sich diese abweichende Verteilung nur in einem frühen Zeitfenster nachweisen. Der in einem späteren Zeitfenster erwartete CPS zeigte keine Unterschiede hinsichtlich der Verteilung bei der Verarbeitung von syntaktischem gegenüber normalem Material.

Ein CPS wird also bereits nur durch das Vorhandensein syntaktischer, phonemischer und prosodischer Information ausgelöst, semantischer Inhalt ist keine notwendige Bedingung für diese Komponente. Allerdings scheint die Verteilung der Komponente in einem frühen Zeitfenster abweichend von normalem Satzmaterial stärker fronto-zentral zu sein.

10.1.3 Der CPS bei pseudosprachlichem Material

In einem dritten Experiment wurde nun der sprachliche Input derart weiter manipuliert, dass neben der semantischen Information zusätzlich jegliche syntaktische Information eliminiert war. Basierend auf dem syntaktischen Satzmaterial des vorherigen Experimentes wurden auch alle syntaktischen Elemente durch Pseudowörter ersetzt. Das verwendete Stimulusmaterial enthielt jetzt lediglich noch prosodische und phonemische Informationen. Ziel dieser Manipulation war es festzustellen, ob auch Stimulusmaterial ohne syntaktischen und semantischen Inhalt in der Lage ist, einen CPS hervorzurufen. Auch hier war das Stimulusmaterial analog zu den Vorgängerexperimenten in zwei Bedingungen, die sich signifikant hinsichtlich ihrer Intonationskontur unterschieden, unterteilt.

Die EKPs unterschieden sich in den zwei Bedingungen signifikant voneinander. In Korrelation zu den IPh-Grenzen innerhalb des Stimulusmaterials werfen beide Bedingungen die erwarteten positiven Wellenmuster auf. Allerdings ist in einem ersten, frühen Zeitfenster im Gegensatz zu den bisherigen Bedingungen kein Haupteffekt Bedingung festzustellen. Hier lässt sich eine statistisch signifikante Interaktion manifestieren, die nach Auflösung einen Haupteffekt Bedingung an den rechten frontalen Elektroden ausweist. Hier ist also die Verteilung anders als bei syntaktischem und normalsprachlichem Material stärker rechtsfrontal ausgeprägt. Trotz abweichender Topografie wird diese positive Wellen-

form ebenfalls als CPS beschrieben, da sie trotzdem in Polarität und zeitlicher Ausdehnung mit den bisher berichteten Daten übereinstimmt.

Diese unterschiedliche Ausprägung zeigt sich allerdings nicht in einem späteren Zeitfenster. Hier ist ein Haupteffekt Bedingung wie auch bei syntaktischem und normalsprachlichem Material bilateral über alle Elektroden verteilt.

Das verwendete Stimulusmaterial, welches ausschließlich prosodische und phonemische Information bereitstellt, löst also bei der Verarbeitung der Intonationskontur ebenfalls einen CPS aus. Dieser CPS zeigt in einem frühen Zeitfenster eine abweichende Topografie und ist stärker rechts-frontal ausgeprägt. In einem späteren Zeitfenster dagegen stimmt er in Topografie und Polarität mit der Ausprägung des CPS in normalsprachlichem Material überein. Das verwendete pseudosprachliche Material scheint also nur in einem frühen Zeitfenster abweichend verarbeitet zu werden. Hingegen weist die weitere spätere Verarbeitung keine Unterschiede mehr auf. Bereits bei syntaktischem Material deutete sich eine unterschiedliche Verarbeitung zu einem frühen gegenüber einem späteren Zeitpunkt während der Satzdarbietung an. Eine stärker frontale Ausprägung der beobachteten Komponente zeigte sich auch bei syntaktischem Material. Diese frontale Ausprägung, die zusätzlich noch stärker rechts lateralisiert ist, kann nun auch bei pseudosprachlichem Material nachgewiesen werden.

10.1.4 Der CPS bei gesummtem Material

Um nun die Verarbeitung ausschließlich prosodischer Information zu untersuchen, wurde für ein viertes Experiment die Intonationskontur des normalsprachlichen Satzmaterials von einer trainierten Sprecherin eingesummt. Die akustischen Analysen können belegen, dass sowohl die Dauerparameter als auch der Verlauf der Grundfrequenz vergleichbar mit dem verwendeten normalsprachlichen Satzmaterial sind. Alle Merkmale einer IPh-Grenze können in dem gesummten Material nachgewiesen werden. Auch hier unterschied sich das Stimulusmaterial in zwei Bedingungen, welche signifikant unterschiedliche Intonationskonturen aufweisen.

Die Auswertung der EKP-Daten zeigt hier ein etwas abweichendes Muster gegenüber den bisherigen Bedingungen. Die beiden Bedingungen unterschieden sich bereits in einem sehr frühen Zeitfenster voneinander. Die akustischen Analysen können belegen, dass sich die Bedingungen bereits an dieser frühen Position hinsichtlich ihrer Betonungsmuster unterscheiden. Während eine Bedingung einen frühen, hohen Akzent am Beginn der ersten IPh aufweist, zeigt eine zweite Bedingung diesen Akzent nicht. Dieses akustische Muster des frühen, hohen Akzentes unterstützt die Annahme des Hörers über die nachfolgende prosodische Struktur der Äußerung (siehe z.B. Beach, 1991; Marslen-Wilson

et al., 1992; Warren et al., 1995). Darauf basierend wird die frühe Negativierung in der Bedingung ohne frühen hohen Akzent als reiner Detektionsmechanismus für das satzinitiale Akzentuierungsmuster interpretiert. Dieses satzinitiale Akzentuierungsmuster unterstützt dabei die impliziten Hypothesen des Hörers über die Länge der aktuell zu verarbeitenden prosodischen Phrase. Da der Hörer ausschließlich diese prosodische Information zur Verfügung hat, kommt diesen Detektionsmechanismen stärkere Bedeutung zu, da nicht auf phonemische, syntaktische oder semantische Informationen zurückgegriffen werden kann.

Dieser frühen Negativierung folgt dann die erwartete positive Amplitudenverschiebung. Diese erste positive Wellenform steht in Korrelation zur ersten IPh-Grenze einer Bedingung. Aufgrund der Polarität und des Zeitpunktes des Auftretens wird diese Komponente als CPS definiert. Eine zweite positive Wellenform kann ebenfalls in einem späteren Zeitfenster festgestellt werden. Auch hier handelt es sich um einen CPS in Relation zu der im Stimulusmaterial an dieser Stelle enthaltenen IPh-Grenze.

Auch mit gesummtem Material, welches keine phonemische, syntaktische noch semantische Information enthält, lässt sich also die Verarbeitung von IPh-Grenzen nachweisen. Generell zeigt aber die Verarbeitung des Stimulusmaterials Unterschiede im EKP gegenüber den EKP-Daten, aus den bisher durchgeführten Experimenten.

Eine erste positive Komponente kann im erwarteten Zeitfenster nachgewiesen werden. Um diese Komponente sichtbar zu machen, musste allerdings eine Onset-Verschiebung stattfinden, um die Überlagerung der Komponente durch die frühe Negativierung aufzuheben. Die Onset-Verschiebung erfolgte auf die Stelle der ersten IPh-Grenze, da dort ein CPS erwartet wurde. Im Gegensatz zu dem bisherigen manipulierten Stimulusmaterial (syntaktisches und pseudosprachliches) zeigt dieser CPS in einem frühen Zeitfenster keine frontale Verlagerung und ist bilateral verteilt.

Wie erwartet zeigt sich ein zweiter positiver Shift in einem späteren Zeitfenster. Dieser wird ebenfalls als CPS definiert, da er die Verarbeitung der IPh-Grenzen im Stimulusmaterial widerspiegelt. Anders als in den bisher durchgeführten Experimenten mit den verschiedenen Manipulationen ist dieser CPS rechtshemisphärisch stärker ausgeprägt.

Obwohl also auch bei Stimulusmaterial ohne phonemische, syntaktische oder semantische Information die Verarbeitung von IPh-Grenzen nachgewiesen werden kann und also ein rein prosodischer Input ausreichende Bedingung zu sein scheint, um einen CPS hervorzurufen, wird diese Art des Stimulusmaterials doch etwas anders verarbeitet. Zum einen deutet die frühe Negativierung auf

einen stärkeren Einsatz akustischer Detektionsmechanismen hin. Zum anderen wird der CPS in einem späteren Zeitfenster stärker rechtshemisphärisch verarbeitet. Beim völligen Fehlen linguistischer Information scheint also die rechte Hemisphäre einen stärkeren Anteil an den Verarbeitungsprozessen zu haben.

10.1.5 Die Verarbeitung von künstlich manipuliertem Material

Durch die systematische Variierung des bisher verwendeten Stimulusmaterials konnte unter allen Manipulationen das Auslösen eines CPS in Relation zu den enthaltenen IPh-Grenzen nachgewiesen werden. Bisherige Untersuchungen mit derart manipuliertem Material, welches keine phonemische, syntaktische und semantische Information enthielt, also mit so genanntem delexikalisiertem Stimulusmaterial (z.B. Steinhauer und Friederici, 2001; Toepel und Alter, 2002) zeigen jedoch vor allem eine bedingungsunabhängige starke Negativierung und weisen auch nur einen CPS in einem frühen Zeitfenster nach. In den vorgestellten Studien ist ein CPS in einem späteren Zeitfenster nicht statistisch zu belegen.

Hier stellte sich die Frage, ob dies in Zusammenhang mit der Art der Manipulation stand. Das bisherige Vorgehen bei der Delexikalisierung bestand vor allem im Einsatz bestimmter Filterungsprozeduren, denen das Stimulusmaterial unterzogen wurde. Hier lag die Vermutung nahe, dass in der so entstandenen Künstlichkeit des sprachlichen (oder vielmehr „nicht-sprachlichen“) Inputs die Quelle für diese starke Negativierung lag, die einen möglicherweise vorhandenen CPS überlagerte. Zum anderen sollte durch die Verwendung des Wort-Wiedererkennungsparadigmas der Einfluss der Aufgabenstellung auf das Auslösen der CPS-Komponente in nur in einem frühen Zeitfenster untersucht werden. Wenn in der Fokussierung der Probanden auf ein frühes Zeitfenster (bedingt durch die Aufgabenstellung) der Grund dafür läge, dass in den berichteten Studien kein späterer CPS ausgelöst wurde, so sollte bei der hier verwendeten Aufgabe, welche keine Fokussierung auf ausschließlich frühe oder späte Zeitfenster erfordert, auch ein späterer CPS zu beobachten sein.

Das Ziel des hier durchgeführten letzten Experimentes bestand aber vor allem darin, einen Vergleich zwischen Stimulusmaterial zu schaffen, welches keinerlei phonemische, syntaktische und semantische Information enthielt, sich aber durch die Art der Delexikalisierung unterschied (Experiment IV gegenüber Experiment V).

Zu diesem Zweck wurde das gesummte Material einer Verzerrungsprozedur derart unterzogen, dass zwar die Intonationskontur erhalten blieb, jedoch der Eindruck der Natürlichkeit des Inputs beim Hörer verloren ging. Auch hier stand

dem Hörer nur noch die ausschließlich prosodische Information zur Verfügung, allerdings entstand durch die Verzerrung der Höreindruck von Künstlichkeit.

