

***Hirnphysiologische Korrelate prosodischer  
Satzverarbeitung bei gesprochener  
und geschriebener Sprache***

ISBN 3-9807282-7-7

Druck: Sächsisches Digitaldruck Zentrum, Dresden, Germany

© 2001, Karsten Steinhauer

***Hirnphysiologische Korrelate prosodischer Satzverarbeitung  
bei gesprochener und geschriebener Sprache***

Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades  
Dr. rer. nat. in Biologie

am Fachbereich Biologie, Chemie, Pharmazie der Freien Universität Berlin

vorgelegt von Karsten Steinhauer

Leipzig / Berlin / Washington D.C., Juli 2000

Gutachter:

**Prof. Dr. Angela D. Friederici** (Max-Planck-Institut für neuropsychologische Forschung, Leipzig)

**Prof. Dr. Randolph Menzel** (Institut für Biologie, Freie Universität Berlin)

## Vorwort und Danksagungen

Die vorliegende Dissertation ist das Ergebnis meiner Forschungsarbeit am Max-Planck-Institut für neuropsychologische Forschung in Leipzig und beruht insbesondere auf Experimenten der letzten zweieinhalb Jahre. Daß es überhaupt zur Abfassung der Dissertation kam, verdanke ich nicht zuletzt der Unterstützung durch Freunde, Kollegen und Verwandte. An erster Stelle sei mein 1999 verstorbener Vater Werner Steinhauer genannt, dem diese Arbeit gewidmet ist.

Weiterer Dank gebührt denjenigen, die auch während der schwierigeren Phasen der Dissertation ihr Vertrauen in mich setzten. Hierzu zählen vor allem meine Frau Clare Foa, die allzu oft ihre nicht gänzlich unbegründete Eifersucht auf die Institutsarbeit zu meistern hatte, sowie meine Freunde Friedrich Kleine und Martin Meyer, deren moralische Aufbauarbeit mehr als nur einmal ihre Wirkung tat. Im immer noch gleichen Kontext möchte ich mich auch bei meiner Lehrerin Angela D. Friederici und bei Axel Mecklinger bedanken, die eben nicht bloß meine fachliche Kompetenz förderten. Für die Freiräume bei der Umsetzung meiner Forschungsvorstellungen, aber auch für die praktizierte Streitkultur in der wissenschaftlichen Auseinandersetzung, die inhaltliche Argumente und Persönliches nie verwechselte, gilt Frau Friederici mein besonderer Dank.

Im Hinblick auf die Experimente muß vor allem mein Kollege Kai Alter erwähnt werden, mit dem ich über zwei Jahre lang äußerst fruchtbar kooperieren konnte und ohne dessen prosodische Expertise die auditorischen Experimente nicht hätten durchgeführt werden können. Sämtliche Aufzeichnungen und Manipulationen von Sprachsignalen sowie nahezu alle akustischen Messungen wurden entweder von ihm selbst oder unter seiner Anleitung durchgeführt. Neben ihm waren an der Stimuluserstellung und Datenvorauswertung außerdem Katja Kühn, Annett Schirmer und Franziska Kopp beteiligt, denen ich ebenfalls danken möchte.

Für ihre Unterstützung bei der Datenerhebung der EEG-Experimente danke ich Ina Koch und Cornelia Schmidt, sowie Frank Meyer für seinen technischen Beistand.

Einige der nachfolgend abgebildeten Grafiken wurden ursprünglich für Publikationen, Vorträge und Posterpräsentationen angefertigt. Für ihre äußerst professionelle Hilfe, aber auch für ihre Bereitschaft zur Erfüllung selbst kurzfristiger Änderungswünsche gilt mein herzlicher Dank Stefan Liebig und ganz besonders Andrea Gast-Sandmann. Unserer Bibliothekarin Frau

Gerlinde Lewin möchte ich für die Erfüllung aller Literaturwünsche danken sowie für die einmalig freundliche Art, mit der sie dies tat. Herrn Prof. Randolph Menzel danke ich für die Übernahme der Dissertationsbetreuung an der FU Berlin und seinen diesbezüglichen Einsatz für mich.

Zuletzt sei jenen Fachkollegen gedankt, die mir in Gesprächen und Diskussionen durch Fragen, Vorschläge oder aufmunternden Zuspruch geholfen haben, die hier vorgestellten Experimente und Interpretationen in ihre endgültige Form zu gießen. Dies sind vor allem: Gerry Altmann, nochmals Kai Alter, Christian Fiebach, Janet D. Fodor, Lyn Frazier, Stefan Frisch, Merrill Garrett, Thom Gunter, Thomas Jacobsen, Burkhard Maeß, nochmals Martin Meyer, Lee Osterhout, Trevor Penney, Amy Schafer, und Herbert Schriefers.

Ein Teil der Experimente wurde im Rahmen des von der Deutschen Forschungsgemeinschaft geförderten Projektes FR 519/17-1 *"Zeitliche Segmentierung akustischer Inputs: Prosodische und syntaktische Verarbeitung"* im DFG-Schwerpunktprogramm *Zeitgebundene Informationsverarbeitung im zentralen auditorischen System* durchgeführt.

Washington D.C., im Juli 2000

---

# Inhalt

|            |   |           |
|------------|---|-----------|
| <b>1</b>   | <b>EINLEITUNG UND ÜBERBLICK .....</b>                                     | <b>1</b>  |
| <b>2</b>   | <b>THEORETISCHER HINTERGRUND UND FRAGESTELLUNGEN .....</b>                | <b>5</b>  |
| <b>2.1</b> | <b>MODELLE DER SATZVERARBEITUNG - STAND DER FORSCHUNG .....</b>           | <b>5</b>  |
| 2.1.1      | <i>Die syntaktische Struktur sprachlicher Äußerungen .....</i>            | <i>7</i>  |
| 2.1.2      | <i>Parsingmodelle und ihre empirische Basis .....</i>                     | <i>9</i>  |
| 2.1.3      | <i>Theorien zur Schwere der Gardenpath-Effekte .....</i>                  | <i>15</i> |
| <b>2.2</b> | <b>PROSODISCHE SPRACHVERARBEITUNG .....</b>                               | <b>18</b> |
| 2.2.1      | <i>Phonetische und phonologische Prosodie .....</i>                       | <i>18</i> |
| 2.2.2      | <i>Das Syntax-Prosody-Mapping auf Sprecherseite .....</i>                 | <i>22</i> |
| 2.2.3      | <i>Das Prosody-Syntax-Mapping auf Hörerseite .....</i>                    | <i>25</i> |
| 2.2.4      | <i>Prosodie und Interpunktion in Lesestudien .....</i>                    | <i>31</i> |
| <b>2.3</b> | <b>PSYCHOLINGUISTIK UND EREIGNIS-KORRELIERTE POTENTIALE (EKPs) .....</b>  | <b>33</b> |
| 2.3.1      | <i>Sprachunabhängige Komponenten: N100, P200, P300, CNV .....</i>         | <i>33</i> |
| 2.3.2      | <i>Korrelate semantischer Prozesse: die N400 .....</i>                    | <i>34</i> |
| 2.3.3      | <i>Frühe syntaktische Prozesse: links-anteriore Negativierungen .....</i> | <i>35</i> |
| 2.3.4      | <i>Späte syntaktische Prozesse: posteriore Positivierungen .....</i>      | <i>36</i> |
| 2.3.5      | <i>Ein neuro-physiologisch motiviertes Modell .....</i>                   | <i>37</i> |
| 2.3.6      | <i>Korrelate phonologischer Verarbeitung .....</i>                        | <i>37</i> |
| <b>2.4</b> | <b>ZENTRALE FRAGESTELLUNGEN .....</b>                                     | <b>39</b> |

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| <b>3</b> | <b>MATERIAL UND METHODEN.....</b>  | <b>41</b> |
| 3.1      | <b>VERSUCHSPERSONEN .....</b>  | <b>41</b> |
| 3.2      | <b>STIMULUSMATERIAL .....</b>  | <b>41</b> |
| 3.2.1    | <i>Stimuluserstellung.....</i>   | 41        |
| 3.2.2    | <i>Akustische Analysen der Speechfiles.....</i>                            | 45        |
| 3.2.3    | <i>Weiterbehandlung der Speechfiles.....</i>                               | 45        |
| 3.2.4    | <i>Randomisierung des Stimulusmaterials .....</i>                          | 46        |
| 3.3      | <b>VERSUCHSDURCHFÜHRUNG .....</b>  | <b>48</b> |
| 3.3.1    | <i>Verlauf der Versuchssitzung.....</i>                                    | 48        |
| 3.3.2    | <i>Trialpräsentation .....</i>   | 48        |
| 3.3.3    | <i>EEG-Aufzeichnung.....</i>   | 50        |
| 3.4      | <b>DATENAUFBEREITUNG .....</b>   | <b>51</b> |
| 3.4.1    | <i>Vorverarbeitung der EKPs.....</i>                                       | 51        |
| 3.5      | <b>STATISTISCHE AUSWERTUNG .....</b>                                       | <b>52</b> |
| 3.5.1    | <i>Speechfiles .....</i>   | 52        |
| 3.5.2    | <i>Performanz-Daten.....</i>   | 52        |
| 3.5.3    | <i>EKP-Daten.....</i>  | 53        |
| <b>4</b> | <b>AKUSTISCHE UND PROSODISCHE EIGENSCHAFTEN DER<br/>SPRACHSIGNALE.....</b> | <b>55</b> |
| 4.1      | <b>HYPOTHESEN .....</b>  | <b>56</b> |
| 4.2      | <b>SPRACHSIGNALE DER TRAINIERTEN SPRECHERIN .....</b>                      | <b>56</b> |
| 4.2.1    | <i>Dauerparameter.....</i>   | 57        |
| 4.2.2    | <i>Grundfrequenzverläufe.....</i>  | 59        |
| 4.2.3    | <i>Signalintensität (Lautstärkeverlauf) .....</i>                          | 61        |
| 4.2.4    | <i>Diskussion.....</i>   | 63        |
| 4.3      | <b>PRODUKTIONSDATEN ANDERER SPRECHER .....</b>                             | <b>64</b> |