Im Gegensatz zu allen bisher hier durchgeführten Experimenten zeigte sich erwartungsgemäß eine starke Negativierung über alle Elektroden. Diese Negativierung war bedingungsunabhängig und erstreckte sich über die gesamte Stimulusdarbietung. Da diese bedingungsunabhängige Negativierung nicht bei gesummtem Material zu beobachten ist, scheint sie nicht an das Fehlen linguistischer Information gebunden zu sein. Der Grund hierfür ist in der künstlichen Manipulation des Inputs zu suchen.

Weiterhin scheint diese Negativierung derart stark ausgeprägt, dass weitere Effekte nicht mehr statistisch signifikant nachzuweisen sind. Bei visueller Inspektion der aufgeworfenen Muster sind divergente Verläufe der EKPs über die beiden Bedingungen zu beobachten. Nachdem auch hier der Onset auf das Ende des ersten Fragments verschoben wurde, und auf diese Art die Negativierung einen geringeren Einfluss auf die Daten hatte, konnte auch hier eine positive Komponente in einem frühen Zeitfenster, also in Relation zur ersten IPh-Grenze, beobachtet werden. Da diese Komponente in Polarität und Latenz mit dem CPS übereinstimmt und einen ähnlichen Verlauf zeigt, wird sie ebenfalls als CPS definiert.

Die EKP-Muster in den beiden Bedingungen verfehlten jedoch das Signifikanzniveau in einem späteren Zeitfenster. Damit konnte ein weiterer CPS nicht belegt werden.

Dieses Muster zeigten auch die Daten von Steinhauer & Friederici (2001) sowie Toepel & Alter (2002). Damit scheint die starke Abhängigkeit der Verarbeitung von der Art der verwendeten Manipulation gesichert. Das Ausbleiben dieses weiteren CPS scheint also nicht an die Aufgabenstellung gebunden, ein Einfluss der verwendeten Aufgabe ist, wenn überhaupt vorhanden, sehr gering.

10.2 Diskussion

Die vorliegende Arbeit konnte mit einer Reihe von Experimenten mit systematisch variiertem Stimulusmaterial die Komponente CPS weiter etablieren. Der CPS stellt eine positive Potentialverschiebung im EKP dar, welcher die Verarbeitung prosodischer Phrasengrenzen widerspiegelt. Hierbei stand die Frage im Mittelpunkt, inwieweit der CPS als eine rein prosodisch relatierte Komponente anzusehen ist oder inwiefern ein segmentaler Input eine notwendige Bedingung darstellt.

In einer Serie von fünf Experimenten, innerhalb derer der linguistische Input systematisch reduziert wurde bis hin zur völligen Tilgung segmentaler Informa-

tion, konnte der Nachweis erbracht werden, dass ausschließlich prosodische Information ausreichend ist, um ein CPS-Muster hervorzurufen. Auch in Abwesenheit phonemischer, syntaktischer und semantischer Information lässt sich ein CPS in Korrelation zur Verarbeitung von IPh-Grenzen nachweisen. Damit lässt sich der CPS als prosodisch relationierte Komponente manifestieren. Sein Vorhandensein ist nicht an einen segmentalen Input gebunden.

Dabei divergieren die einzelnen Muster jedoch in Abhängigkeit des verwendeten Inputs zumindest in einem frühen Zeitfenster. Obwohl die Methode der EKPs keine genauen Aussagen bezüglich der Verteilung der Komponente treffen kann, ist jedoch ein zunächst frontaler bis rechtsfrontaler Shift bei reduzierter eintreffender Information bis hin zu einer rechts lateralisierten Verteilung bei fehlendem segmentalen Input zu beobachten. Dies scheint in Übereinstimmung sowohl mit bisher berichteten Befunden mit bildgebenden Verfahren als auch aus dem Bereich der klinischen Forschung mit Patienten mit Hirnläsionen zu stehen.

So berichteten Meyer et al. (2002) unterschiedliche Aktivierungen in den Kortextarealen in Abhängigkeit vom Vorhandensein oder Nicht-Vorhandensein linguistischer Information. Die Verarbeitung semantischer und syntaktischer Information involvierte dabei vorrangig die LH, während in Abwesenheit dieser Information bei delexikalisierem Material vorrangig die RH aktiviert war (siehe z.B. auch Baum & Pell, 1999; Johnsrude et al., 2000; Tzourio et al., 1997; Zatorre & Belin, 2001). Generell ist die Befundlage zur Lokalisation der Verarbeitung prosodischer Information jedoch bisher keineswegs konsistent. Die bisher berichteten Arbeiten sprechen allerdings klar für einen Einfluss linguistischer Information auf den Verarbeitungsprozess prosodischer Parameter. Erst in Abwesenheit phonemischer, syntaktischer und semantischer Information scheint die RH stärker in diesen Verarbeitungsprozess involviert zu sein.

Die Verteilung der Komponente in den in dieser Arbeit vorgestellten Experimenten stützt diese Annahme nur zum Teil. Zwar ist bei gesummtem Material, also in Abwesenheit linguistischer Information, eine rechtslateralisierte Verteilung zu berichten, jedoch nur in einem späteren Zeitfenster. Zusätzlich führte das gesummte Material auch zu einer frühen Negativierung in einer Bedingung, so dass die CPS-Komponente in einem ersten Zeitfenster nur durch eine Onset-Verschiebung deutlich gemacht werden konnte. Dieser frühe CPS zeigte keine Rechtslateralisierung. Hierbei wäre es allerdings auch möglich, dass die frühe Negativierung einen Einfluss auf die Komponente hatte und so weitere Effekte weniger deutlich werden ließ. Das konnte mit dem durchgeführten Experiment nicht geklärt werden.

Insgesamt jedoch sprechen auch die vorliegenden Ergebnisse für eine stärkere Beteiligung der RH in Abwesenheit segmentaler Information bei der Verarbeitung des prosodischen Inputs.

Ein modellierender Faktor bei der Entstehung des CPS besteht in der Manipulation des eintreffenden Inputs. Bisherige Untersuchungen zur Verarbeitung delexikalisierten Stimulusmaterials (Steinhauer & Friederici, 2001; Toepel & Alter, 2002) konnten einen CPS nur in einem frühen Zeitfenster nachweisen. Zusätzlich wiesen die EKPs eine bedingungsunabhängige Negativierung auf. Das delexikalisierte Material war in den berichteten Studien mittels einer Filterungstechnik hergestellt worden. Die Annahme bestand darin, dass nicht der fehlende segmentale Input als Ursache für das Ausbleiben der Komponente verantwortlich zu machen wäre, sondern dass zum einen möglicherweise die Manipulationstechnik einen Einfluss auf die Grenzmarkierungen gehabt haben könnte oder auch die verwendete Aufgabenstellung ein Grund gewesen sein könnte. Mit gesummtem Material, welches ebenfalls keine segmentale Information beinhaltet, ließ sich jedoch sowohl ein CPS in einem späteren Zeitfenster nachweisen, und es war keine bedingungsunabhängige Negativierung über den gesamten Stimulusverlauf zu beobachten. Die Vermutung, dass der fehlende segmentale Input nicht als Auslöser für das Ausbleiben des CPS in einem späteren Zeitfenster anzusehen wäre, ließ sich damit bestätigen.

Um den entscheidenden Parameter zu isolieren, wurde das gesummte Material daraufhin noch einmal derart manipuliert, das kleinste Verzerrungen im Millisekundenbereich zu einem artifiziellen Höreindruck führten. Die Verwendung eines Wort-Wiedererkennungsparadigmas sollte dann die vorrangige Fokussierung auf ein frühes Zeitfenster verhindern. Das Ergebnis dieses Experimentes zeigt sich nun auch konsistent mit bisher berichteten Daten. Ein CPS in einem frühen Zeitfenster lässt sich nachweisen, in einem späteren jedoch nicht. Zusätzlich ist eine bedingungsunabhängige Negativierung gegenüber dem gesummten Material zu beobachten. Damit lässt sich zumindest ein Einfluss der verwendeten Aufgabenstellung widerlegen. Die Ursache für dieses EKP-Muster scheint in der künstlichen Manipulation des Stimulusmaterials begründet zu sein.

Das Auslösen der CPS-Komponente scheint also von der Art der Manipulation des Stimulusmaterials modelliert zu werden. Ein natürlichsprachlicher Input wird vermutlich vom Hörer anders verarbeitet als künstlich manipulierte Stimuli.

In diesem Zusammenhang sind die Untersuchungen von Knösche et al. (in press) unter Verwendung eines EKP-Paradigmas von großem Interesse. Knösche et al. führten Experimente mit Musikern zur Verarbeitung musikalischer Phrasengrenzen durch. Dabei wurden die eine IPh-Grenze definierenden Pa-

parameter auf musikalische Sequenzen übertragen, das heißt an der rechten Seite einer musikalischen Sequenz war eine längere, hohe Note vor einer darauf folgenden Pause zu hören. Im Unterschied dazu war in einer zweiten Bedingung in diese Pause eine weitere Note eingefügt worden. Beim Vergleich dieser beiden Bedingungen zeigten sich signifikante Unterschiede im EKP. Dabei zeigte die nicht manipulierte Bedingung gegenüber der manipulierten Bedingung (ohne Pauseninsertion) eine Positivierung im EKP. Aufgrund der Verteilung, der zeitlichen Abfolge und der Amplitude der beobachteten EKP-Komponente definierten die Autoren diese Komponente ebenfalls als CPS. Der CPS spiegelt also auch in melodischem Stimulusmaterial die Phrasierung des eintreffenden Inputs wider. Hierbei wäre natürlich die Frage von Interesse, ob sich dieser melodisch induzierte CPS auch bei Nicht-Musikern auslösen ließe. Möglicherweise hängt die Phrasierung eines melodischen Stimulus vom Vorwissen des Hörers ab.

Welche Abhängigkeit zeigt nun der CPS von der Art der zu erfüllenden Aufgabenstellung? Die Verwendung eines Wort-Wiedererkennungsparadigmas über alle Experimente gewährleistete eine ähnliche Anforderung an die Probanden über die verschiedenen Manipulationen hinweg. Allerdings zeigen Reaktionszeiten und Fehlerhäufigkeiten eine leicht erhöhte Schwierigkeit bei syntaktischem und noch etwas stärker bei pseudosprachlichem Material. Trotzdem ist kein Aufgabeneffekt zwischen den Bedingungen anzunehmen. Es konnte nachgewiesen werden, dass die Art der verwendeten Aufgabenstellung, welche einen relativ geringen kognitiven Aufwand von den Probanden erforderte und im Gegensatz zu bisherigen Untersuchungen nicht explizit eine inhaltliche Verarbeitung voraussetzte oder eine Fokussierung auf die prosodische Information erforderte, trotzdem zum Auslösen der CPS-Komponente führte. Dies weist auf eine relativ hoch automatisierte Verarbeitung prosodischer Parameter hin. Der CPS scheint demnach eine recht robuste Komponente zu sein und nicht nur durch eine Aufgabenstellung induziert. Weiterhin scheint auch die Art der Aufgabenstellung keinen modifizierenden Einfluss auszuüben.