---

|          |  |            |
|----------|--|------------|
| <b>5</b> | <b>EXPERIMENTE 1 UND 2: WIRD DIE SYNTAKTISCHE SATZANALYSE DURCH PROSODIE GESTEUERT, UND GIBT ES HIERFÜR KORRELATE IM EKP?.....</b> | <b>65</b>  |
| 5.1      | FRAGESTELLUNGEN UND HYPOTHESEN .....   | 65         |
| 5.2      | METHODEN .....   | 68         |
| 5.3      | ERGEBNISSE .....   | 69         |
| 5.3.1    | <i>Behaviorale Daten</i> .....   | 69         |
| 5.3.2    | <i>EKP-Daten</i> .....   | 70         |
| 5.4      | DISKUSSION .....   | 93         |
| 5.4.1    | <i>Behaviorale Daten</i> .....   | 93         |
| 5.4.2    | <i>EKP-Daten</i> .....   | 94         |
| <b>6</b> | <b>EXPERIMENT 3: DIE ROLLE DER PAUSE BEI PROSODISCHER PHRASIERUNG .....</b>  | <b>99</b>  |
| 6.1      | FRAGESTELLUNGEN UND HYPOTHESEN .....   | 99         |
| 6.2      | METHODEN .....   | 102        |
| 6.3      | ERGEBNISSE .....   | 103        |
| 6.3.1    | <i>Performanzdaten</i> .....   | 103        |
| 6.3.2    | <i>EKP-Daten</i> .....   | 104        |
| 6.4      | DISKUSSION .....   | 107        |
| <b>7</b> | <b>EXPERIMENT 4: SIND KOMMAS UND PROSODISCHE GRENZEN ÄQUIVALENT? .....</b>   | <b>109</b> |
| 7.1      | FRAGESTELLUNGEN, EIN EXKURS UND DIE HYPOTHESEN .....   | 109        |
| 7.1.1    | <i>Fragestellungen</i> .....   | 109        |
| 7.1.2    | <i>Exkurs zu den Zeichensetzungsregeln im Deutschen</i> .....  | 112        |
| 7.1.3    | <i>Hypothesen</i> .....  | 114        |

|            |   |            |
|------------|---|------------|
| <b>7.2</b> | <b>METHODEN .....</b>   | <b>115</b> |
| <b>7.3</b> | <b>ERGEBNISSE .....</b>   | <b>118</b> |
| 7.3.1      | <i>Der Zeichensetzungstest.....</i>   | 118        |
| 7.3.2      | <i>Daten des Leseurteils .....</i>  | 120        |
| 7.3.3      | <i>Satzverständnis.....</i>   | 123        |
| 7.3.4      | <i>EKP-Daten.....</i>   | 124        |
| <b>7.4</b> | <b>DISKUSSION .....</b>   | <b>133</b> |
| 7.4.1      | <i>Performanzdaten.....</i>   | 133        |
| 7.4.2      | <i>EKP-Daten.....</i>   | 137        |
| <b>8</b>   | <b>EXPERIMENT 5: <i>KOMMAS ALS TRIGGER PROSODISCHER PHRASIERUNG</i>.....</b>                      | <b>141</b> |
| 8.1        | <b>FRAGESTELLUNGEN UND HYPOTHESEN .....</b>   | <b>141</b> |
| 8.2        | <b>METHODEN .....</b>   | <b>145</b> |
| 8.3        | <b>ERGEBNISSE .....</b>   | <b>146</b> |
| 8.3.1      | <i>EKPs der Experimental-Sätze 1a und 1b'.....</i>  | 146        |
| 8.3.2      | <i>EKPs der 'Füll'-Sätze 2a, 2a', 2b und 2b'.....</i>   | 148        |
| 8.4        | <b>DISKUSSION .....</b>   | <b>149</b> |
| <b>9</b>   | <b>EXPERIMENT 6: <i>DIE UNIVERSALITÄT DES CPS ALS KORRELAT PROSODISCHER PHRASIERUNG</i> .....</b> | <b>151</b> |
| 9.1        | <b>FRAGESTELLUNGEN UND HYPOTHESEN .....</b>   | <b>151</b> |
| 9.2        | <b>METHODEN .....</b>   | <b>152</b> |
| 9.3        | <b>ERGEBNISSE .....</b>   | <b>154</b> |
| 9.4        | <b>DISKUSSION .....</b>   | <b>155</b> |

---

|             |   |            |
|-------------|---|------------|
| <b>10</b>   | <b>ABSCHLIESSENDE DISKUSSION</b> .....                                | <b>157</b> |
| <b>10.1</b> | <b>PSYCHOLINGUISTISCHE MODELLE</b> .....                              | <b>157</b> |
| 10.1.1      | <i>Syntax-Prosody-Mapping durch den Sprecher</i> .....                | 158        |
| 10.1.2      | <i>Prosody-Syntax-Mapping durch den Hörer</i> .....                   | 159        |
| 10.1.3      | <i>Die Verarbeitung von Satzzeichen</i> .....                         | 161        |
| 10.1.4      | <i>Die Schwere von Gardenpath-Effekten und von Reanalysen</i> .....   | 163        |
| <b>10.2</b> | <b>EREIGNIS-KORRELIERTE POTENTIALE</b> .....                          | <b>164</b> |
| 10.2.1      | <i>Gardenpath-Effekte und die Bedeutung der P600</i> .....            | 165        |
| 10.2.2      | <i>Phonologische Phrasierung und der Closure Positive Shift</i> ..... | 167        |
| <b>10.3</b> | <b>EXPERIMENTELLE METHODIK</b> .....                                  | <b>169</b> |
| <b>10.4</b> | <b>AUSBLICK</b> .....   | <b>171</b> |
| <b>11</b>   | <b>ZUSAMMENFASSUNG</b> .....  | <b>173</b> |
|             | <b>LITERATUR</b> .....  | <b>177</b> |
|             | <b>ANHANG: SATZMATERIAL</b>   |            |



## 1 Einleitung und Überblick

Mit dem Begriff *Prosodie* wird diejenige Information gesprochener Sprache bezeichnet, die sich in der Tonhöhe (Grundfrequenz), der Lautstärke (Intensität), der Wort- und der Pausendauer (Rhythmus) manifestiert und auf Satzebene als 'Satzmelodie' umschrieben werden kann. Prosodie dient hauptsächlich vier Funktionen: (a) dem Ausdruck emotionaler Zustände (z.B. Trauer, Freude, Zorn, Angst), (b) der Kodierung des Satzmodus (Aussagesatz, Fragesatz), (c) der Hervorhebung neuer oder wichtiger Satzinformation durch Akzentuierung sowie (d) der Vermittlung rein linguistischer Information (Wortbetonung, Syntaxstruktur). Die vorliegende Arbeit beschränkt sich auf einen linguistischen Aspekt und untersucht mittels ereigniskorrelierter Hirnpotentiale (EKP) den Einfluß prosodischer Information auf syntaktische Satzverarbeitungsprozesse. Ihre Hauptbefunde lassen sich folgendermaßen zusammenfassen:

1. Phonologische Phrasierungsinformation, wie sie durch prosodische Grenzen vom Sprecher realisiert wird, wird vom Hörer unmittelbar dekodiert und sofort für die syntaktische Satzanalyse herangezogen. Diese Einflüsse der Prosodie auf die Satzverarbeitung sind so stark, daß sie initiale syntaktische Verarbeitungspräferenzen vollständig umkehren können.
2. In der Schriftsprache wird eine ähnliche Verarbeitung beim Leser durch Kommata ausgelöst, wobei allerdings individuelle Zeichensetzungsgewohnheiten des Lesers eine entscheidende Rolle spielen.
3. Beide untersuchten Markierungarten für sprachliche Segmentierung (d.h. prosodische Grenzen und Kommata) lösen beim Hörer bzw. Leser modalitätsunabhängig ein nahezu identisches Signal im EKP aus. Ihre Verarbeitung beruht daher vermutlich zum Teil auf identischen Hirnprozessen.

In gewisser Hinsicht sind diese Ergebnisse trivial, da zumindest die ersten beiden lediglich die intuitiven Vermutungen der meisten von mir befragten 'Laien' bestätigen. Daß ich die Daten dennoch für ausreichend halte, um darüber meine Dissertationsschrift abzufassen, liegt vor allem an folgenden vier Punkten:

1. Weniger für den Laien, sehr wohl aber für den Experimentalpsychologen ist es durchaus bemerkenswert, wenn die Intuition bzw. der 'gesunde Menschenverstand' auf Basis introspektiver Erfahrungen und Beobachtungen korrekte Vermutungen über kognitive Prozesse anstellen. Da die zugrundeliegenden Prozesse oft außerordentlich schnell ablaufen und häufig dem Bewußtsein nicht zugänglich sind, kann die tatsächliche Organisation und Dynamik kognitiver Leistungen in der Regel erst durch äußerst komplizierte Experimente aufgedeckt werden. Wer würde schon intuitiv auf die Idee kommen, daß in dem Satz "*Sie gingen an Bord des Schiffes, um dem Kapitän die Hand zu schütteln*" auf den ersten beiden Silben des Wortes *Kapitän* im Gehirn kurzzeitig auch die Bedeutungen ähnlich klingender Wörter (wie z.B. *Kapital*) aktiviert werden, obwohl der Satzkontext doch völlig eindeutig ist? (Vgl. Zwitserlood, 1989.) Bewußte Kenntnis hiervon läßt sich introspektiv jedenfalls nicht erlangen.
2. Im Hinblick auf prosodische Einflüsse auf sprachliche Verarbeitungsprozesse kommt erschwerend hinzu, daß deren experimentelle Untersuchung außerordentlich aufwendige Analysen des sprachlichen Signals voraussetzen, ohne deren Kontrolle beobachtete Effekte nur schwer zu interpretieren sind. Da diese Analysen in der Regel nur computer-gestützt durchgeführt werden können, setzt eine systematische empirische Erforschung prosodiebezogener Fragestellungen erst allmählich ein, nachdem sowohl die nötige Rechenleistung als auch die entsprechende Software zu vertretbaren Kosten zur Verfügung stehen. Vor dem Hintergrund der unter Punkt 1 genannten Skepsis gegenüber intuitiven Vermutungen sei zur Illustration angemerkt, daß von Psycholinguisten noch 1996 in einem Sonderband zum Thema Prosodie und Syntax völlig kontrovers darüber diskutiert wurde, ob Prosodie wirklich frühzeitig auf syntaktische Verarbeitungsprozesse einwirken kann (Warren, 1996).
3. Schließlich verlieren die hier präsentierten Daten endgültig ihre Trivialität, wenn die verwendete experimentelle Methode einbezogen wird. Anders als rein behaviorale Messungen von Fehlerraten und Reaktionszeiten ermöglichen ereignis-korrelierte Potentialmessungen die verzögerungsfreie Abbildung hirnelektrischer Korrelate von kognitiven Leistungen in Echtzeit. Die erheblichen Vorteile gegenüber bisherigen Versuchsparradigmen werden an späterer Stelle noch ausführlich dargestellt. Bereits hier soll jedoch darauf hingewiesen werden, daß die Charakteristika der hier vorgestellten, neu entdeckten EKP-Komponente Anlaß zu der Hoffnung geben, daß die Komponente auch im

klinischen Bereich eingesetzt werden kann, um die Intaktheit bzw. Beeinträchtigung prosodischer Verarbeitung bei den oft nur bedingt kooperationsfähigen Patienten zu diagnostizieren.

4. Die praktisch aufgabenunabhängige Messung der EKP-Komponente ermöglichte es, erstmalig direkt die hirnpfysiologische Entsprechung der Verarbeitung von gesprochenen prosodischen Grenzen einerseits und von Kommas beim stillen Lesen andererseits experimentell nachzuweisen.

Die vorliegende Arbeit umfaßt insgesamt sechs aufeinander aufbauende EKP-Experimente, davon 3 rein auditorische, 2 Leseexperimente und 1 kombiniertes auditiv-visuelles Experiment.