10.2.1 Implikationen für ein neurokognitives Sprachverarbeitungsmodell

An dieser Stelle sollen die möglichen Implikationen dieser Arbeit für ein neurokognitives Modell der Sprachverarbeitung dargelegt werden, insbesondere die Einordnung der Komponente CPS in das beschriebene Modell.

Das unter 1.2.3 vorgestellte neurokognitive Modell der Sprachverarbeitung von Friederici (2002, siehe auch Friederici & Alter, 2004) beschreibt die Verarbeitung des eintreffenden akustischen Inputs zunächst auf zwei Wegen. Wäh-

rend der Zugriff auf syntaktische und semantische Informationen auf einem Pfad verläuft, wird prosodische Information auf einem parallel verlaufenden Pfad verarbeitet. Erst in einem letzten Schritt werden die verschiedenen Arten von Informationen integriert und interpretiert.

Die vorliegende Arbeit zur Verarbeitung prosodischer IPh-Grenzen liefert Evidenz für die Annahme, dass prosodische Information relativ unabhängig von syntaktischer und/oder semantischer verarbeitet werden kann. Da auch ohne Vorliegen eines segmentalen linguistischen Inputs ein CPS im EKP ausgelöst werden kann, scheint die Verarbeitung von Prosodie auch relativ autonom möglich. Allerdings kann aufgrund der erhobenen Daten noch keine spezifische Aussage darüber getroffen werden, welche wechselseitigen Beeinflussungen im Verlauf des Verarbeitungsprozesses bei Vorliegen eines segmentalen Inputs stattfinden. Hierzu müssten weitere Experimente durchgeführt werden.

Der Nachweis eines biphasischen N400-P600-Musters bei dem Auslösen eines Prosodie-Syntax-Mismatches liefert Evidenz dafür, dass die Verarbeitung syntaktischer Strukturen von prosodischer Information beeinflusst wird. Allerdings kann die bisherige Forschung zum exakten Zeitpunkt dieser Interaktion noch keine Aussagen treffen.

Im Hinblick auf die temporalen Charakteristika des CPS zur Einordnung auf dem Zeitstrahl des Sprachverarbeitungsmodells (Friederici, 2002) kann bisher noch wenig gesagt werden. Dafür gibt es mehrere Gründe.

Zunächst scheint eine zeitliche Einordnung des CPS zwischen ELAN, N400 und P600 insofern problematisch, als dass die Auslösung der letztgenannten Komponenten immer an ein Untersuchungsparadigma bzw. –material gebunden ist, dass in einer bestimmten Weise Verarbeitungsschwierigkeiten bei Versuchsteilnehmern auslösen kann (z.B. Ungrammatikalität von Satzstrukturen, Infrequenz von Wörtern in einer Sprache). Vorausgesetzt werden muss auch jeweils die Kompetenz eines Probanden, die ihm/ ihr gestellte Aufgabe zu erfüllen (bzw. bei Sprachlernern den Grad der Kompetenz festzulegen). Die Komponente des CPS als Korrelat prosodischer Verarbeitung braucht diese Restriktionen nicht. Da, wie gezeigt wurde, ihr Auslösen stark automatisch passiert und unabhängig vom (nicht-artifiziellen) Sprachinput, ist damit die Untersuchung verschiedenster Populationen möglich (siehe 10.3).

Ein zweites Problem bei der Einordnung des CPS zwischen den anderen Sprachverarbeitungscomponenten liegt darin begründet, seine Latenz im Hinblick auf das Auftreten einer IPh-Grenze exakt festzulegen. Wie erwähnt, konstituiert sich das Ende einer solchen prosodischen Phrase nicht diskret an deren Ende (und auch nicht zu einem diskreten Zeitpunkt wie eine semantische oder syntaktische Verletzung), sondern spätestens auf ihrer letzten Silbe. Zu-

dem wurde aber auch festgestellt, dass Marker für die Grösse einer IPh schon an ihrem linken Rand, dem Beginn, existent sind. Es muss also implizit davon ausgegangen werden, dass ein Zusammenspiel der globalen (über den gesamten Verlauf der IPh hinweg) und lokalen prosodischen Parameter (in der letzten Silbe der IPh und ihrem Ende) letztendlich die Verarbeitung steuert. Somit bleibt jedoch bisher die exakte temporale Dimension der Komponente unerfassbar.

Auch im Hinblick auf die topografische Einordnung des CPS in das Modell durch die vorliegende Arbeit zeigen sich Probleme, welche aber vorrangig durch die verwendete Methodik begründet sind. Zu den Sprachverarbeitungs-komponenten der ELAN, N400 und P600 existieren Befunde aus PET und fMRT-Studien, die deren neuronale Generatoren spezifizieren. Die Methode der Ereigniskorrelierten Potentiale lässt jedoch nur spekulative Rückschlüsse auf die zugrunde liegenden Generatoren einer Komponente zu, da die individuelle Furchung jedes Gehirns und die Beschaffenheit der Schädelknochen die Hirnströme auslenkt. Um die Generatoren der CPS-Komponente bestimmen zu können, wird also weitere empirische Forschung benötigt.

10.3 Ausblick

Mit dieser Arbeit konnte ein Beitrag zur Manifestation des CPS als prosodisch relatierte Komponente geleistet werden. Allerdings bleiben auch im Zusammenhang mit dieser Arbeit, wie fast immer im Bereich der empirischen Forschung, Fragen offen und führen zu weiteren Fragen.

Ein interessanter Aspekt, um weitere Aussagen bezüglich der Robustheit des CPS treffen zu können, wären Stimulusmanipulationen derart, dass auch prosodische Parameter, die die Grenzmarkierung einer IPh beschreiben, verändert werden, ohne jedoch die Natürlichsprachlichkeit des Inputs zu gefährden. Manipulationen wie Grundfrequenzverflachungen oder die Verwendung von Filter-techniken implizieren bisher immer die Konfundierung von sprachlichem Material mit künstlicher Manipulation. Bereits nachgewiesen werden konnte, dass die Eliminierung der Pause nach einer IPh-Grenze (als ein Parameter ihrer prosodischen Realisierung) keinen Einfluss auf das Auslösen der CPS-Komponente hat (siehe Steinhauer et al., 1999). Stellen jedoch die Parameter der IPh-Grenzmarkierung wie F0-Bewegung oder Längung der letzten Silbe eine notwendige Bedingung für das Auslösen des CPS dar oder können in Abwesenheit jedes einzelnen Parameters die anderen jeweils verfügbaren die Komponente auslösen?

Untersuchungen von Beach (1991) weisen darauf hin, dass IPh-Grenzen jeweils auch in Abwesenheit eines Parameters detektiert werden können, dass allerdings die beste Performance dann erreicht wird, wenn die IPh-Grenze voll-

ständig sowohl durch Grundfrequenz, Dauer und Amplitude markiert ist. Diese Untersuchung wurde jedoch behavioral durchgeführt. Ein EKP-Paradigma könnte durchaus sensitiver für die Detektion dieser Parametermanipulation sein.

Weiterhin konnte die vorliegende Arbeit aufgrund des verwendeten Untersuchungsparadigmas keine spezifischen Aussagen zur genauen Lokalisation der Komponente insbesondere auch in Abhängigkeit von der Manipulation des Stimulusmaterials geben. Die verwendete Methode der EKPs hat zwar den Vorteil der hohen zeitlichen Auflösung, hinsichtlich der Topografie der Effekte sind die Aussagen jedoch nur sehr begrenzt möglich. Trotzdem kann bereits bei der Beschreibung der beobachteten Effekte eine unterschiedliche Verteilung des CPS zwischen den verschiedenen Experimenten festgestellt werden. Die Frage der Lateralisierung der Verarbeitung prosodischer Information steht dabei auch weiterhin im Mittelpunkt des Interesses. Die bisherige Datenlage ist in diesem Bereich noch recht uneindeutig. Allerdings scheint Evidenz dafür vorhanden, dass in Abwesenheit eines segmentalen Inputs prosodische Information vorrangig die RH in den Verarbeitungsprozess involviert (siehe 10.2).

Eine weitere Frage, die sich im Zusammenhang mit der in dieser Arbeit beschriebenen Komponente stellt, betrifft den Zeitpunkt, ab welchem Lebensalter ein CPS an prosodischen Phrasengrenzen beobachtet werden kann. Prosodische Information ist die erste Art von Information, die dem Menschen zur Verfügung steht. Bereits im Mutterleib, also pränatal, hört das Ungeborene verschiedene (tiefpassgefilterte) Laute, die sich zu bestimmten Mustern zusammensetzen. Das würde implizieren, dass prosodische Informationen für Kinder lange vor syntaktischen und semantischen verfügbar sind und verarbeitet werden und also eine prosodisch relationale Komponente bereits sehr früh zu beobachten sein müsste.

Bereits Säuglinge besitzen die Fähigkeit zur Diskrimination von suprasegmentalen Kontrasten in Form von Betonungsmustern (siehe z.B. Jusczyk & Thompson, 1978; Spring & Dale, 1977). Sie nutzen bereits in der zweiten Hälfte ihres ersten Lebensjahres rhythmische Merkmale zur Gliederung akustischer Signale (Morgan, 1994, 1996; Morgan & Saffran, 1995). Da der CPS eine relativ hoch automatisierte Komponente darstellt, sollte es möglich sein, ihn auch ohne explizite Aufgabenstellung auszulösen. Damit bietet sich bereits bei sehr kleinen Kindern ein derartiges Untersuchungsdesign an.

Eine aktuelle Studie von Weber, Pannekamp und Friederici untersucht derzeit die CPS-Komponente an Kindern im Alter von 9 Monaten. Erste Ergebnisse deuten darauf hin, dass die Komponente bereits in diesem Alter manifestiert ist. Hier sollte erste Evidenz dafür geschaffen werden, ab wann Kinder Strukturie-

rungeinheiten, wie sie eine intonatorische Phrasengrenze darstellt, nutzen, um den eintreffenden Sprachstrom zu segmentieren.

Damit im Zusammenhang stünde die Frage, ob und auf welche Weise Kinder, die andere als Intonationssprachen (wie z.B. Englisch oder Deutsch) erlernen, in tonalen Sprachen (wie z.B. Thai oder Mandarin) den Input segmentieren.

Ganz allgemein ist von Interesse, ob sich der CPS in Sprachen, die von Tonbewegungen leben (nämlich besagte Tonsprachen wie Thai und Mandarin), auch auslösen lässt oder ob sich die Verarbeitung prosodischer Parameter in tonalen Sprachen anders manifestiert. Da in Tonsprachen Töne unterschiedliche Wortbedeutung kodieren, dürfte der Verarbeitung explizit von IPh-Markern eine geringere Bedeutung zukommen. Wenn dies der Fall wäre und kein CPS bei normalsprachlichem Stimulusmaterial ausgelöst wird, stellt sich weiterhin die Frage ob sich bei Eliminierung der wortbedeutungstragenden tonalen Realisierung (z.B. durch die Delexikalisierung des eintreffenden Inputs) zumindest ein signifikanter Unterschied zwischen Stimulusmaterial mit divergenten Intonationsmustern manifestieren lässt und wie dieser aussähe.

Literaturverzeichnis

- [1] Bader, M. (1994). *Sprachverstehen: Syntax und Prosodie beim Lesen*. Dissertation, Universität Stuttgart.
- [2] Bader, M. (1998). Prosodic influences on reading syntactically ambiguous sentences. In Fodor, J. D. & Ferreira, F. (Hrsg.), *Reanalysis in Sentence Processing* (1-46). Kluwer: Dordrecht.
- [3] Baum, S. R. & Pell, M. D. (1999). The neural basis of speech prosody: Insights from lesion studies and neuroimaging. *Aphasiology*, 13, 581-608.
- [4] 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.
- [5] Behrens, S. J. (1985). The Perception of Stress and Lateralization of Prosody. *Brain and Language*, 26, 332-348.
- [6] Berndt, R. S. & Caramazza, A. (1980). A redefinition of the syndrome of Broca's aphasia: Implications for a neuropsychological model of language. *Applied Psycholinguistics*, 1, 225-278.
- [7] Besson, M., Kutas, M. & Van Petten, C. (1992). An event-related potential analysis of semantic congruity and repetition effects in sentences. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 4, 132-149.
- [8] Birbaumer, N. & Schmidt, R. F. (1991). *Biologische Psychologie*. Berlin: Springer-Verlag.
- [9] Blumstein, S. & Cooper, W. E. (1974). Hemispheric processing of intonation contours. *Cortex*, 10, 146-158.
- [10] Boyes-Braem, P. (1997). *Einführung in die Gebärdensprache und ihre Erforschung*. Wien: Signum.
- [11] Brádvik, B., Dravins, C., Holtas, S., Rosen, I., Ryding, E. & Ingvar, D. (1991). Disturbances of speech prosody following right hemisphere infarcts. *ACTA Neurologica Scandinavica*, 84, 114-126.
- [12] Bryan, K. L. (1989). Language prosody and the right hemisphere. *Aphasiology*, 3, 285-299.
- [13] Caplan, D. & Hildebrandt, N. (1988). *Disorders of syntactic comprehension*. Cambridge, MA: MIT Press
- [14] Caramazza, A. & Zurif, E. B. (1976). Dissociation of algorithmic and heuristic processes in language comprehension: Evidence from aphasia. *Brain and Language*, 3, 572-582.
- [15] Chafe, W. (1988). Punctuation and the prosody of written language. *Written Communication*, 5, 396-426

- [16] Chwilla, D. J., Brown, C. M. & Hagoort, P. (1995). The N400 as a function of the level of processing. *Psychophysiology*, 32, 274-285.
- [17] Coles, M. G. H. & Rugg, M. D. (1995). Event-related brain potentials: An introduction. In M. D. Rugg & M. G. H. Coles (Hrsg.), *Electrophysiology of Mind. Event-Related Brain Potentials and Cognition*. (S. 1-26). Oxford: Oxford University Press.
- [18] Collier, R. & Hart, J. (1975). The role of intonation in speech perception. In A. Cohen & S.G. Nooteboom (Hrsg.). *Structure and process in speech perception* (107–121). Heidelberg: Springer-Verlag.
- [19] Cool Edit Software, Syntrillium Software Corporation; Phoenix, AZ, USA
- [20] Cooper, W. E. & Paccia-Cooper, J. (1980). *Syntax and Speech*. Cambridge, M. A.: Harvard University Press.
- [21] Cutler, A., Dahan, D. & van Donselaar, W. (1997). Prosody in the comprehension of spoken language: A literature review. *Language and Speech*, 40, 141-201.
- [22] Donchin, E., Ritter, W. & McCallum, W. C. (1978). Cognitive Psychophysiology: The endogenous components of the ERP. In E. Callaway, P. Tueting & S. H. Koslow (Hrsg.), *Event-related brain potentials in man* (S. 349-411). New York: Academic Press.
- [23] Dronkers, N. F., Wilkins, D. P., Van Valin, R. D., Redfern, J. R. & Jaegers, J. J. (1994). A reconsideration of the brain areas involved in the disruption of morphosyntactic comprehension. *Brain and Language*, 47, 461-463.
- [24] Epstein, W. (1961). The influence of syntactical structure on learning. *American Journal of Psychology*, 74, 80-85.
- [25] Federmeier, K. & Kutas, M. (1998). A rose by any other name: Long term memory structure and sentence processing. *Journal of Language and Memory*, 41(4), 469-495.
- [26] Fischler, I., Bloom, P. A., Childers, D. G., Roucos, S. E. & Perry, N. W. (1983). Brain potentials related to stages of sentences verification. *Psychophysiology*, 20, 400-409.
- [27] Fischler, I., Bloom, P., Childers, D., Arroyo, A. & Perry, N. (1984). Brain potentials during sentence verification – late negativity and long-term-memory strength. *Neuropsychologia*, 22(5), 559-568.
- [28] Fodor, J. A. (1983). *The Modularity of Mind*. Cambridge, Mass.: MIT Press.
- [29] Fodor, J. D. (1998). Learning to parse? *Journal of Psycholinguistic Research*, 27, 285-319.

- [30] Fodor, J. D. (2002). Psycholinguistics Cannot Escape Prosody. In B. Bel & I. Marlien (Hrsg.), *Proceedings of the 1st International Conference on Speech Prosody*, Aix-en-Provence, 83-88.
- [31] Frazier, L. & Fodor, J. D. (1978). The Sausage Machine: A new two-stage parsing model. *Cognition*, 6, 291 – 325.
- [32] Frazier, L. (1987). Theories of sentence processing. In Garfield, J. L. (Hrsg.), *Modularity in knowledge representation and natural language understanding* (S. 291-307), Cambridge, MA: MIT Press.
- [33] Friederici, A. D. (1985). Levels of processing and vocabulary types: Evidence from on-line comprehension in normals and agrammatics. *Cognition*, 19, 133-166.
- [34] Friederici, A. D. (1995). The time course of syntactic activation during language processing: A model based on neuropsychological and neurophysiological data. *Brain and Language*, 50, 259 – 281.
- [35] Friederici, A. D. (2002). Towards a neural basis of auditory sentence processing. *Trends in Cognitive Sciences*, 6(2), 78-84.
- [36] Friederici, A. D. & Alter, K. (2004). Lateralization of auditory language functions: A dynamic dual pathway model. *Brain and Language*, 89, 267-276.
- [37] Friederici, A. D. & Frisch, S. (2000). Verb-argument structure processing: The role of verb-specific and argument-specific information. *Journal of Memory and Language*, 43, 476-507.
- [38] Friederici, A. D., Hahne, A. & Mecklinger, A. (1996). The temporal structure of syntactic parsing: Early and late effects elicited by syntactic anomalies. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 22(5), 1219-1248.
- [39] 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.
- [40] 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.
- [41] Gandour, J., Dziedzic, M., Wong, D., Lowe, M., Tong, Y., Hsieh, L., Sathamnuwong, N. & Lurito, J. (2003). Temporal integration of speech prosody is shaped by language experience: An fMRI study. *Brain and Language*, 84, 318-336.
- [42] Gunter, T. C. & Friederici, A. D. (1999). Concerning the automaticity of syntactic processing. *Psychophysiology*, 36, 1-12.

- [43] Gunter, T. C., Stowe, L. A. & Mulder, G. (1997). When syntax meets semantics. *Psychophysiology*, 34, 660-676.
- [44] Haarman, H. J. & Kolk, H. H. J. (1991). A computer model of the temporal course of agrammatic sentence understanding: The effects of variation in severity and sentence complexity. *Cognitive Science*, 15, 49-87.
- [45] Hagoort, P. (1993). Impairments of lexical-semantic processing in aphasia: Evidence from the processing of lexical ambiguities. *Brain and Language*, 45, 189-232.
- [46] Hagoort, P., Hald, L., Petersson, K. M., Bastiaansen, M. & van Berkum, J. (2003). How the brain handles sense and reference. *Paper presented at the 16th CUNY conference*, Cambridge/MA.
- [47] Hahne, A. & Friederici, A. D. (2002). Differential task effects on semantic and syntactic processes as revealed by ERPs. *Cognitive Brain Research*, 13, 339-356.
- [48] 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.
- [49] Heilman, K. M. (Hrsg.). (1995). *Clinical Neuropsychology*. New York: Oxford University Press.
- [50] Holcomb, P. & Neville, H. (1990). Auditory and visual semantic priming in lexical decision: A comparison using event-related brain potentials. *Language and Cognitive Processes*, 5(4), 281-312.
- [51] Huber, W., Stachowiak, F.-J., Poeck, K. & Kerschensteiner, M. (1975). Die Wernicke-Aphasie. *Journal of Neurology*, 210, 77-97.
- [52] Johnsrude, I. S., Penhune, V. B. & Zatorre, R. J. (2000). Functional specificity in the right human auditory cortex for perceiving pitch direction. *Brain*, 123, 155-163.
- [53] Jusczyk, P. W. & Thompson, E. (1978). Perception of a phonetic contrast in multisyllabic utterances by 2-month-old infants. *Perception & Psychophysics*, 24, 515-520.
- [54] Kennedy, A., Murray, W.S., Jennings, F. & Reid, C. (1989). Parsing complements: Comments on the generality of the principle of minimal attachment. *Language and Cognitive Processes*, 4, 51-76.
- [55] Kerschensteiner, M., Poeck, K., Huber, W., Stachowiak, F.-J. & Weniger, D. (1978). Die Broca-Aphasie. *Journal of Neurology*, 217, 223-242.

- [56] Knösche, T. R., Neuhaus, C., Haueisen, J., Alter, K., Friederici, A. D. & Witte, O. W. (in press). The Perception of Phrase Structure in Music. *Human Brain Mapping*.
- [57] Kreiman, J. (1982). Perception of sentence and paragraph boundaries in natural conversation. *Journal of Phonetics*, 10, 163–175.
- [58] Kutas, M. & Hillyard, S. A. (1980a). Event-related brain potentials to semantically inappropriate and surprisingly large words. *Biological Psychology*, 11, 99-116.
- [59] Kutas, M. & Hillyard, S. A. (1980b). Reading senseless sentences: Brain potentials reflect semantic incongruity. *Science*, 207, 203-205.
- [60] Kutas, M., Lindamood, T. & Hillyard, S. (1984). Word expectancy and event-related brain potentials during sentence processing. In S. K. J. Requin (Hrsg.), *Preparatory stages and processes*. Hillsdale, NJ.: Lawrence Erlbaum.
- [61] Lehiste, I. (1973). Phonetic disambiguation of syntactic ambiguity. *Glossa*, 7, 107-122.
- [62] Leuckefeld, K., Hahne, A. & Alter, K. (2003). Neural correlates of prosodic information processing and syntactic ambiguity in school-aged-children. *Journal of Cognitive Neuroscience*, Supplement, S. 38
- [63] MacDonald, M. C. (1993). The interaction of lexical and syntactic ambiguity. *Journal of Memory and Language*, 32, 692-715.
- [64] MacDonald, M. C. (1994). Probabilistic constraints and syntactic ambiguity resolution. *Language and Cognitive Processes*, 9, 157-202.
- [65] Mäkelä, A., Mäkinen, V., Nikkilä, M., Illmoniemi, R. J. & Tiitinen, H. (2001). Magnetoencephalographic (MEG) localization of the auditory N400m: effects of stimulus duration. *NeuroReport*, 12(2), 249-253.
- [66] Marslen-Wilson, W.D. & Tyler, L.K. (1980). The temporal structure of spoken language understanding. *Cognition*, 8, 1-71.
- [67] 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.
- [68] Maxwell, S. E. & Delaney, H. D. (1989) *Designing and analyzing data*. Pacific Grove: Brooks/ Cole.
- [69] McClelland, J. L., St. John, M. & Taraban, R. (1989). Sentence comprehension: a parallel distributed processing approach. *Language and Cognitive Processes*, 4, 287-335.