Im nachfolgenden zweiten Kapitel wird zunächst ein Überblick über den psycholinguistischen Hintergrund der Fragestellung und den bisherigen Stand der Prosodieforschung gegeben. Außerdem wird in die Methode ereignis-korrelierter Hirnpotentiale (EKP) eingeführt und die generelle Fragestellung der Arbeit entwickelt.

Das dritte Kapitel stellt die wesentlichen und versuchsübergreifenden Aspekte der experimentellen Vorgehensweise, von der Stimuluserstellung bis zur statistischen Datenauswertung, dar.

Kapitel 4 liefert eine empirisch ermittelte akustische Charakterisierung der eingesprochenen Satzstimuli und zeigt auf, wie syntaktische Strukturunterschiede auf Sprecherseite systematisch prosodisch kodiert wurden (sog. *Syntax-Prosody-Mapping*). Daten der akustischen Analysen gingen bereits in eine Publikation von Alter, Matiassek, Steinhauer, Pirker und Friederici (1998) ein.

Im fünften Kapitel folgt die Darstellung der ersten beiden Perzeptions-Experimente, bei denen das zuvor charakterisierte Satzmaterial insgesamt 40 Probanden auditiv dargeboten wurde. Besondere Aufmerksamkeit galt hierbei etwaigen elektrophysiologischen Indikatoren zur Beantwortung der Frage, ob (und gegebenenfalls *wann*) Hörer in der Lage sind, die prosodisch kodierte Syntax-Information der Sprachsignale verlässlich zu de-kodieren (*Prosody-Syntax-Mapping*). Neben dem Nachweis, daß prosodische Information das syntaktische Parsing von

Hörern steuern kann, wurde eine neue EKP-Komponente entdeckt, welche die Verarbeitung prosodischer Phrasengrenzen reflektiert und als *Closure Positive Shift* (CPS) bezeichnet wurde. Die Resultate der Experimente wurden auszugsweise bereits von Steinhauer, Alter und Friederici (1999a) veröffentlicht.

Das in Kapitel 6 vorgestellte dritte EKP-Experiment geht der Frage nach, welche Rolle ein spezifischer akustischer Parameter, nämlich die Dauer einer Pauseninsertion, sowohl bei der Auslösung des CPS als auch bei der Steuerung von Parsingpräferenzen spielt. Vorläufige Befunde dieses Experiments wurden zuvor von Steinhauer, Alter und Friederici (1998) vorgestellt.

Kapitel 7 und 8 wechseln von der auditiven zur visuellen Sprachdarbietung. In zwei EKP-Leseexperimenten wird einerseits untersucht, ob Kommata subvokal zu ähnlichen Satzphrasierungen führen wie prosodische Grenzen in der gesprochenen Sprache. Zweitens wird demonstriert, in welcher Weise individuelle Zeichensetzungsgewohnheiten die Kommaverarbeitung beim Lesen beeinflussen. Teile dieser Lesestudie finden sich in Steinhauer, Alter und Friederici (1999b).

Die aus den Befunden der auditiven und visuellen Experimente 1 bis 5 abgeleitete Hypothese, wonach Kommaverarbeitung beim stillen Lesen wesentlich auf subvokal aktivierter Prosodie beruht, wird in Kapitel 9 durch ein sechstes Experiment überprüft .

Die abschließende Diskussion in Kapitel 10 zeigt auf, welche neuen Einsichten der hirnelektrische Untersuchungsansatz für das Verständnis prosodischer Verarbeitung bislang geliefert hat und welche zukünftigen Möglichkeiten dieses Ansatzes sich bereits jetzt abzeichnen. Neben methodischen Neuerungen werden dabei insbesondere auch die Konsequenzen für die psycholinguistische Modellbildung diskutiert.

In Kapitel 11 findet sich eine Zusammenfassung der Arbeit.



## 2 Theoretischer Hintergrund und Fragestellungen

Erstaunlicherweise spielt Prosodie in den derzeitigen psycholinguistischen Modellen zur Satzverarbeitung nur eine untergeordnete Rolle. Während die Bedeutung von Betonungsmustern bei der Einzelwortverarbeitung zur Formulierung spezifischer Theorien und entsprechenden empirischen auditorischen Untersuchungen führte (Cutler & Norris 1988), beruhen Vorstellungen zu Prozessen auf Satzebene in überwältigender Mehrheit auf Leseexperimenten, bei denen zudem das orthografische Korrelat für Prosodie, nämlich die Zeichensetzung, ebenfalls wenig Beachtung fand. Im Folgenden wird daher zunächst ein Überblick über die rezenten Ansätze zur Beschreibung der Satzverarbeitung, mit besonderem Gewicht auf der Syntaxanalyse, gegeben (Abschnitt 2.1). Dem schließt sich ein separater Abschnitt zur Funktion und Realisierung prosodischer Sprachkodierung an, wobei auch die wichtigsten Studien zur kognitiven Prosodieverarbeitung berücksichtigt werden (Abschnitt 2.2). Schließlich wird gezeigt, welche Beiträge die hier verwendete Methode der ereignis-korrelierten Hirnpotentiale (EKP) bislang zum Verständnis sprachlicher Verarbeitungsleistungen geliefert hat (Abschnitt 2.3). Zuletzt werden auf Basis des theoretischen Hintergrundes und des aktuellen Forschungsstandes die generellen Fragestellungen für die vorliegende Arbeit entwickelt (Abschnitt 2.4).

### 2.1 Modelle der Satzverarbeitung - Stand der Forschung

Die Schnelligkeit sprachlicher Verarbeitung mit Leseleistungen von bis zu 10 Wörtern pro Sekunde und Sprechraten von 3 Wörtern und mehr pro Sekunde erfordert eine außergewöhnliche Effizienz der kognitiven Prozesse. Dies gilt umso mehr, wenn man berücksichtigt, daß ein durchschnittlicher Leser oder Hörer über ein Vokabular von mehreren Zehntausend Wörtern verfügt, aus welchem die betreffenden Einträge eindeutig identifiziert und in korrekte syntaktische und semantische Relationen zueinander gesetzt werden müssen. Die Mühelosigkeit, mit der dies in der Regel gelingt, gibt einen ersten Hinweis auf die weitgehende Automatizität dieser Prozesse, so daß uns bewußt meist nur das Ergebnis der kognitiven Operationen - nämlich die inhaltliche Interpretation der Äußerung - zugänglich ist. Die Psycholinguistik als empirische Wissenschaft versucht hingegen, gerade die Organisation und Dynamik der normalerweise unbewußten zugrundeliegenden Prozesse aufzudecken. Diese lassen sich nach allgemeiner Auffassung grob in 4 bzw. 5 Schritte gliedern:

1. die physikalische Analyse des visuellen oder akustischen Reizmusters;
2. den sogenannten *lexikalischen Wortzugriff* im mentalen Lexikon, bei dem über das Lautmuster bzw. die orthografische Wortform (Lexem) im Lexikon die syntaktische und semantische Wortinformation (Lemma) verfügbar gemacht wird;
3. das *Parsing*, d.h. die Erstellung einer syntaktischen Repräsentation des Satzes, die die hierarchischen Relationen zwischen einzelnen Konstituenten widerspiegelt,
4. die finale Integration unter Berücksichtigung syntaktischer, semantischer, kontextueller, pragmatischer und gesprächssituativer Information.
5. Falls es (insbesondere während der Schritte 3 und 4) zu Problemen oder Widersprüchen kommt, kann außerdem eine fünfte Phase der *Reanalyse* oder der Reparatur der ursprünglichen Analysen notwendig werden, um doch zu einer bestmöglichen, konsistenten Gesamtrepräsentation der Äußerung zu gelangen.

Die gegenwärtig miteinander konkurrierenden Modellvorstellungen zur Satzverarbeitung unterscheiden sich in erster Linie in ihren Annahmen, wie diese Subprozesse in Relation zueinander organisiert sind. Eine Mitte der siebziger Jahre einsetzende und bis heute anhaltende Diskussion betrifft die *Modularität* der Prozesse (vgl. Fodor, 1983; Garfield, 1987). Modularität meint dabei die kognitive und neuroanatomische Abgeschlossenheit spezialisierter Verarbeitungsleistungen, wie sie ähnlich für die basalen Prozesse modalitätsspezifischer Wahrnehmung (z.B. das Farbsehen) bereits nachgewiesen werden konnte. Friederici (1990) betont, daß Verarbeitungsmodule nicht bereits bei der Geburt vorliegen, sondern vermutlich erfahrungsabhängig während der frühen Kindheit ausgebildet werden. Im Hinblick auf die Sprachverarbeitung vertreten *moduläre Ansätze* die Auffassung, daß beim Erwachsenen zumindest die ersten drei der oben genannten Schritte weitgehend starr und ungestört von anderen kognitiven Prozessen ablaufen. Soweit diese Modelle streng seriell angelegt sind, läßt sich der Output einer Ebene vereinfacht als Input des nächsthöheren Verarbeitungsschritts beschreiben (*'bottom-up'*). Dieser Sichtweise stehen in verschiedenen Abstufungen sogenannte *interaktive Modelle* gegenüber, welche im radikalsten Fall einen ständigen Abgleich zwischen allen Verarbeitungsebenen (Reizmusteranalyse, Wortzugriff, Syntax, Semantik, Pragmatik) annehmen, wobei zum Teil auch nicht-linguistische Information berücksichtigt wird. Die verschiedenen Verarbeitungsebenen legen sich quasi ständig wechselseitig (*bottom-up* und *top-down*) Restriktionen (englisch: *Constraints*) auf und dienen in konzertierter Aktion dem Ziel, eine auf allen Ebenen konsistente Gesamtrepräsentation zu erstellen. Neuere Modelle dieses Typs werden von den Autoren daher auch als *Constraint Satisfaction* Modelle bezeichnet

(MacDonald, 1993, 1994). In striktem Gegensatz zu einem modular angelegten Lexikonmodell sollten aus dieser Perspektive etwa erfahrungsbedingte Plausibilitätskriterien den lexikalischen Zugriff auf ein Wort im Satz von vornherein beeinflussen können.

### 2.1.1 Die syntaktische Struktur sprachlicher Äußerungen

Die Unterscheidung zwischen modulären und interaktiven Sprachverarbeitungsmodellen spielt insbesondere für den Prozeß des syntaktischen Parsings eine bedeutende Rolle. Bevor hierauf genauer eingegangen wird, soll zunächst kurz das dabei zugrundeliegende Syntaxverständnis generativer Grammatiktheorien (z.B. Chomsky 1981, 1986) am Beispiel des mehrdeutigen Satzes 2.1 erläutert werden:

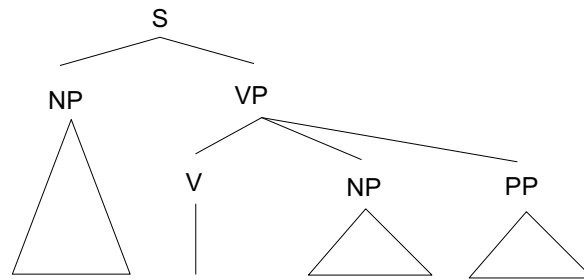
(2.1) *Der Spion beobachtete den Polizisten mit dem Fernglas*

Syntaktisch betrachtet, lassen sich Sätze als hierarchisch organisierte Strukturen auffassen und werden daher wie in Abbildung 2.1a+b häufig als Baumdiagramm dargestellt. Eine völlig äquivalente Darstellung ist die Klammerung von Konstituenten wie in (2.1a) und (2.1b).