- [70] 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.
- [71] Meyer, M., Alter, K., Friederici, A. D., Lohmann, G. & von Cramon, D.Y. (2002). fMRI reveals brain regions mediating slow prosodic modulations in spoken sentences. *Human Brain Mapping*, 17, 73-88.
- [72] Milberg, W. & Blumstein, S. E. (1981). Lexical decision and aphasia: Evidence for semantic processing. *Brain and Language*, 14, 371-385.
- [73] Mitchell, D. C. & Holmes, V. M. (1985). The role of specific information about the verb in parsing sentences with local structural ambiguity. *Journal of Memory and Language*, 24, 542-559.
- [74] Mitchell, D. C. (1987). Reading and syntactic analysis. In J. R. Beech & A. M. Colley (Hrsg.), *Cognitive approaches to reading*. (S. 87-112). New York: John Wiley & Sons.
- [75] Morgan, J. L. (1994). Converging measures of speech segmentation in preverbal infants. *Infants Behavior and Development*, 17, 389-403.
- [76] Morgan, J. L. (1996). A rhythmic bias in preverbal speech segmentation. *Journal of Memory and Language*, 35, 666-688.
- [77] Morgan, J. L. & Saffran, J. R. (1995). Emerging integration of sequential and suprasegmental information in preverbal speech segmentation. *Child Development*, 66, 911-936.
- [78] Münte, T. F., Heinze, H. J. & Mangun, G. R. (1993). Dissociation of brain activity related to syntactic and semantic aspects of language. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 5, 335-344.
- [79] Needleman, A. R. (1998). Qualification of context effects in speech perception: Influence of prosody. *Clinical Linguistics and Phonetics*, 12 (4), 305-327.
- [80] Nespor, M. & Vogel, I. (1986). *Prosodic Phonology*. Dordrecht: Foris.
- [81] Neville, H. J., Nicol, J., Brass, A., Forster, K. I. & Garrett, M. F. (1991). Syntactically based sentence processing classes: Evidence from event-related brain potentials. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 3, 151-165.
- [82] O'Connell, D. C. & Kowal, S. H. (1986). Use of punctuation for pausing: Oral readings by German radio homilists. *Psychological Research*, 48, 93-98.
- [83] Oldfield, R. C. (1971). The assessment and analysis of handedness: The Edinburgh Inventory. *Neuropsychologia*, 9, 97-113.

- [84] Osterhout, L. & Holcomb, P. J. (1992). Event-related potentials and syntactic anomaly. *Journal of Memory and Language*, 31, 785-804.
- [85] Osterhout, L. & Holcomb, P. J. (1993). Event-related potentials and syntactic anomaly: Evidence on anomaly detection during perception of continuous speech. *Language and Cognitive Processes*, 8, 413-437.
- [86] Patterson, K. E. & Coltheart, V. (1987). Phonological processes in reading: A tutorial review. In Coltheart, M. (Hrsg.), *Attention and Performance XII: The Psychology of Reading* (S. 209-214), Hove, UK: Lawrence Erlbaum.
- [87] Perfetti, C. A. (1994). Psycholinguistics and reading ability. In Gernsbacher, M. A. (Hrsg.), *Handbook of Psycholinguistics* (S. 849-894), San Diego: Academic.
- [88] Perkins, J. M., Baran, J. A. & Gandour, J. (1996). Hemispheric specialization in processing intonation contours. *Aphasiology*, 10, 343-362.
- [89] Pick, A. (1913). *Die agrammatischen Sprachstörungen*. Berlin: Springer.
- [90] Pierrehumbert, J. (1980). *The phonology and phonetics of English intonation*. MIT Linguistics PhD Thesis. Indiana University Linguistics Club, Bloomington, Indiana.
- [91] Pynte, J. & Prieur, B. (1996). Prosodic breaks and attachment decisions in sentence parsing. *Language and Cognitive Processes*, 11, 165-192.
- [92] Quinn, D., Abdelghany, H. & Fodor, J. D. (2000). More evidence of implicit prosody in silent reading: French, English and Arabic relative clauses. Poster presented at the 13th Annual CUNY Conference on Human Sentence Processing, La Jolla, CA.
- [93] Rooij, J. J. de (1976). Perception of prosodic boundaries. *IPO Annual Progress Report*, 11, 20-24.
- [94] Rooij, J.J. de (1975). Prosody and the perception of syntactic boundaries. *IPO Annual Progress Report*, 10, 36-39.
- [95] Rösler, F., Friederici, A. D., Pütz, P. & Hahne, A. (1993). Event-related brain potentials while encountering semantic and syntactic constraint violations. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 5, 345-362.
- [96] Selkirk, E. (1984). *Phonology and Syntax: The relation between sound and structure*. Cambridge, MA: MIT Press.
- [97] Sonntag, G. P. & Portele, T. (1998). PURR – A method for prosody evaluation and investigation. *Computer, Speech and Language*, 12, 437-451.
- [98] Spring, D. R. & Dale, P. S. (1977). Discrimination of linguistic stress in early infancy. *Journal of Speech and Hearing Research*, 20, 224-232.

- [99] Steinhauer, K. (2001). *Hirnpfysiologische Korrelate prosodischer Satzverarbeitung bei gesprochener und geschriebener Sprache*. MPI Series in Cognitive Neuroscience 18. Dresden: Saechsisches Digitaldruck Zentrum.
- [100] Steinhauer, K. (2003). Electrophysiological correlates of prosody and punctuation. *Brain and Language*, 86, 142-164.
- [101] 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.
- [102] 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.
- [103] Streeter, L. A. (1978). Acoustic determinants of phrase boundary perception. *Journal of the Acoustical Society of America*, 64 (6), 1582-1592.
- [104] Swaab, T. Y., Brown, C. & Hagoort, P. (1995). Delayed integration of lexical ambiguities in Broca's aphasics: Evidence from event-related potentials. *Brain and Language*, 51, 159-161.
- [105] Swaab, T. Y., Brown, C. & Hagoort, P. (1998). Understanding ambiguous words in sentence contexts: Electrophysiological evidence for delayed contextual selection in Broca's aphasia. *Neuropsychologia*, 36, 737-761.
- [106] Toepel, U. & Alter, K. (2002). Cerebral Strategies in the Segmentation and Interpretation of Speech. In B. Bel & I. Marlien (Hrsg.), *Proceedings of the 1st International Conference on Speech Prosody*, Aix-en-Provence, 71-76.
- [107] Tzourio, J. P., Massioui, F. E., Crivello, F., Joliot, M., Renault, B. & Mazoyer, B. (1997). Functional anatomy of human auditory attention studied with PET. *NeuroImage*, 5, 63–77.
- [108] Van Petten, C. & Kutas, M. (1987). Ambiguous words in context: An event-related potential analysis of the time-course of meaning activation. *Journal of Memory and Language*, 26, 188-208.
- [109] Van Petten, C. & Kutas, M. (1991). Influences of semantic and syntactic context on open- and closed-class words. *Memory & Cognition*, 19, 95 – 112.
- [110] Van Petten, C. (1995). Words and sentences. Event-related brain potential measures. *Psychophysiology*, 32, 511-525.
- [111] Warren, P. (1985). *The temporal organisation and perception of speech*. Dissertation: University of Cambridge.
- [112] Warren, P., Grabe, E. & Nolan, F. (1995). Prosody, phonology and parsing in closure ambiguities. *Language and Cognitive Processes*, 10, 457-486.

-
- [113] Weintraub, S., Mesulam, M. M. & Kramer, L. (1981). Disturbances in Prosody: A Right-Hemisphere Contribution to Language. *Archives of Neurology*, 38, 742-744.
- [114] Whitehouse, P., Caramazza, A. & Zurif, E. (1978). Naming in aphasia: Interacting effects of form and function. *Brain and Language*, 6, 63-74.
- [115] WinPitch Software Version 1.89; Pitch Instruments Inc.; Toronto, Kanada.
- [116] Zatorre, R. J. & Belin, P. (2001). Spectral and temporal processing in human auditory cortex. *Cerebral Cortex*, 11, 946-953.
- [117] Zatorre, R. J., Evans, A. C., Meyer, E. & Gjedde, A. (1992). Lateralization of phonetic and pitch discrimination in speech processing. *Science*, 256, 846-849.

Abbildungsverzeichnis

| | |
|--|----|
| Abb. 1-1 Modell der Sprachverarbeitung, Friederici, 2002..... | 5 |
| Abb. 1-2 Beschreibung von Prosodie auf akustischer und perzeptueller Ebene | 7 |
| Abb. 1-3 Prosodische Hierarchie nach Selkirk (1984)..... | 8 |
| Abb. 2-1 Die Ableitung von Ereigniskorrelierten Potentialen: Die Hirnaktivität wird vom EEG-Signal aufgezeichnet. Durch die Mittelung über Messepochen, welche an eine Stimuluspräsentation (S) gekoppelt sind, hebt sich das EKP von der Hintergrundaktivität ab. | 16 |
| Abb. 2-2 Die gemessenen Elektrodenpositionen | 18 |
| Abb. 5-1 Beispielsatz für die Aufteilung des Stimulusmaterials in Fragmente .. | 48 |
| Abb. 5-2 Durchschnittliche Satzlängen bei normalsprachlichem Material für Bedingung A1 (grau) und B1 (schwarz)..... | 49 |
| Abb. 5-3 Verlauf der Grundfrequenz (F0) bei normalsprachlichem Material für Bedingung A1 (gepunktet) und B1 (schwarz) | 50 |
| Abb. 5-4 EKPs über den gesamten Satz bei normalsprachlichem Material für Bedingung A1 (gepunktet) und B1 (schwarz). B1 zeigt einen ersten positiven Shift, der bei ungefähr 1.500 ms beginnt, sowie einen zweiten Shift, welcher bei ca. 2.700 ms startet. Bedingung A1 dagegen zeigt nur einen positiven Shift, der bei ungefähr 2.000 ms beginnt. | 56 |
| Abb. 5-5 EKPs über den gesamten Satz bei normalsprachlichem Material für Bedingung B1 (schwarz) und C1 (gepunktet). Beide Bedingungen zeigen fast identische Verläufe: einen ersten positiven Shift der bei ungefähr 1.500 ms beginnt, sowie einen zweiten positiven Shift, welcher bei ca. 2.700 ms startet. | 57 |
| Abb. 5-6 EKPs der Bedingungen B1 (schwarz) und C1 (gepunktet) beginnend beim Infinitivmarker „zu“. Die Bedingungen zeigen bis 600 ms identische Verläufe. Dann zeigt Bedingung C1 zunächst einen negativeren, anschließend einen positiveren Verlauf gegenüber B1. | 58 |
| Abb. 6-1 Durchschnittliche Satzlängen des syntaktischen Materials für Bedingung A2 (grau) und B2 (schwarz)..... | 65 |
| Abb. 6-2 Verlauf der Grundfrequenz (F0) bei den syntaktischen Sätzen für Bedingung A2 (gepunktet) und B2 (schwarz) | 66 |
| Abb. 6-3 EKPs über den gesamten Satz bei syntaktischem Material für Bedingung A2 (gepunktet) und B2 (schwarz). B2 zeigt einen ersten positiven Shift, der bei ungefähr 1.500 ms beginnt, sowie einen zweiten Shift, welcher bei ca. 2.800 ms startet. Bedingung A1 dagegen zeigt nur einen positiven Shift, der bei ungefähr 2.200 ms beginnt. | 67 |
| Abb. 7-1 Durchschnittliche Satzlängen bei pseudosprachlichem Material für Bedingung A3 (grau) und Bedingung B3 (schwarz)..... | 73 |
| Abb. 7-2 Verlauf der Grundfrequenz (F0) bei pseudosprachlichem Material für Bedingung A3 (gepunktet) und Bedingung B3 (schwarz) | 74 |
| Abb. 7-3 EKPs über den gesamten Satz bei pseudosprachlichem Material für Bedingung A3 (gepunktet) und B3 (schwarz). B3 zeigt einen ersten positiven Shift, der bei ungefähr 1.500 ms beginnt, sowie einen zweiten Shift, welcher bei ca. 2.500 ms startet. Bedingung A3 dagegen zeigt nur einen positiven Shift, der bei ungefähr 2.000 ms beginnt. | 75 |