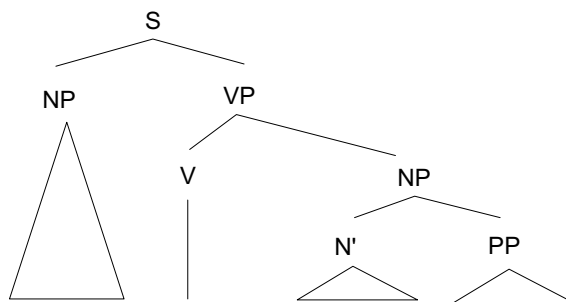
(2.1a) [S[NP *Der Spion*] [VP *beobachtete* [NP *den Polizisten*] [PP *mit dem Fernglas*]]]

(2.1b) [S[NP *Der Spion*] [VP *beobachtete* [NP *den Polizisten* [PP *mit dem Fernglas*]]]]]

Die lexikalischen Kategorien der untersten Ebene, d.h. Wörter wie Nomen (N) oder Verben (V), werden gemäß ihrer syntaktischen Zusammengehörigkeit nach sogenannten *Phrasenstrukturregeln* zu immer komplexeren Phrasen oder Konstituenten bis hin zur Satzebene (**S**) zusammengefaßt. Diese Hierarchie reflektiert exakt die syntaktischen Dominanz-Relationen zwischen sämtlichen Konstituenten, wobei jede Konstituente auf ihrer jeweiligen Hierarchieebene (z.B.  $V^0$ , VP, S) als *Knotenpunkt* dargestellt wird. Zwei beliebige Knoten können entweder in einer *Dominanzrelation* zueinander stehen (d.h. ein Knoten ist einem anderen untergeordnet) oder andernfalls in einer *Präzedenzrelation*. In Abb. 2.1a dominiert etwa der S-Knoten unmittelbar die Nominalphrase (NP) "*der Spion*" sowie die VP, und mittelbar alle Knoten unterhalb des VP-Knotens. Die NP "*der Spion*" steht dagegen zum Knoten der Verbalphrase (VP) und zu allen vom VP-Knoten dominierten Knoten in einer Präzedenzrelation.



(2.1a) Der Spion beobachtete den Polizisten mit dem Fernglas.



(2.1b) Der Spion beobachtete den Polizisten mit dem Fernglas.

**Abbildung 2.1a+b:** Stark vereinfachte Baumdiagramme der beiden syntaktischen Strukturen

Diese syntaktischen Relationen sind keineswegs rein deskriptiver Natur, sondern konstituieren zugleich die inhaltliche Interpretation eines Satzes. Das wird deutlich, wenn eine Wortabfolge wie im vorliegenden Fall potentiell mehrdeutig ist. In Abbildung 2.1a ist die Struktur der normalerweise präferierten Satzinterpretation dargestellt, d.h. das Fernglas fungiert als Instrument des Beobachtens. Syntaktisch ist daher die Präpositionalphrase (PP) "*mit dem Fernglas*" ein Schwesterknoten des zugehörigen Verbs "*beobachtete*" und wird *direkt* vom VP-Knoten dominiert. Die andere, beim ersten Lesen meist weniger offensichtliche Lesart, wonach das Fernglas im Besitz des Polizisten ist, impliziert notwendig eine andere syntaktische Struktur, welche in Abbildung 2.1b wiedergegeben wird.<sup>1</sup> Hier bildet die PP "*mit dem Fernglas*" zusammen mit der NP "*den Polizisten*" eine gemeinsame Konstituente höherer Ordnung (eine komplexe NP) und wird daher nur *indirekt* vom VP-Knoten dominiert. Diese Art der syntaktischen Anbindung der PP illustriert zugleich eine weitere wichtige Eigenschaft

<sup>1</sup> Diese zweite Lesart wird sofort deutlich, wenn infolge lexikalischer Ersetzung die erste Interpretation aus semantischen Gründen ausscheidet (z.B. *Der Spion beobachtete den Polizisten mit dem Vollbart*).

syntaktischer Strukturbildung: eine NP ("dem Fernglas") kann Bestandteil einer PP ("mit dem Fernglas") sein, und diese PP wiederum Bestandteil einer anderen NP ("den Polizisten mit dem Fernglas"). Das bedeutet, syntaktische Phrasen wie NP und PP lassen sich ineinander verschachteln. Diese *Rekursivität* der Phrasenstrukturregeln, z.B. ( $PP \Rightarrow P \underline{NP}$ ) und ( $NP \Rightarrow [DET] N [PP]$ ), ist ein wesentlicher Grund für die unbegrenzte Vielfalt sprachlicher Äußerungen. (Für weitere Details vgl. Fanselow & Felix, 1990; Steinhauer, 1995)

### 2.1.2 Parsingmodelle und ihre empirische Basis

Das obige Beispiel der Abbildung 2.1 hat gezeigt, daß wortgleiche Äußerungen für einzelne Konstituenten (hier: für eine PP) verschiedene syntaktische Strukturanbindungen (englisch: *Attachment*) zulassen können, mit denen sich zugleich ihre inhaltliche Interpretation ändert. Das heißt zugleich, daß das Verständnis eines Satzes entscheidend davon abhängt, nach welchen Parsingprinzipien ein Leser oder Hörer diesen Satz syntaktisch analysiert. Unterschiede in den Annahmen zu diesen Prinzipien haben in der Psycholinguistik zur Formulierung der verschiedenen Parsingmodelle geführt. Sie lassen sich z.B. danach unterscheiden, welche Information bei der Analyse berücksichtigt wird (*modulär* oder *interaktiv*; s.o.), ob *seriell* stets nur *eine* einzige Strukturrepräsentation erstellt oder *parallel* alle denkbaren syntaktischen Anbindungsmöglichkeiten berechnet werden, und ob der Parser neues Wortmaterial sofort (*inkrementell*) in die Struktur einbindet oder in Zweifelsfällen auf weitere Information wartet ('*wait-and-see*' Strategie).

Moduläre Ansätze lassen sich auch als *struktur-getriebene Syntax-First-Modelle* bezeichnen, da hier die initiale phrasenstrukturelle Analyse grundsätzlich die erste verfügbare Repräsentation eines Satzes liefert und für diese Erstanalysen ausschließlich syntaktische Information berücksichtigt wird. Stellvertretend für diesen Modelltyp soll das besonders einflußreiche zweistufige *Gardenpath-Modell* von Lyn Frazier (1978, 1987) kurz skizziert werden. Für die erste Phase geht Frazier von einem *inkrementellen* und *seriellen* Parsing aus: Wörter werden fortlaufend sofort nach dem lexikalischen Zugriff und allein auf Basis ihrer Wortkategorieinformation (Nomen, Verb, etc.) nach universalen Ökonomieprinzipien in eine *einzig*e, möglichst einfache Syntaxstruktur integriert. Syntaktische Einfachheit und Ökonomie werden dabei vor allem über zwei dem Parser inhärente, äußerst starre Verarbeitungsmechanismen gewährleistet: das *Minimal Attachment* Prinzip (MA) und das *Late Closure* Prinzip (LC). (Details hierzu folgen unten.) Die auf diese Weise erstellte Struktur wird so

lange aufrechterhalten und durch folgenden Input ergänzt, bis entweder das Satzende erreicht wird oder Kompatibilitätsprobleme zwischen vorläufiger Struktur und aktuellem Input auftreten. Die starre Anwendung der Verarbeitungsprinzipien auf jeglichen sprachlichen Input, bei gleichzeitiger modularer Abgeschlossenheit gegenüber anderen Prozessen, gewährleistet nach Frazier die außerordentliche Verarbeitungsgeschwindigkeit in der ersten Parsingphase. Zugleich führt sie aber bei Sätzen, deren weiterer Input eben nicht mit den vorläufigen Strukturannahmen des Parsers kompatibel ist, systematisch zu Verarbeitungsfehlern, welche eine Nachbesserung der schon erstellten Struktur erfordern. Für derartige Korrekturen ist im Modell die zweite Phase der sogenannten *Reanalyse* vorgesehen, die im Gegensatz zur ersten Phase nicht allein auf Basis der Wortkategorieinformation operiert, sondern auch auf andere linguistische und nicht-linguistische Informationsformen (Semantik, Weltwissen) zugreifen kann.

Die genannten Mechanismen des *Gardenpath-Modells* lassen gut am Beispiel des schon oben eingeführten Satzes "*Der Spion beobachtete den Polizisten mit dem Fernglas*" illustrieren. Unter Berücksichtigung der deutschen Phrasenstrukturregeln führt die Anwendung der Parsingprinzipien auf den Satzanfang "*Der Spion beobachtete*" zunächst zu einer Struktur mit einer NP und einer VP, wobei die VP zunächst lediglich aus dem Verb "*betrachtete*" besteht. Das **Late Closure Prinzip (LC)** besagt, daß der syntaktische Parser die aktuell bearbeitete Konstituente stets so lange wie möglich für die Anbindung weiterer Elemente offenhalten soll. Daher wird der nächste Input "*den Polizisten*" sofort als neue Objekt-NP in die noch offene Verbalphrase integriert, was noch immer mit beiden Strukturinterpretationen in den Abbildungen 2.1a und 2.1b kompatibel ist. Erst bei Erreichen der ambigen Präposition "*mit*" stellt sich die strukturdifferenzierende Frage des PP-Anbindungsortes (VP oder NP). Hier wird die Entscheidung durch Anwendung des **Minimal Attachment Prinzips (MA)** getroffen, welches besagt, daß für das neu eingelesene Wort stets diejenige syntaktische Anbindung bevorzugt wird, die im Strukturbaum zu der geringsten Anzahl neuer Knoten führt. Ein Vergleich der Abbildungen 2.1a und 2.1b zeigt, daß bei einer Verbanbindung der PP (in 2.1a) weniger Knotenpunkte resultieren als bei einer NP-Anbindung (in 2.1b). Dem Gardenpath-Modell zufolge sollte der syntaktische Parser Sätze dieses Typs daher initial *immer* zugunsten der Verbanbindung analysieren. Die Alternativstruktur in 2.1b kann dagegen erst im Rahmen einer nachfolgenden Reanalyse generiert werden und benötigt daher zusätzliche Verarbeitungszeit.

Diese Anbindungspräferenz impliziert zwei Voraussagen: Erstens sollte die Alternativstruktur in 2.1b, wonach der Polizist im Besitz des Fernglases ist, für einen Leser normalerweise schwerer

und später zugänglich sein. Zweitens sollten Non-Minimal Attachment Sätze wie 2.2 grundsätzlich zuerst falsch analysiert werden und zu erhöhten Lesezeiten führen.

(2.2) *Der Spion beobachtete den Polizisten mit dem Vollbart*

Erst wenn sich herausstellt, daß ein Vollbart nicht als Instrument des Beobachtens taugt, wird die Initialstruktur aus Plausibilitätsgründen verworfen und einer Reanalyse unterzogen, die zur korrekten Struktur führt.

Diese Voraussagen des Modells wurden in einer Vielzahl von Lesestudien bestätigt (für einen Überblick vgl. Frazier, 1995). Die Robustheit, mit der der syntaktische Parser seinen strukturellen Präferenzen gehorcht und sich bei den jeweils unerwarteten Strukturen (wie in Satz 2.2) systematisch zu initialen Verständnisproblemen verleiten läßt, gab dem Gardenpath-Modell seinem Namen. (*To lead someone up the garden path* = Jemanden an der Nase herumführen.) Entsprechend werden Sätze wie 2.2 auch als *Gardenpath-Sätze* bezeichnet. Es läßt sich eine Vielzahl von Satztypen konstruieren, die den Prinzipien von Minimal Attachment und Late Closure zuwiderlaufen und daher als Gardenpath-Sätze gelten. Ein prominentes Beispiel für das LC-Prinzip findet sich in 2.3a+b:

Late Closure (LC)

(2.3a) *Since Jay always jogs a mile and a half this seems like a long distance to him.*

Early Closure (EC)

(2.3b) *Since Jay always jogs a mile and a half seems like a very long distance to him.*

Frazier und Rayner (1982) konnten zeigen, daß Satz 2.3a einfacher zu verstehen war als Satz 2.3b, da entsprechend der postulierten LC-Präferenz die Nominalphrase "*a mile and a half*" initial in die noch offengehaltene Verbalphrase des vorausgehenden Verbs "*jogs*" integriert und als dessen Objekt interpretiert wurde. Diese vorläufige Strukturannahme muß in 2.3b reanalysiert werden, da die NP hier als Subjekt des *nachfolgenden* Verbs "*seems*" fungieren muß. Der Gardenpath-Satz in 2.3b erfordert also, daß die Verbalphrase des Verbs "*jogs*" entgegen dem LC-Prinzip *früh* für weitere Anbindungen geschlossen wird (Early Closure). Das erforderliche frühe Abschließen der VP ist dem Parser aufgrund seiner LC-Präferenz aber erst nachträglich während der Reanalyse möglich.

Andere Syntax-First Modelle weichen von Fraziers Ansatz dahingehend ab, welche Prinzipien mit welchen Prioritäten während des Parsings berücksichtigt werden (Fodor, 1978, De Vincenci, 1991, Gorrell, 1995; Friederici, 1995; vgl. auch Hemforth, Konieczny, Scheepers & Strube, 1991). Allen gemeinsam ist jedoch, daß sie sich erstens auf eine Syntax-Theorie wie die Generative Grammatik Chomskys stützen und daß zweitens ein initialer autonomer Parsingprozeß der Erstellung einer hierarchischen Strukturrepräsentation dient, die ähnlich wie in den Abbildungen 2.1a+b als Baumstruktur dargestellt werden kann.

Als Gegenentwurf zur modulären Organisation wurden *interaktive Modelle* konzipiert, welche den vorrangigen Status syntaktischer Information während der Satzverarbeitung infrage stellen. Im Bereich der empirischen Forschung wurden von Vertretern dieses Ansatzes zahlreiche Experimente mit dem Ziel durchgeführt, die frühe Beeinflußbarkeit des Parsers durch *nicht-syntaktische* Information zu beweisen.

Beispielsweise zeigten Steedman und Mitarbeiter im Rahmen ihres *Referential Support* Modells (Crain & Steedmann, 1985; Altmann und Steedman, 1988; Steedman & Altmann, 1989; Altman, Gernham & Dennis, 1992), daß kontextuelle Einflüsse einen Gardenpath-Effekt erfolgreich reduzieren konnten.

(2.4a) *The psychologist told the woman that he was worried about her marital problems.*

(2.4b) *The psychologist told the woman that he was worried about to visit her again.*

Das Minimal-Attachment Prinzip würde für die ambige Region (unterstrichen) eine generelle Präferenz für die Satzkomplement-Lesart in 2.4a voraussagen. Die Autoren konnten zeigen, daß die erwarteten Lesezeitvorteile nur für isoliert dargebotene Sätze gefunden werden, nicht jedoch in einem Kontext, in dem die Relativsatz-Lesart 2.4b zur Unterscheidung zwischen zwei potentiellen Referenzangeboten für das Nomen "woman" dient (Kontextsatz: *A psychologist was counselling two wives*).

Eine Reihe weiterer Studien zielte darauf ab zu belegen, daß bei der Satzverarbeitung nicht nur die Wortkategorieinformation, sondern *sämtliche* Arten lexikalischer Information unmittelbar zur Analyse herangezogen werden. Im Gegensatz zu den struktur-getriebenen Syntax-First Modellen wird dieser Ansatz als *lexikalisch getrieben* bezeichnet (Abney, 1989; Pritchett, 1991,



1992). Hierbei kommt sowohl der lexikalisch kodierten Verbargumentstruktur (Anzahl und Art der Objekte) als auch den jeweiligen thematischen Rollen (Patiens, Instrument) eine besondere Bedeutung zu. So demonstrierten Taraban und McClelland (1988) in einer Studie zur PP-Anbindung (s.o. Abb. 2.1a+b), daß offenbar während des Lesens eines Satzes eine semantisch geleitete thematische Rollenerwartung für die NP innerhalb der nachfolgenden Präpositionalphrasen generiert wird. Sie konstruierten Sätze wie 2.5a und 2.5b, in denen die Rollenerwartung der MA-Präferenz entgegengerichtet war:

Rollenkonform, aber Non-Minimal Attachment (NP-Anbindung)

(2.5a) *The administrator announced the cuts in the budget.*

Nicht rollenkonform, aber Minimal Attachment (VP-Anbindung)

(2.5b) *The administrator announced the cuts in the meeting.*

Lesezeiten für Wörter unmittelbar nach der kritischen NP (*the budget / the meeting*) waren signifikant kürzer, wenn diese NP (wie in 2.5b) der thematischen Rollenerwartung entsprach. Der Einfluß der Rollenerwartung schien damit stärker zu sein als die syntaktische MA-Präferenz.

Weitere Evidenz für einen frühen Einfluß semantischer Plausibilität wurde von Boland und Tanenhaus (1991) für sogenannte Filler-Gap-Konstruktionen mit bewegten Satzkonstituenten berichtet. In dieser Studie wurde eine ansonsten syntaktisch nicht-präferierte Struktur wesentlich leichter verstanden, wenn ein belebtes Nomen (im Gegensatz zu einem unbelebten) von vorn herein die Unplausibilität der normalerweise präferierten Struktur signalisierte.

Im Rahmen der stark interaktiven *Constraint Satisfaction* Modelle wurde außerdem der Vorschlag gemacht, daß bestimmte Verarbeitungspräferenzen nur scheinbar syntaktischer Natur seien. Einerseits wurde argumentiert, daß Gardenpath-Effekte zum Teil auf geringe individuelle Gedächtniskapazitäten zurückgeführt werden könnten (sog. *capacity constraint model*; Just & Carpenter, 1992; MacDonald, Just & Carpenter, 1992). Andererseits wurde die angeblich geringe Verwendungshäufigkeit bestimmter Wortabfolgen als Ursache für deren verzögerte Verarbeitung vorgeschlagen. Der *Einsystem-Hypothese* folgend, wonach alle Verarbeitungsmechanismen in ständigem Abgleich stehen, konnte sich das Maß der Verwendungshäufigkeit dabei sowohl auf individuelle Wörter und Wortkombinationen als auch

auf strukturell beschreibbare Abfolgen beziehen (MacDonald, 1994; MacDonald, Pearlmutter & Seidenberg, 1994). Die radikalsten Ansätze dieser Art plädieren für eine vollständige Verlagerung der Syntax in lexikalisch abgespeicherte Häufigkeitsinformationen und damit für die Abschaffung des syntaktischen Parsings als einem eigenständigen Prozeß. Diese Konzeption beruht fast ausschließlich auf Einzelbeobachtungen im Englischen und hat zu zahlreichen kritischen Einwänden, sowohl auf theoretischer wie auf empirischer Basis, geführt (z.B. Frazier, 1995). Unter anderem ist bislang nicht schlüssig belegt worden, daß die beobachteten geringeren Verwendungshäufigkeiten tatsächlich eine unabhängige Ursache für Verarbeitungsprobleme darstellen und nicht selbst bloß eine Folge größerer syntaktischer Komplexität sind.

Auch die meisten anderen empirischen Studien, die auf den ersten Blick die Modularität des syntaktischen Parsings zu widerlegen schienen, blieben nicht unwidersprochen. Da selbst das Gardenpath-Modell während der zweiten Phase des *second path parsing* bzw. der Reanalyse explizit semantische und andere Information einbezieht, spielt in dieser Auseinandersetzung zunehmend die exakte Bestimmung des *Zeitpunktes* nicht-syntaktischer Einflüsse die zentrale Rolle. Ursprüngliche Offline-Maße wie z.B. die Erfragung der bevorzugten Interpretationsart einer Äußerung wurden durch immer raffiniertere Online-Methoden ersetzt, die die meist unbewußte *initiale* Verarbeitung abbilden sollten. Die Erhöhung der zeitlichen Auflösung führte teilweise sogar bei Verwendung derselben Methode zur Korrektur früherer Befunde. So hatte etwa Gorrell (1987) die bei einer lexikalischen Entscheidungsaufgabe gefundenen frühen Kontexteinflüsse auf einen Gardenpatheffekt als Evidenz für einen parallelen Parsingmechanismus interpretiert. Nachdem in einer Folgestudie das Intervall zwischen dem Kontext und der kritischen Wortsequenz von 700 ms auf 100 ms reduziert wurde, verschwand der Kontexteinfluß aber vollständig und führte zusammen mit anderen Daten dazu, daß der Autor 1995 sein Modell widerrief und stattdessen für ein strikt seriell organisiertes Parsermodell eintrat.