| | |
|--|----|
| Abb. 8-1 Durchschnittliche Satz­längen bei gesummtem Material für Bedingung A4 (grau) und B4 (schwarz)..... | 82 |
| Abb. 8-2 Verlauf der Grundfrequenz (F0) bei gesummtem Material für Bedingung A4 (gepunktet) und B4 (schwarz) | 82 |
| Abb. 8-3 EKPs über den gesamten Satz bei gesummtem Material für Bedingung A4 (gepunktet) und B4 (schwarz). B4 zeigt einen ersten negativen Shift in einem Zeitfenster zwischen 500-1.000 ms. Darauf folgt ein erster positiver Shift, der bei ungefähr 1.000 ms beginnt, sowie ein zweiter Shift, welcher bei ca. 2.500 ms startet. Bedingung A4 dagegen zeigt nur einen positiven Shift, der bei ungefähr 2.000 ms beginnt..... | 84 |
| Abb. 8-4 EKPs beginnend nach dem ersten Fragment für Bedingung A4 (gepunktet) und B4 (schwarz)..... | 85 |
| Abb. 9-1 Beispiel für den F0-Verlauf eines Stimulus in Bedingung A4..... | 91 |
| Abb. 9-2 Beispiel für den F0-Verlauf eines Stimulus in Bedingung A5..... | 91 |
| Abb. 9-3 EKPs über den gesamten Satz bei künstlich verzerrtem, gesummtem Material für Bedingung A5 (gepunktet) und B5 (schwarz). Bedingung B5 zeigt einen positiven Shift an frontalen und zentralen Elektroden, der bei ca. 1.200 ms beginnt. | 92 |
| Abb. 9-4 EKPs der Bedingungen A5 (gepunktet) und B5 (schwarz) beginnend nach dem ersten Fragment bis 2.500 ms..... | 94 |

Anhang A Tabellen der signifikanten Effekte

Experiment I: Normale Sätze

| Zeitfenster ms | Laterale ROIs | p | Mittellinien- elektroden | p | | |
|-------------------|---------------|--------------|-----------------------------|-----------|--------------|------|
| 0–500 | --- | | --- | | | |
| 500–1000 | --- | | --- | | | |
| 1000–1500 | --- | | --- | | | |
| 1500–2000 | Bedingung | F(1,19)=6,34 | 0,02 | Bedingung | F(1,19)=7,84 | 0,01 |
| 2000–2500 | --- | | --- | | | |
| 2300–2800 | Bedingung | F(1,19)=5,83 | 0,03 | Bedingung | F(1,19)=7,09 | 0,02 |
| 2500–3000 | --- | | --- | | | |
| 3000–3500 | --- | | --- | | | |
| 3500–4000 | --- | | --- | | | |

Experiment II: syntaktische Sätze

| Zeitfenster ms | Laterale ROIs | p | Mittellinien- elektroden | p | |
|-------------------|-----------------------|---------------|-----------------------------|--------------|------|
| 300–800 | --- | | --- | | |
| 800–1300 | --- | | --- | | |
| 1300–1800 | --- | | --- | | |
| 1800–2300 | Bedingung | F(1,21)=6,34 | 0,03 | --- | |
| | Bedingung x Region | F(2,42)=20,67 | 0,00 | | |
| 2300–2800 | --- | | --- | | |
| 2500–3000 | --- | | Bedingung | F(1,21)=6,31 | 0,02 |
| 3000–3500 | --- | | --- | | |
| 3500–4000 | --- | | --- | | |

Experiment III: Pseudosätze

| Zeitfenster ms | Laterale ROIs | | p | Mittellinien- elektroden | | p |
|-------------------|---------------------------|--------------|------|-----------------------------|--------------|------|
| 0–500 | --- | | | | | |
| 500–1000 | --- | | | | | |
| 1000–1500 | --- | | | | | |
| 1500–2000 | Bedingung x Hemisphäre | F(1,21)=7,69 | 0,01 | | | |
| | Bedingung x Region | F(2,42)=7,12 | 0,00 | | | |
| 2000–2500 | Bedingung x Hemisphäre | F(1,21)=5,13 | 0,03 | | | |
| 2500–3000 | Bedingung | F(1,21)=7,21 | 0,01 | Bedingung | F(1,21)=5,68 | 0,03 |
| 3000–3500 | Bedingung x Hemisphäre | F(1,21)=9,78 | 0,00 | | | |
| 3500–4000 | Bedingung x Hemisphäre | F(1,21)=6,04 | 0,02 | | | |

Experiment IV: Gesummte Sätze

| Zeitfenster ms | Laterale ROIs | | p | Mittellinien- elektroden | | p |
|-------------------|---------------------------|---------------|-------|-----------------------------|---------------|------|
| 0–500 | --- | | | --- | | |
| 500–1000 | Bedingung | F(1,21)=7,88 | 0,001 | Bedingung | F(1,21)=5,48 | 0,03 |
| | Bedingung x Hemisphäre | F(1,21)=6,33 | 0,002 | | | |
| 1000–1500 | Bedingung x Region | F(2,42)=14,75 | 0,00 | --- | | |
| 1500–2000 | | | | --- | | |
| 2000–2500 | Bedingung x Hemisphäre | F(1,21)=7,78 | 0,01 | Bedingung | F(1,21)=7,52 | 0,01 |
| 2500–3000 | --- | | | --- | | |
| 3000–3500 | --- | | | Bedingung | F(1,21)=8,68 | 0,01 |
| 3500–4000 | Bedingung | F(1,21)=5,08 | 0,04 | Bedingung | F(1,21)=17,24 | 0,00 |

Experiment V: Künstlich verzerrte, gesummte Sätze

| Zeitfenster ms | Laterale ROIs | p | Mittellinien- elektroden | p |
|-------------------|-----------------------|---------------|-----------------------------|-----|
| 0–500 | --- | | --- | |
| 500–1000 | --- | | --- | |
| 1000–1500 | Bedingung x Region | F(2, 42)=6,01 | 0,00 | --- |
| 1500–2000 | --- | | --- | |
| 2000–2500 | --- | | --- | |
| 2500–3000 | --- | | --- | |
| 3000–3500 | --- | | --- | |
| 3500–4000 | --- | | --- | |

Anhang B Stimulusmaterial

Experiment I: normalsprachliches Satzmaterial

01 Kevin verspricht Mama zu schlafen und ganz lange lieb zu sein¹

02 Kevin verspricht, Mama zu küssen und ganz lange lieb zu sein

03 Lena verspricht Mama zu flitzen und Getränke zu kaufen

04 Lena verspricht, Mama zu helfen und Getränke zu kaufen

05 Lena bittet Papa zu tuten und lange rumzualbern

06 Lena bittet, Papa zu haschen und lange rumzualbern

07 Mama bittet Kevin zu kommen und das Spiel mitzumachen

08 Mama bittet, Kevin zu holen und das Spiel mitzumachen

09 Papa erlaubt Lena zu wüten und alles zu verraten

10 Papa erlaubt, Lena zu hauen und alles zu verraten

11 Mauzi erlaubt Tapsi zu fauchen und die Vögel zu scheuchen

12 Mauzi erlaubt, Tapsi zu baden und die Vögel zu scheuchen

13 Papa verbietet Kevin zu zappeln und vom Tisch aufzustehen

14 Papa verbietet, Kevin zu hänseln und vom Tisch aufzustehen

15 Mama verbietet Papa zu nörgeln und ganz laut rumzuhupen

16 Mama verbietet, Papa zu stören und ganz laut rumzuhupen

17 Mauzi hilft Tapsi zu raufen und die Bälle zu schubsen.

18 Mauzi hilft, Tapsi zu ärgern und die Bälle zu schubsen

19 Kevin hilft Lena zu lärmern und ganz laut zu klingeln

20 Kevin hilft, Lena zu wecken und ganz laut zu klingeln

21 Tapsi lehrt Mauzi zu rennen und die Katzen zu jagen

22 Tapsi lehrt, Mauzi zu finden und die Katzen zu jagen

¹ Das in Experiment I verwendete Satzmaterial wurde für die „Deutsche Sprachentwicklungsstudie“ entwickelt und orientiert sich deshalb an einem kindgerechten Wortschatz.

- 23 Tapsi lehrt Mauzi zu schleichen und dabei aufzupassen
24 Tapsi lehrt, Mauzi zu füttern und dabei aufzupassen
- 25 Kevin verspricht Oma zu sitzen und am Tisch zu bleiben
26 Kevin verspricht, Oma zu folgen und am Tisch zu bleiben
- 27 Lena verspricht Oma zu saugen und das Geschirr zu spülen
28 Lena verspricht, Oma zu stützen und das Geschirr zu spülen
- 29 Oma bittet Kevin zu sausen und ganz schnell einzukaufen
30 Oma bittet, Kevin zu suchen und ganz schnell einzukaufen
- 31 Oma bittet Opa zu tanken und eilig loszufahren
32 Oma bittet, Opa zu rufen und eilig loszufahren
- 33 Opa erlaubt Lena zu lachen und freudig loszukichern
34 Opa erlaubt, Lena zu kneifen und freudig loszukichern
- 35 Tapsi erlaubt Mauzi zu schwimmen und den Kopf einzutauchen
36 Tapsi erlaubt, Mauzi zu schnappen und den Kopf einzutauchen
- 37 Mauzi verbietet Tapsi zu mauzen und die Krallen zu zeigen
38 Mauzi verbietet, Tapsi zu strafen und die Krallen zu zeigen
- 39 Mauzi verbietet Tapsi zu klettern und auf die Jagd zu gehen
40 Mauzi verbietet, Tapsi zu locken und auf die Jagd zu gehen
- 41 Kevin hilft Opa zu malern und schön sauber zu machen
42 Kevin hilft, Opa zu kämmen und schön sauber zu machen
- 43 Opa hilft Lena zu puzzeln und das Rätsel zu lösen
44 Opa hilft, Lena zu kitzeln und das Rätsel zu lösen
- 45 Lena lehrt Kevin zu rechnen und die Zahlen zu schreiben
46 Lena lehrt, Kevin zu fragen und die Zahlen zu schreiben
- 47 Tapsi lehrt Mauzi zu schnurren und die Ohren zu pflegen