Neben einer Reihe rein behavioraler Online-Paradigmen wie der lexikalischen Entscheidung, der Benennungsaufgabe oder dem selbstgetaktetem Lesen gewannen nun auch physiologische Methoden mit besonders hoher Zeitauflösung im Millisekundenbereich an Bedeutung. Blickbewegungsstudien, die mittels Infrarot- oder Videotechnik die zeitliche Dynamik von Vorwärts- und Rückwärtssakkaden sowie von Wortfixationszeiten beim Lesen registrierten (englisch: *eyetracking*), stellten frühere Beobachtungen ebenfalls in Frage. Die oben erwähnte

Studie von Taraban und McClelland (1988), die scheinbar einen sofortigen Einfluß von Rollenerwartungen auf die Anbindung von Präpositionalphrasen gezeigt hatte, wurde 1991 von Clifton, Speer und Abney mit einem Blickbewegungsdetektor wiederholt. Die Resultate dieser empfindlicheren Methode belegten zwar, daß die lexikalisch kodierte Verbargumentstruktur und damit verbundene Rollenerwartungen einen starken Einfluß auf die Satzinterpretation ausübten. Die *initiale* Verarbeitung wurde jedoch ausschließlich durch phrasenstrukturelle Präferenzen bestimmt und bestätigte damit - in völligem Gegensatz zur Vorgängerstudie - exakt die Vorhersagen des modulären Gardenpath-Modells.<sup>2</sup> Abgesehen von der Blickbewegungsdetektion hat sich seit Beginn der 80er Jahre außerdem der Einsatz ereigniskorrelierter Hirnpotentiale (EKPs) als physiologisch orientierte Methode in der empirischen Psycholinguistik durchgesetzt. Entsprechende Befunde werden im Abschnitt 2.3 vorgestellt.

### 2.1.3 Theorien zur Schwere der Gardenpath-Effekte

Unabhängig von der verwendeten Untersuchungsmethode ist ein durchgängiger Befund, daß Gardenpath-Sätze sich in der Schwere der resultierenden Verarbeitungsprobleme deutlich unterscheiden können. Manche der Effekte (wie in Beispiel 2.6b) sind so schwach, daß sie sich erst mit besonders empfindlichen Methoden nachweisen lassen, andere (wie in Beispiel 2.7b) dagegen so stark, daß Leser sich u.U. minutenlang mit der (nicht selten erfolglosen) Suche nach der korrekten Interpretation abmühen.

(2.6a) *John knew the answer very well*

(2.6b) *John knew the answer was wrong*

(2.7a) *The horse raced past the barn and fell*

(2.7b) *The horse raced past the barn fell*

In (2.6) wird die NP *the answer* zwar initial als direktes Objekt des Verbs *knew* interpretiert, seine Uminterpretation als Subjekt des folgenden Verbs in 2.6b fällt jedoch sehr leicht. In (2.7) wird das Verb *raced* initial als aktives Verb und damit als Teil des Hauptsatzes interpretiert. Die

---

<sup>2</sup> Auch mit rein behavioralen Online-Paradigmen fand Boland (1993) Hinweise auf die weitgehende Unbeeinflussbarkeit syntaktischer Repräsentationen durch semantische Information. Ihre Befunde zur Verarbeitung von Verben mit ambiger Argumentstruktur (*To pass an alley* versus *To pass a salt shaker to someone*) interpretierte die Autorin zugunsten eines Modells, in dem '*semantic interpretations are formed quickly and accurately, guided by top-down contextual information, but do not constrain initial syntactic analyses.*'

Uminterpretation zugunsten einer Passivform und damit eines reduzierten Relativsatzes in 2.7b (i.S.v. *The horse that was raced past the barn fell*) ist jedoch selbst für englische Muttersprachler häufig äußerst schwierig (z.B. Fodor & Inoue, 1994).

Auch für diese Unterschiede in der Schwere von Gardenpath-Effekten wurde in den letzten Jahren eine Vielzahl von Erklärungsansätzen formuliert. Befürworter der interaktiven Constraint Satisfaction Modelle ziehen - ähnlich wie für die eigentliche Auslösung eines Gardenpath-Effektes - wiederum Verwendungshäufigkeiten heran: Je weniger gebräuchlich eine bestimmte Wortabfolge in der geforderten Interpretation (z.B. als Passivform) ist, desto schwieriger wird die Erstellung der korrekten Analyse (vgl. MacDonald, 1994). Die meisten Alternativvorschläge beziehen sich dagegen auf Konsequenzen in der syntaktischen Struktur, wobei als Faustregel gilt: Ein Gardenpath wird umso schwerer, je umfassender die notwendigen strukturellen Änderungen ausfallen. Ein im Kontext der vorliegenden Arbeit wichtiger Ansatz dieser Art wurde von Gorrell (1995) vorgeschlagen. In seinem inkrementellen Parsingmodell werden für jedes eintreffende Wort zunächst lediglich die sogenannten Primärrelationen, d.h. Dominanz- bzw. Präzedenzrelationen (vgl. Abschn. 2.1.1), festgelegt, wobei das absolute Niveau der Hierarchieebenen (und damit der genaue Index eines Knotens) von nachgeordneter Bedeutung ist. Eine Reanalyse wird immer dann als einfach angenommen, wenn die erforderliche neue Struktur durch bloße Addition von Knoten (*structure addition*) zu erreichen ist und ursprünglich angenommene Dominanzverhältnisse nicht verändert werden müssen. Schwierig, und oft als Verarbeitungsproblem bewußt wahrnehmbar, wird ein Gardenpath, der bei der Reanalyse die Auflösung ursprünglicher Dominanzverhältnisse erforderlich macht (*structure alteration*). Im Beispiel 2.6b wird die NP *the answer* nach der Erstanalyse vom VP-Knoten des Verbs *knew* dominiert:

(2.6a) [S [NP *John*][VP *knew* [NP *the answer*]]]

Diese Relation bleibt aber auch im leichten Gardenpath-Satz 2.6b erhalten, da nun der gesamte Nebensatz (d.h. die sog. Complementizer Phrase *the answer was wrong*) mitsamt der NP *the answer* vom VP-Knoten dominiert wird. Was sich ändert, ist allein die für Primärrelationen unwichtige Direktheit der Dominanzrelation zwischen VP- und NP-Knoten.

(2.6b) [S [NP *John*][VP *knew* [CP *the answer was wrong*]]]

In 2.7 dagegen wird initial die Verbalphrase des Verbs *raced* in Präzedenzrelation zur NP *the horse* geparkt, muß im schweren Gardenpath-Satz 2.7b dann aber zugunsten einer komplizierten Dominanzrelation geändert werden. (Der gesamte Relativsatz *raced past the barn* wird zum Bestandteil der NP *the horse* und daher vom NP-Knoten dominiert, wobei das Nomen *horse* zugleich als Referenz für das phonetisch leere Objekt des Verbs *raced* fungiert. Für weitere Details siehe Gorrell, 1995.)

Neben Ansätzen, die die *Ausführung* struktureller Änderungen als Erklärung für Gardenpath-Effekte verantwortlich machen, wurde von Fodor und Inoue (1994) vorgeschlagen, daß die Schwere der Verarbeitungsprobleme vor allem in der Diagnose der notwendigen Änderungen liege. In ihrem *Diagnosis Model* gehen die Autoren davon aus, daß eine strukturelle Revision besonders einfach sei, wenn der jeweils inkompatible Input, also das Symptom für das Vorliegen eines Gardenpath-Satzes, zugleich auf die Lösung des Problems verweist. Dies wird für Satz 2.6b, nicht aber für Satz 2.7b angenommen. Die eigentliche Durchführung der Reanalyse soll nach diesem Modell generell ohne zusätzliche Ressourcenbeanspruchung möglich sein. Nach Meng und Bader (im Druck) werden Gardenpath-Sätze irrtümlich als ungrammatisch beurteilt, wenn der Parser nicht in der Lage ist, die notwendige Revision zu erkennen.

Darüber hinaus ist Bader (1994, 1998) einer der ersten Autoren, die für die Schwere von Gardenpath-Effekten explizit auch prosodische Verarbeitung als relevanten Faktor diskutieren. Der Autor konnte in Lesestudien zeigen, daß ein Gardenpath-Effekt deutlich stärker auftritt, wenn zusätzlich zur rein syntaktischen Struktur auch die (subvokal aktivierte) prosodische Struktur einer Revision unterzogen werden muß. In den Beispielsätzen in 2.8 kann das Pronomen *ihr* entweder als Possessivpronomen oder als Dativpronomen verwendet werden, wobei die Possessivlesart die präferierte ist und die Dativlesart den Gardenpath-Satz darstellt. Ein deutlicher Gardenpath-Effekt für den Dativ läßt sich aber nur nachweisen, wenn durch Einfügung der Fokuspartikel "*nur*" ein anderes Betonungsmuster (markiert in Großbuchstaben) notwendig wird (also in Satz 2.8b'), obwohl die rein syntaktische Reanalyse auch in Satz 2.8b (ohne Fokuspartikel) erforderlich ist.

Possessiv

(2.8a) ... daß man [*ihr* Geld] beschlagnahmt hatte

Dativ

(2.8b) ... daß man [*ihr*] Geld abgenommen hatte

Possessiv + Fokus

(2.8a') ... *daß man [nur ihr GELD] beschlagnahmt hatte*

Dativ + Fokus

(2.8b') ... *daß man [nur IHR] Geld abgenommen hatte*

Da gesprochene im Gegensatz zu geschriebener Sprache bereits eine eindeutige prosodische Struktur mitliefert, sollten sich zumindest bestimmte Gardenpath-Phänomene modalitätsabhängig unterscheiden. Für den korrekt intonierten *gesprochenen* Satz 2.8b' könnte man z.B. erwarten, daß gerade die Betonung auf dem Pronomen *IHR* frühzeitig verhindert, daß Hörer den Satz irrtümlich in der sonst präferierten Possessivinterpretation verarbeiten. Der in Baders Lesestudie gefundene Gardenpath-Effekt würde in gesprochener Sprache aufgrund prosodischer Disambiguierung also vermutlich von vorn herein ausgeschlossen. Die Abwesenheit des Betonungsunterschiedes in 2.8a und 2.8b illustriert zugleich, daß syntaktische Strukturdifferenzen keineswegs immer prosodisch kodiert werden. Dies hängt u.a. damit zusammen, daß Prosodie verschiedenen Funktionen dient und eigenen strukturellen Gesetzmäßigkeiten folgt. Über deren theoretische und empirische Grundlagen gibt der nächste Abschnitt einen Überblick.

## **2.2 Prosodische Sprachverarbeitung**

### **2.2.1 Phonetische und phonologische Prosodie**

Prosodie, also die Intonation und Rhythmisierung gesprochener Sprache, läßt sich von zwei Repräsentationsebenen her beschreiben: Erstens über die *akustischen bzw. phonetischen Eigenschaften* des Sprachsignals (Frequenz-, Dauer- und Amplitudenmaße, aber auch Artikulationsprinzipien auf Sprecherseite) und zweitens über *phonologische Kategorien* einer höheren, integrativen Beschreibungsebene, die vor allem die beim Hörer hervorgerufene Wahrnehmung abbilden sollen (steigende oder fallende Tonsequenzen, Wort- und Satzakzente, prosodische Phrasierung).

Die Übertragung von der akustischen in die phonologische Repräsentation ist keineswegs als einfache Funktion aufzufassen. Zum einen kann ein gegebenes phonologisches Phänomen (z.B. ein Akzent) durch eine Reihe verschiedener akustischer Parameter (Lautdehnungen, Lautstärkeänderung, Tonhöhenänderung) und deren Kombinationen realisiert werden und zu

erheblicher intra- wie interindividueller Variabilität führen. Zum anderen kann ein gegebener akustischer Parameter (z.B. Lautdauer) bei völlig unterschiedlichen phonologischen Phänomenen (lexikalischer Wortakzent, Satzakzent, Grenzmarkierung) eine Rolle spielen.

Bei der Produktion der Sprachsignale lassen sich die verschiedenen prosodischen Parameter auf artikulatorische Subprozesse zurückführen. Die niederen Frequenzanteile bis ca. 500 Hz resultieren im wesentlichen aus der Schwingungsfrequenz der Stimmlippen und bestimmen die als Tonhöhe wahrgenommene Grundfrequenz (F<sub>0</sub>; englisch: Pitch). Die wortkonstituierenden Phoneme (Vokale und Konsonanten) beruhen dagegen auf höherfrequenten Anteilen des Spektrums bis ca. 20 kHz und werden im Mundraum durch die relative Lage von Gaumen, Zunge und Lippen bestimmt. Lautstärke (Intensität, Amplitude) ist schließlich eine integrative Funktion des Luftdurchflusses beim Sprechen und damit des Schalldrucks. Das Schallmuster trifft auf das Ohr des Hörers und muß dann durch komplexe, vorwiegend neuronale Analyseprozesse des auditorischen Systems dekodiert und wieder als sprachliche Äußerung erkannt werden. Neben der linguistisch relevanten Information liefert das akustische Signal außerdem Rückschlüsse auf das Alter und Geschlecht des Sprechers sowie auf dessen aktuelle affektive Gestimmtheit (Freude, Ärger, Angst) und intentionale Haltung (Ironie, Spott). Eine begrenzte Anzahl prosodischer Parameter kodiert somit eine Vielzahl unterschiedlicher Informationen.

Während die phonetische Beschreibung prosodischer Phänomene sprachübergreifend mit universalen Meßgrößen (Stellung der Artikulationsorgane, physikalische Signalanalysen) erfolgen kann, ist die phonologische Ebene auch an die bedeutungsrelevanten Charakteristika der Einzelsprache gebunden. Ebenso, wie nicht jeder potentiell wahrnehmbare ('phonetische') Lautunterschied in jeder Einzelsprache als bedeutungsdifferenzierendes ('phonologisches') Phonem bei der Wortbildung auftritt, unterscheiden sich natürliche Sprachen auch hinsichtlich ihres prosodischen Inventars. So sind in tonalen Sprachen wie dem Chinesischen Tonhöhenwechsel konstitutiv für die lexikalische Wortunterscheidung und stehen, im Gegensatz zu den Intonationssprachen (z.B. Englisch, Deutsch), in geringerem Maß für die prosodische Kodierung anderer Informationsaspekte zur Verfügung. Für jede natürliche Sprache (und meist selbst für die jeweiligen dialektalen Ausprägungen) ist daher eine spezifische phonologische Notation erforderlich.

Für das Englische wurden verschiedene phonologische Systeme formuliert, deren übereinstimmenden Grundaussagen im wesentlichen auch auf die deutsche Sprache übertragbar sind (Nespor & Vogel, 1986; Hayes, 1989; Beckman & Pierrehumbert, 1986; Pierrehumbert & Beckman, 1988; Selkirk, 1978, 1986). Im strikten Gegensatz zu den rekursiven Verschachtelungen syntaktischer Strukturen (vgl. Abschnitt 2.1.1) wird für die phonologische Struktur fast durchgängig von einer nicht-rekursiven Hierarchie ausgegangen: Auf der untersten Ebene läßt sich die Äußerung in eine Abfolge von starken betonten und schwachen unbetonten Silben zerlegen, wobei starke Silben durch (oftmals gedehnte) Vollvokale charakterisiert sind. Silben bilden auf der nächsthöheren Ebene prosodische Wörter, welche weiter zu phonologischen Phrasen (PPh) zusammengefaßt werden, diese zu Intonationsphrasen (IPh) und schließlich zur Gesamtäußerung (engl.: Utterance). Gemäß der *Strict Layering Hypothesis* (Selkirk, 1984; Nespor & Vogel, 1986) besteht damit jede Einheit einer höheren Ebene notwendig aus einer oder mehreren gleichwertigen Einheiten der nächsttieferen Ebene, wobei die obligatorische Abfolge der Ebenen Rekursivität vollständig ausschließt (vgl. dagegen Ladd, 1986). Anders als syntaktische Phrasen stehen benachbarte prosodische Phrasen also stets in einer linearen Präzedenzrelation zueinander und bilden keine phonologisch begründbaren Dominanzrelationen untereinander aus. Auf jeder höheren Beschreibungsebene werden zusätzliche phonologische Regeln wirksam, die die prosodische Gesamtstruktur der Äußerung sukzessive mit weiteren Merkmalen anreichern. Beispielsweise gilt für jede phonologische Phrase (PPh), daß sie mindestens einen Akzentton aufweist, der als *Pitch Accent* zumeist über ein Anheben der Tonhöhe (H\*) realisiert wird. Die übergeordnete Intonationsphrase ist zusätzlich durch klar erkennbare Phrasengrenzen (Grenztöne, Konstituentendehnungen und/oder Pauseninsertionen) markiert und gilt als im Redefluß besonders leicht zu erkennende Einheit kohärent intonierter Wörter (früher als *'breath group'* bezeichnet). Die Stärke von Grenzmarkierungen entscheidet also mit darüber, ob eine Wortfolge lediglich eine PPh innerhalb einer IPh darstellt oder selbst als eigenständige IPh wahrgenommen wird. Diese Unterscheidung ist insofern nicht trivial, als bestimmte Verarbeitungsprozesse auf Hörerseite scheinbar durch die Art der Phrasengrenze bestimmt werden (s.u.).

Das Ineinandergreifen von lexikalisch bedingten Silbenstärken einerseits und Akzenttönen andererseits führt zur *Prominenz*-Klassifizierung jeder Silbe auf einer meist vierstufig angenommenen Skala. Geringste Prominenz haben alle Silben mit dem grundsätzlich unbetonten Zentralvokal *Schwa* (z.B. die zweite Silbe in *Hu-pe*). Höchste Prominenz haben Silben, die einen Satzakzent tragen, der im Regelfall auf die sowieso schon am stärksten betonte Silbe eines Inhaltswortes (bes. Verben und Nomen) fällt und so mit dem Wortakzent



verschmilzt. Normalerweise unbetonte Silben können nur im Korrektur- oder Kontrastfokus einen Phrasenakzent tragen (Bsp.: *Nicht PeTRA, sondern PeTER*) und würden sonst als phonologische Verletzung wahrgenommen.

Die durch wechselnde Silbenprominenz bewirkte Rhythmisierung gesprochener Sprache wird auch als *Metrik* bezeichnet und stellt (neben der Intonation) eines der beiden Basiskonzepte phonologischer Beschreibung dar. Hierbei läßt sich zwischen der vor allem lexikalisch bedingten Wortmetrik (vgl. *FO-to* aber *ra-SUR*) und der globalen, d.h. erst auf Phrasenebene bedeutsamen *Metrischen Prosodie* unterscheiden. Da im Sprachstrom Wortgrenzen meist nicht durch Pausen markiert sind (sog. Koartikulation), scheint die Wortmetrik bei der Identifikation von Einzelwörtern im Sprachstrom eine Rolle zu spielen, wobei starke Silben im Englischen als potentielle Wortanfänge bewertet werden (*Metrical Segmentation Strategy*; Cutler & Norris, 1988). Der *Metrischen Prosodie* kommt andererseits u.a. für die Kodierung der syntaktischen Struktur, aber auch bei der Hervorhebung neuer bzw. wichtiger Satzinformation (Fokussierung) entscheidende Bedeutung zu. Verschiedene Ansätze des *Syntax-Prosody-Mappings* versuchen, auf Basis der Einbettungstiefe von Wörtern in der syntaktischen Hierarchie und der Informationsstruktur (fokussierte Konstituente) das Prominenzmuster für einen gegebenen Satz vorherzusagen (z.B. Jacobs, 1993), wobei zur Darstellung z.B. sogenannte *Metrische Gitter* verwendet werden. Geklammerte *Metrische Gitter* schließen zusätzlich Aussagen über die Position von Phrasengrenzen ein und unternehmen damit bereits den Versuch, (hierarchische) syntaktische Phrasierung auf eine (lineare) Abfolge von prosodischen Phrasen abzubilden.

Die genauere prosodische Realisierung erwarteter Akzenttöne und Phrasengrenzen läßt sich anschließend über *Tonsequenz-Modelle* abschätzen, wobei die *Intonationsstruktur* als zweite prosodische Beschreibungsebene (neben der Metrik) in den Vordergrund tritt. In der Regel zeigen Äußerungen einen insgesamt fallenden Intonationsverlauf (sog. Grundfrequenz-Deklination), der jedoch u.a. vom Satzmodus modifiziert werden kann. Fragesätze schließen entsprechend häufig mit einem nochmaligen satzfinalen Anstieg ab. Darüber hinaus versuchen *Tonsequenz-Modelle* zu spezifizieren, ob und zu welchem Zeitpunkt ein bestimmter Grenzton voraussichtlich steigend (H%) oder fallend (L%) sein wird oder in welchen Fällen ein Akzentton ein bi-phasisches fallend-steigend Muster (L+H\*) aufweisen dürfte. Im Gegensatz zur akustischen Prosodie spielen hierbei ausschließlich *relationale Tonverläufe* eine Rolle (L für Low; H für High; - für (PPh-)Phrasenakzent; % für (IPh-)Grenzton; \* für Akzentton), d.h. absolute Tonhöhen treten weitgehend in den Hintergrund.

H\* L-                      H\* L-L%

(2.9a) ((*Marianna*)PPh (*made the marmalade*)PPh)IPh

Die Voraussagen lassen sich durch entsprechende Indizes über den kritischen Segmenten notieren; umgekehrt kann auch ein bereits vorliegendes Sprachsignal von trainierten Phonologen in diese Darstellung transkribiert werden (vgl. Beispiel 2.9a). Das derzeit gebräuchlichste Notationssystem für die wichtigsten englischen Dialekte ist das auf Pierrehumbert (1980) beruhende und von führenden Phonologen gemeinsam entwickelte *ToBI-System* (Tonal and Break Indices), welches sowohl tonale Sequenzen (L%, L+H\*, etc.) als auch Pausen verschiedener Länge darstellt (Silverman, Beckman, Pitrelli, Ostendorf, Wightman, Price, Pierrehumbert & Hirshberg, 1992). Bei der phonologischen Bewertung von Pausen zeigt sich wiederum ein wichtiger Unterschied zur akustischen Messung: An Phrasengrenzen werden häufig Pausen selbst dann wahrgenommen, wenn im Sprachsignal lediglich eine Konstituentendehnung nachweisbar ist. Eine modifizierte Fassung von ToBI liegt mittlerweile auch für das Deutsche vor (Grice, Reyelt, Benzmüller, Meyer & Batliner, 1996). Weniger detaillierte Notationen verwenden zur Darstellung von Akzenten im Schriftbild Großbuchstaben, für Phrasengrenzen die bloße Klammerung und für Pausen z.B. das Doppelkreuz (#):

(2.9b) (*mariANna*)# (*made the MARmalade*)

### 2.2.2 Das Syntax-Prosody-Mapping auf Sprecherseite

Die in der vorliegenden Arbeit zentrale Beziehung zwischen syntaktischer Struktur und prosodischer Realisierung lässt sich anhand der folgenden, strukturambigen Sätze veranschaulichen, die offenbar durch ihre prosodische Realisierung disambiguiert werden ('/' markiert die prosodischen Phrasengrenzen).