- 48 Tapsi lehrt, Mauzi zu kraulen und die Ohren zu pflegen
- 49 Kevin verspricht Lena zu spucken und ganz schnell abzuhaue
50 Kevin verspricht, Lena zu kratzen und ganz schnell abzuhaue
- 51 Lena verspricht Kevin zu heulen und danach frech zu grinsen
52 Lena verspricht, Kevin zu zwicken und danach frech zu grinsen
- 53 Kalle bittet Clowni zu hopsen und ein Liedchen zu pfeifen
54 Kalle bittet, Clowni zu loben und ein Liedchen zu pfeifen
- 55 Clowni bittet Kalle zu klatschen und sehr laut rumzubrüllen
56 Clowni bittet, Kalle zu schimpfen und sehr laut rumzubrüllen
- 57 Clowni erlaubt Lena zu quatschen und ein Liedchen zu trällern
58 Clowni erlaubt, Lena zu schminken und ein Liedchen zu trällern
- 59 Struppi erlaubt Bello zu kämpfen und dann lange zu schmuse
60 Struppi erlaubt, Bello zu kraulen und dann lange zu schmuse
- 61 Struppi verbietet Bello zu knurren und das Kind umzuwerfen
62 Struppi verbietet, Bello zu quälen und das Kind umzuwerfen
- 63 Bello verbietet Struppi zu jaulen und ganz laut rumzuwinseln
64 Bello verbietet, Struppi zu schubsen und ganz laut rumzuwinseln
- 65 Lena hilft Kevin zu quengeln und ganz laut rumzuheulen
66 Lena hilft, Kevin zu tadeln und ganz laut rumzuheulen
- 67 Kevin hilft Kalle zu toben und danach rumzukichern
68 Kevin hilft, Kalle zu knebeln und danach rumzukichern
- 69 Kalle lehrt Clowni zu lügen und die Taschen zu stehlen
70 Kalle lehrt, Clowni zu stossen und die Taschen zu stehlen
- 71 Bello lehrt Struppi zu schnüffeln und die Gefahr zu meiden
72 Bello lehrt, Struppi zu warnen und die Gefahr zu meiden

- 73 Kevin verspricht Tina zu beten und ganz leise zu spielen
74 Kevin verspricht, Tina zu mögen und ganz leise zu spielen
- 75 Lena verspricht Maxe zu bleiben und die Erbsen zu essen
76 Lena verspricht, Maxe zu knuddeln und die Erbsen zu essen
- 77 Tommi bittet Kevin zu rülpsen und die andern zu stören
78 Tommi bittet, Kevin zu ziepen und die andern zu stören
- 79 Maxe bittet Tina zu lächeln und das Lied mitzusingen
80 Maxe bittet, Tina zu grüssen und das Lied mitzusingen
- 81 Gudrun erlaubt Tommi zu rutschen und sehr lange zu schaukeln
82 Gudrun erlaubt, Tommi zu wiegen und sehr lange zu schaukeln
- 83 Tina erlaubt Kevin zu schmatzen und danach loszulachen
84 Tina erlaubt, Kevin zu pieksen und danach loszulachen
- 85 Tina verbietet Lena zu jammern und den Hund anzuschreien
86 Tina verbietet, Lena zu kneifen und den Hund anzuschreien
- 87 Lena verbietet Tommi zu motzen und später wegzulaufen
88 Lena verbietet, Tommi zu reizen und später wegzulaufen
- 89 Maxe hilft Gudrun zu nageln und das Bild aufzuhängen
90 Maxe hilft, Gudrun zu malen und das Bild aufzuhängen
- 91 Kevin hilft Gudrun zu schummeln und alle auszulachen
92 Kevin hilft, Gudrun zu necken und alle auszulachen
- 93 Tommi lehrt Lena zu hocken und ganz schnell wegzuhüpfen
94 Tommi lehrt, Lena zu retten und ganz schnell wegzuhüpfen
- 95 Gudrun lehrt Maxe zu poltern und das Bad naßzuspritzen
96 Gudrun lehrt, Maxe zu duschen und das Bad naßzuspritzen

Experiment II: syntaktisches Satzmaterial

- 01 Der Bater verklicht Onna zu labeiken # und das Rado zu nupen¹
02 Der Bater verklicht # Onna zu labeiken # und das Rado zu nupen
- 03 Das Daso verklicht Knalut zu schaufen # und den Berien zu lahren
04 Das Daso verklicht # Knalut zu schaufen # und den Berien zu lahren
- 05 Der Potim verklicht Beffen zu riorieren # und den Belay zu versippeln
06 Der Potim verklicht # Beffen zu riorieren # und den Belay zu versippeln
- 07 Die Larthe verklicht Neke zu drinseln # und die Bläken zu verlaschen
08 Die Larthe verklicht # Neke zu drinseln # und die Bläken zu verlaschen
- 09 Der Ado verrietet Batta zu verlaaschen # und die Nöste zu entbleuschen
10 Der Ado verrietet # Batta zu verlaaschen # und die Nöste zu entbleuschen
- 11 Die Neidi verrietet Gartlut zu gnegeln # und die Bösern zu gerven
12 Die Neidi verrietet # Gartlut zu gnegeln # und die Bösern zu gerven
- 13 Der Böter verrietet Nigo zu breilen # und den Baubarg zu gelärden
14 Der Böter verrietet # Nigo zu breilen # und den Baubarg zu gelärden
- 15 Der Awo verrietet Naja zu lopen # und die Nuse zu lören
16 Der Awo verrietet # Naja zu lopen # und die Nuse zu lören
- 17 Der Sudalf ernebt Blamen zu södeln # und den Nusus zu verpläumen
18 Der Sudalf ernebt # Blamen zu södeln # und den Nusus zu verpläumen
- 19 Der Atro ernebt Norkas zu belten # und das Dalo zu briemen
20 Der Atro ernebt # Norkas zu belten # und das Dalo zu briemen
- 21 Der Radock ernebt Dalter zu lusen # und die Grappe zu sorieren
22 Der Radock ernebt # Dalter zu lusen # und die Grappe zu sorieren

¹ # markiert jeweils die IPh-Grenze.

- 23 Die Noffie ernebt Alstin zu buren # und das Kriening zu beblömmen
24 Die Noffie ernebt # Alstin zu buren # und das Kriening zu beblömmen
- 25 Der Arkie brobt Lorka zu nüsern # und den Knupel zu verrassen
26 Der Arkie brobt # Lorka zu nüsern # und den Knupel zu verrassen
- 27 Der Ano brobt Klibart zu nammeln # und die Bimmong zu verkneben
28 Der Ano brobt # Klibart zu nammeln # und die Bimmong zu verkneben
- 29 Die Nerbat brobt Abolt zu debabieren # und die Laiten zu kneckseln
30 Die Nerbat brobt # Abolt zu debabieren # und die Laiten zu kneckseln
- 31 Die Blawa brobt Noja zu bärmern # und den Dorbrag zu laikobieren
32 Die Blawa brobt # Noja zu bärmern # und den Dorbrag zu laikobieren
- 33 Der Borner beknieft Dalo zu schnafen # und die Fören zu verpeiseln
34 Der Borner beknieft # Dalo zu schnafen # und die Fören zu verpeiseln
- 35 Die Landra beknieft Benter zu nubeln # und die Wören zu schlunken
36 Die Landra beknieft # Benter zu nubeln # und die Wören zu schlunken
- 37 Das Agos beknieft Bena zu heppen # und den Batbaat zu laffen
38 Das Agos beknieft # Bena zu heppen # und den Batbaat zu laffen
- 39 Die Nöke beknieft Daro zu leuchen # und die Dolung zu erlingen
40 Die Nöke beknieft # Daro zu leuchen # und die Dolung zu erlingen
- 41 Der Dalond biff Niebrid zu verschnofen # und die Bomse zu erleufen
42 Der Dalond biff # Niebrid zu verschnofen # und die Bomse zu erleufen
- 43 Die Lorsa biff Malas zu bettern # und die Dalsen zu erdommen
44 Die Lorsa biff # Malas zu bettern # und die Dalsen zu erdommen
- 45 Der Felonn biff Seinört zu leischen # und den Bimsag zu darlieren
46 Der Felonn biff # Seinört zu leischen # und den Bimsag zu darlieren
- 47 Die Zetta biff Mobag zu baffern # und die Klebo zu befösten

- 48 Die Zetta biff # Mobag zu baffern # und die Klebo zu befösten
- 49 Der Ulos schnoft Eti zu siesen # und den Zeilaus zu erfasigen
50 Der Ulos schnoft # Eti zu siesen # und den Zeilaus zu erfasigen
- 51 Der Nebo schnoft Biesbar zu schwissen # und die Sosen zu vertisslichen
52 Der Nebo schnoft # Biesbar zu schwissen # und die Sosen zu vertisslichen
- 53 Das Wabat schnoft Ello zu flarten # und den Deilen zu entlossen
54 Das Wabat schnoft # Ello zu flarten # und den Deilen zu entlossen
- 55 Die Bosi schnoft Forit zu lissen # und den Bloren zu erfossen
56 Die Bosi schnoft # Forit zu lissen # und den Bloren zu erfossen
- 57 Die Moschi verblöchert Basi zu verseiben # und die Neibe zu rosamisären
58 Die Moschi verblöchert # Basi zu verseiben # und die Neibe zu rosamisären
- 59 Der Nölli verblöchert Miebrich zu baschen # und die Dulben zu beblamen
60 Der Nölli verblöchert # Miebrich zu baschen # und die Dulben zu beblamen
- 61 Der Degras verblöchert Mettli zu bimseln # und die Drafe zu überblemen
62 Der Degras verblöchert # Mettli zu bimseln # und die Drafe zu überblemen
- 63 Die Sothi verblöchert Ribid zu somen # und die Schnafus zu beechten
64 Die Sothi verblöchert # Ribid zu somen # und die Schnafus zu beechten
- 65 Der Dackert lattet Tagi zu verflisseln # und den Baulag zu unterschnefen
66 Der Dackert lattet # Tagi zu verflisseln # und den Baulag zu unterschnefen
- 67 Der Bano lattet Nissi zu sosen # und die Teno zu deiben
68 Der Bano lattet # Nissi zu sosen # und die Teno zu deiben
- 69 Der Berno lattet Perbart zu büseln # und die Bedorf zu beflasen
70 Der Berno lattet # Perbart zu büseln # und die Bedorf zu beflasen
- 71 Die Nosti lattet Ormit zu süsten # und das Masti zu beflomen
72 Die Nosti lattet # Ormit zu süsten # und das Masti zu beflomen

- 73 Der Bowar söt Losi zu besseln # und die Schome zu bratzen
74 Der Bowar söt # Losi zu besseln # und die Schome zu bratzen
- 75 Die Bola söt Remie zu nösten # und die Laftie zu balubieren
76 Die Bola söt # Remie zu nösten # und die Laftie zu balubieren
- 77 Der Derag söt Zomer zu laupieren # und den Nalieb zu gesiesen
78 Der Derag söt # Zomer zu laupieren # und den Nalieb zu gesiesen
- 79 Das Nallo söt Biesi zu pachen # und den Dösa zu versumen
80 Das Nallo söt # Biesi zu pachen # und den Dösa zu versumen
- 81 Der Balki geflust Some zu schnuseln # und die Beseln zu debuchten
82 Der Balki geflust # Some zu schnuseln # und die Beseln zu debuchten
- 83 Der Zoffie geflust Dolba zu nübeln # und den Verblund zu versöbeln
84 Der Zoffie geflust # Dolba zu nübeln # und den Verblund zu versöbeln
- 85 Die Mollin geflust Somart zu süseln # und die Schmalert zu verniebeln
86 Die Mollin geflust # Somart zu süseln # und die Schmalert zu verniebeln
- 87 Die Nistie geflust Bonna zu verwusseln # und die Damies zu verbriesen
88 Die Nistie geflust # Bonna zu verwusseln # und die Damies zu verbriesen
- 89 Der Bronning sebiest Losi zu besabieren # und den Doselt zu nieworieren
90 Der Bronning sebiest # Losi zu besabieren # und den Doselt zu nieworieren
- 91 Die Mires sebiest Appen zu legern # und den Verbriet zu übersomen
92 Die Mires sebiest # Appen zu legern # und den Verbriet zu übersomen
- 93 Der Bolie sebiest Dado zu flehmen # und den Debmart zu besalichen
94 Der Bolie sebiest # Dado zu flehmen # und den Debmart zu besalichen
- 95 Die Nabrid sebiest Siba zu bömeln # und die Mofte zu verbraffen
96 Die Nabrid sebiest # Siba zu bömeln # und die Mofte zu verbraffen

Experiment III: pseudosprachliches Satzmaterial

- 01 Bater saklich Onna ko labeikeg # nag som Rado la nupes
02 Bater saklich # Onna ko labeikeg # nag som Rado la nupes
- 03 Daso saklich Knalut ko schaufor # nag tan Berien gu lahreg
04 Daso saklich # Knalut ko schaufor # nag tan Berien gu lahreg
- 05 Potim saklich Beffen ko riorierek # nag mar Belay lie sasippam
06 Potim saklich # Beffen ko riorieren # nag mar Belay lie sasippam
- 07 Larthe saklich Neke ko drinseg # nag mar Bläken bo kalaschie
08 Larthe saklich # Neke ko drinseg # nag mar Bläken bo kalaschie
- 09 Ado karrieteg Batta ko bolaaschem # nag lar Nöste ku satbleuschel
10 Ado karrieteg # Batta ko bolaaschem # nag lar Nöste ku satbleuschel
- 11 Neidi karrieteg Gartlut ko gneges # nag sor Bösern as genvers
12 Neidi karrieteg # Gartlut ko gneges # nag sor Bösern as genvers
- 13 Böter karrieteg Nigo ko breilom # nag dun Baubarg lo sulärdek
14 Böter karrieteg # Nigo ko breilom # nag dun Baubarg lo sulärdek
- 15 Awo karrieteg Naja ko lopep # nag ler Nuse bu lörem
16 Awo karrieteg # Naja ko lopep # nag ler Nuse bu lörem
- 17 Sudalf baneb Blamen ko södel # nag dom Nusus pe lapläumo
18 Sudalf baneb # Blamen ko södel # nag dom Nusus pe lapläumo
- 19 Atro baneb Norkas ko beltek # nag sim Dalo ot briemeg
20 Atro baneb # Norkas ko beltek # nag sim Dalo ot briemeg
- 21 Radock baneb Dalter ko lusel # nag sor Grappe pa sorierek
22 Radock baneb # Dalter ko lusel # nag sor Grappe pa sorierek
- 23 Noffie baneb Alstin ko burer # nag mar Kriening ju kablömmon
24 Noffie baneb # Alstin ko burer # nag mar Kriening ju kablömmon

- 25 Arkie brom Lorka ko nüsself # nag bam Knupel em darrasseg
26 Arkie brom # Lorka ko nüsself # nag bam Knupel em darrasseg
- 27 Ano brom Klibart ko nammelk # nag sar Bimmong do karknebo
28 Ano brom # Klibart ko nammelk # nag sar Bimmong do karknebo
- 29 Nerbat brom Abolt ko debabierel # nag lor Laiten ke knecksem
30 Nerbat brom # Abolt ko debabierel # nag lor Laiten ke knecksem
- 31 Blawa brom Noja ko bärmef # nag kum Dorbrag pu laikobierei
32 Blawa brom # Noja ko bärmef # nag kum Dorbrag pu laikobierei
- 33 Borner saknief Dalo ko schnafem # nag ban Fösen te somepiseg
34 Borner saknief # Dalo ko schnafem # nag ban Fösen te somepiseg
- 35 Landra saknief Benter ko nuberm # nag seg Wören lie schlunkef
36 Landra saknief # Benter ko nuberm # nag seg Wören lie schlunkef
- 37 Agos saknief Bena ko heppo # nag lam Batbaat se laffez
38 Agos saknief # Bena ko heppo # nag lam Batbaat se laffez
- 39 Nöke saknief Daro ko leucham # nag zor Dolang be ralingef
40 Nöke saknief # Daro ko leucham # nag zor Dolang be ralingef
- 41 Dalond böff Niebrid ko barschnofel # nag tur Bomse le kaleufes
42 Dalond böff # Niebrid ko barschnofel # nag tur Bomse le kaleufes
- 43 Lorsa böff Malas ko betterm # nag seg Dalsen ho sedommef
44 Lorsa böff # Malas ko betterm # nag seg Dalsen ho sedommef
- 45 Felonn böff Seinört ko leischeg # nag ser Bimsag jo darliero
46 Felonn böff # Seinört ko leischeg # nag ser Bimsag jo darliero
- 47 Zetta böff Mobag ko bafferm # nag dam Klebo gu defösteck
48 Zetta böff # Mobag ko bafferm # nag dam Klebo gu defösteck
- 49 Ulos schnoog Eti ko sieser # nag fer Zeilaus we lafasigel

50 Ulos schnoog # Eti ko sieser # nag fer Zeilaus we lafasigel

51 Nebo schnoog Biesbar ko schwisso # nag lom Sosen fa sortisslicham

52 Nebo schnoog # Biesbar ko schwisso # nag lom Sosen fa sortisslicham

53 Wabat schnoog Ello ko flartom # nag sor Deilen le eilossef

54 Wabat schnoog # Ello ko flartom # nag sor Deilen le eilossef

55 Bosi schnoog Forit ko lissam # nag hen Bloren fa ofossem

56 Bosi schnoog # Forit ko lissam # nag hen Bloren fa ofossem

57 Moschi sarblöchef Basi ko durseibom # nag gor Neibe tu rosamisäro

58 Moschi sarblöchef # Basi ko durseibom # nag gor Neibe tu rosamisäro

59 Nölli sarblöchef Miebrich ko bascham # nag par Dulben ga soblamo

60 Nölli sarblöchef # Miebrich ko bascham # nag par Dulben ga soblamo

61 Degras sarblöchef Mettli ko bimsong # nag dim Drafe lo saberblemeck

62 Degras sarblöchef # Mettli ko bimsong # nag dim Drafe lo saberblemeck

63 Sothi sarblöchef Ribid ko somar # nag jom Schnafus ka lerechtel

64 Sothi sarblöchef # Ribid ko somar # nag jom Schnafus ka lerechtel

65 Dackert laffor Tagi ko sorflissol # nag ber Baulag os kaferschnefom

66 Dackert laffor # Tagi ko sorflissol # nag ber Baulag os kaferschnefom

67 Bano laffor Nissi ko sosam # nag olf Teno gu deibes

68 Bano laffor # Nissi ko sosam # nag olf Teno gu deibes

69 Burno laffor Perbart ko büserm # nag dom Bedorg nu reflasef

70 Burno laffor # Perbart ko büserm # nag dom Bedorg nu reflasef

71 Nosti laffor Ormit ko süstor # nag fas Masti su laflomerf

72 Nosti laffor # Ormit ko süstor # nag fas Masti su laflomerf

73 Bowar sör Losi ko bessom # nag lor Schome os bratzo

74 Bowar sör # Losi ko bessom # nag lor Schome os bratzo

- 75 Bola sör Remie ko nöstef # nag eff Laftie fe balubierag
76 Bola sör # Remie ko nöstef # nag eff Laftie fe balubierag
- 77 Derag sör Zomer ko laupieram # nag gur Nalieb je sasiesem
78 Derag sör # Zomer ko laupieram # nag gur Nalieb je sasiesem
- 79 Nallo sör Biesi ko pacheg # nag hes Dösa ga dasumon
80 Nallo sör # Biesi ko pacheg # nag hes Dösa ga dasumon
- 81 Balki peflüs Some ko schnusef # nag dus Beseln se debuchtom
82 Balki peflüs # Some ko schnusef # nag dus Beseln se debuchtom
- 83 Zoffie peflüs Dolba ko nübie # nag ler Verblund go sorsöbelb
84 Zoffie peflüs # Dolba ko nübie # nag ler Verblund go sorsöbelb
- 85 Mollin peflüs Somart ko süself # nag wur Schmalert ne ganiebeln
86 Mollin peflüs # Somart ko süself # nag wur Schmalert ne ganiebeln
- 87 Nistie peflüs Bonna ko solwussel # nag tam Damies lo surbrieseck
88 Nistie peflüs # Bonna ko solwussel # nag tam Damies lo surbrieseck
- 89 Bronning sebiery Losi ko pesabierel # nag ser Doselt fo nieworierom
90 Bronning sebiery # Losi ko pesabierel # nag ser Doselt fo nieworierom
- 91 Mires sebiery Appen ko legerf # nag lom Vurbriet ge nomersomes
92 Mires sebiery # Appen ko legerf # nag lom Vurbriet ge nomersomes
- 93 Bolie sebiery Dado ko flehmon # nag lam Debmart os kesalichel
94 Bolie sebiery # Dado ko flehmon # nag lam Debmart os kesalichel
- 95 Nabrid sebiery Siba ko bömelk # nag sor Moffe pe serbraffeg
96 Nabrid sebiery # Siba ko bömelk # nag sor Moffe pe serbraffeg

Curriculum vitae

| | |
|--------------|--|
| Name | Ann Pannekamp |
| Geburtsdatum | 24.05.1970 |
| Geburtsort | Berlin |
| 1976 -1986 | Allgemeine Polytechnische Oberschule, Berlin |
| 1986 - 1990 | Institut für Lehrerbildung, Fachhochschulabschluss, Berlin |
| 1991 - 1995 | Ausbildung und Arbeit als Buchhändlerin, Berlin |
| 1995 - 2001 | Studium der Psychologie, Humboldt-Universität zu Berlin |
| 2001 | Diplom in Psychologie |
| 2001 - 2004 | Doktorandin am Max Planck Institut für Kognitions- und Neurowissenschaften, Leipzig, |
| seit 11/2004 | Wissenschaftliche Mitarbeiterin, Humboldt-Universität zu Berlin |

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
Hirnhysiologische 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-Resonanz-
Tomographie
- 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 electro-
physiological 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
erlaubten 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 Aufgabenwechselfparadigma 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