(2.10a) *Hier ist der berühmte Herzog James*                      [der Herzog heißt James]

(2.10b) *Hier ist der berühmte Herzog / James*                      [James trifft den Herzog]

(2.11a) *FÜNF mal ZWEI / plus SIEBEN*                      [= 17]

(2.11b) *FÜNF mal / ZWEI plus SIEBEN*                      [= 45]

(2.12a) *Die Lehrerin sagt / die Schülerin hatte rote Socken an*

(2.12b) *Die Lehrerin / sagt die Schülerin / hatte rote Socken an*

Für vergleichbare englischsprachige Satzpaare konnten in allen drei Fällen systematische prosodische Unterschiede festgestellt werden, wenn untrainierte Sprecher die Sätze laut vorlesen sollten (Cooper & Paccia-Cooper, 1980). Neben Unterschieden im Intonationsverlauf traten als verlässlichstes Muster präfinale Segmentdehnungen und Pauseninsertionen vor bzw. an den Phrasengrenzen auf. Diese und ähnliche Befunde deuten darauf hin, daß syntaktische Strukturunterschiede sich in erster Linie in der prosodischen Phrasierung (aber nicht notwendig in der Silbeprominenz, vgl. Satz 2.11a vs. 2.11b) niederschlagen. Prosodische Phrasengrenzen liegen dabei häufig entweder am Anfang oder am Ende syntaktischer Konstituenten, ignorieren aber in der Regel zugleich übergeordnete syntaktische Dominanzrelationen. Dieser am Beispiel von Satz 2.13 illustrierte Zusammenhang reflektiert die schon oben beschriebene Notwendigkeit, hierarchische syntaktische Phrasen auf lineare prosodische Phrasen abzubilden: Syntaktisch gesehen, sind in 2.13a sämtliche Wörter nach 'This is' Bestandteile einer einzigen, sehr komplexen NP, deren Phrasenende mit dem Satzende zusammenfällt. Deren interne syntaktische Hierarchie muß phonologisch in eine lineare Abfolge intonierbarer prosodischer Phrasen (2.13b) restrukturiert werden.

Syntaktische Struktur:

(2.13a) [S This is [NP the cat [S that caught [NP the rat [S that stole the cheese]]]]]

Prosodische Struktur (phonologische Restrukturierung):

(2.13b) [This is the cat ]IPh [ that caught the rat ]IPh [ that stole the cheese]IPh

Daß die Idee einer Abbildung syntaktischer Strukturen auf prosodische Phrasen trotz solcher Restrukturierungen grundsätzlich richtig ist, belegen auch zwei weitere Befunde. Erstens beanspruchen einige syntaktische Konstituenten *obligatorisch* eigene prosodische Phrasen (z.B. die Parenthese 'sagt die Schülerin' in 2.12b; Selkirk, 1981; Nespor & Vogel, 1986). Zweitens beschränkt die Syntax offenbar auch dann die Zulässigkeit bestimmter prosodischer Phrasierungen, wenn dies zunächst wenig offensichtlich ist. Ein Hauptproblem bei der Formulierung von Abbildungsalgorithmen liegt nämlich darin, daß dieselbe Syntaxstruktur oft auf vielfältige Art intoniert und rhythmisiert werden kann (vgl. Beispiele 2.14a-c). Neben Sprecher-abhängigen Variablen sind hierbei vor allem der Satzmodus (*Peter ist Physiker!* versus *Peter ist Physiker?*) und die Informationsstruktur (*PETER ist Physiker* versus *Peter ist PHYSIKER*) von Bedeutung. Darüber hinaus kann ein Satz schneller oder langsamer gesprochen werden, was sich auf die Art der Phrasengrenzen (PPh versus IPh) auswirken kann (Nespor & Vogel, 1986). Entsprechend läßt sich selbst für den einfachen Satz 2.14 zumindest kein eindeutiges Syntax-

Prosody-Mapping erkennen. Bestimmte phonologische Phrasierungen, wie etwa die in 2.14d, sind jedoch genau dann *nicht möglich*, wenn sie der syntaktischen Struktur völlig zuwiderlaufen, indem sie einerseits syntaktische Grenzen überdecken und *zugleich* an anderer Stelle zusätzliche phonologische Grenzen etablieren (nach Shattuck-Hufnagel & Turk, 1996):

- 2.14 [S [NP *George and Mary*] [VP *give blood* ]]
- 2.14a (*George and Mary give blood*) 1 Phrase
- 2.14b (*George and Mary*) (*give blood*) 2 Phrasen
- 2.14c (*George*) (*and Mary*) (*give blood*) 3 Phrasen
- 2.14d \*(*George*) (*and Mary give blood*) 2 Phrasen

Aus diesen und ähnlichen Befunden wurde die Hypothese abgeleitet, daß insbesondere phonologische Phrasen (PPh) entscheidend von der syntaktischen Struktur geprägt sind und häufig syntaktische Maximalprojektionen umfassen. Einschränkend ist jedoch zu bemerken, daß in Ausnahmefällen selbst stark markierte Intonationsphrasengrenzen *inmitten* einer syntaktischen Phrase auftreten können, wie das folgende prominente Beispiel 2.15 (nach Shattuck-Hufnagel & Turk, 1996) zeigt :

Syntaktische Struktur:

(2.15a) *Sesame Street is brought to you* [PP *by the Children's Television Workshop*]

Prosodische Struktur:

(2.15b) *Sesame Street is brought to you by*]IPh # [*the Children's Television Workshop*]IPh

Die Präpositionalphrase (PP) in 2.15 wird prosodisch aufgespalten und in zwei verschiedene Intonationsphrasen integriert, *ohne* daß die syntaktische Phrasengrenze vor der Präposition 'by' erhalten bleibt. Diese Art der Phrasierung dient offenbar der Erzeugung besonderer Spannung und der Hervorhebung der für die Fernsehsendung verantwortlichen Institution und läßt sich daher mit einer informationsstrukturell bedingten Fokussierung auf *the Children's Television Workshop* begründen. Man kann also vermuten, daß die ursprüngliche, syntaktisch bedingte

Wortgruppierung lediglich durch Anwendung einer höherrangigen Phrasierungsregel (hier: der Informationsstruktur) überschrieben wurde.<sup>3</sup>

Befunde dieser Art illustrieren ein fundamentales Prinzip beim Verständnis prosodischer Strukturen: Die jeweils beobachtbaren prosodischen Muster beruhen auf verschiedenen, vom Sprecher z.T. nacheinander zu durchlaufenden Planungsoperationen, die der eigentlichen Artikulation vorausgehen. Nur die Tatsache, daß die syntaktische Planung einer Äußerung zeitlich vor deren phonologischer Planung erfolgt, ermöglicht die Abbildung syntaktischer auf prosodische Struktur (vgl. Cooper & Paccia-Cooper, 1980; Levelt, 1991). Damit (wie in Satz 2.15) informationsstrukturelle Intentionen die syntax-getriebene prosodische Struktur noch modifizieren (bzw. überschreiben) können, bedarf es eines Abgleichs zwischen beiden, der ebenfalls vor der phonologischen Planung in den Gesamtprozeß eingehen muß. Ähnliche Überlegungen sind - in umgekehrter Prozeßabfolge - auch auf Hörerseite zu fordern, wenn prosodische Information direkt auf das syntaktische Parsing einwirken soll (vgl. auch Warren, Grabe & Nolan, 1995).

### 2.2.3 Das Prosody-Syntax-Mapping auf Hörerseite

Während die zuvor zitierten Arbeiten weitgehend unbestritten belegen, daß syntaktische Phrasierung zumindest prinzipiell vom Sprecher prosodisch abgebildet werden kann, wird die Datenlage zur Nutzung dieser Information auf Hörerseite überraschend kontrovers beurteilt (vgl. Cutler, Dahan & van Donselaar, 1997, für einen Überblick). Zwar liegt auch für die Satzperzeption bereits seit über 20 Jahren experimentelle Evidenz vor (z.B. Lehiste, 1973; Streeter, 1978; Cooper & Paccia-Cooper, 1980), doch wurde die Hypothese eines direkten prosodischen Einflusses auf das Syntaxparsing bis heute immer wieder in Frage gestellt. Dies hat vor allem drei Gründe.

- Erstens wird von einigen Autoren bezweifelt, ob die *prinzipiell mögliche* prosodische Kodierung syntaktischer Information von Sprechern tatsächlich so regelhaft erfolgt, daß sie dem Hörer als verlässliche Basis für Parsingentscheidungen dienen kann (z.B. Allbritton, McKoon & Ratcliff, 1996).

---

<sup>3</sup> Ähnliche Phänomene lassen sich bis hinunter zur Ebene der Wortmetrik beobachten, etwa bei Vermeidung zweier direkt aufeinanderfolgender starker Silben im Englischen (sog. *stress clash*): "thir-TEEN", aber "THIR-teen WO-men" (Warren, Grabe & Nolan, 1995).

- Zweitens wurde in verschiedenen Studien - trotz prosodischer Unterschiede der Stimulussätze - kein Hinweis für die disambiguierende Rolle dieser Information gefunden (z.B. Watt & Murray, 1996).
- Drittens, und entscheidend, stehen bislang keine überzeugenden Versuchsparadigmen zur Verfügung, die unter natürlichen Verarbeitungsbedingungen die prosodischen Einflüsse auf Parsingprozesse online abbilden können. Methodische Probleme im Hinblick auf die Stimuluskontrolle, die Auswahl der Experimentalbedingungen und die Messung abhängiger Variablen finden sich selbst bis in die jüngste Vergangenheit hinein in fast jeder Studie (vgl. auch: Cutler et al., 1997).

In diesen methodischen Unzulänglichkeiten spiegeln sich nicht zuletzt die wesentlich höheren experimentellen Anforderungen auditiver gegenüber visuellen Sprachstudien wider. Schon auf Stimulusseite weisen natürliche Sprachsignale (gerade *infolge* der Prosodie) eine Variabilität auf, die bei der Millisekunden-genauen visuellen Präsentation von Fontschriften am Computerbildschirm ausgeschlossen werden kann. Außerdem ist es mit rein behavioralen Messungen prinzipiell unmöglich, Online-Daten zu erheben, ohne das Sprachsignal und dessen Verarbeitung an den kritischen Positionen für die Datenerhebung zu unterbrechen. Nachdem Mitte der 80er Jahre im Zusammenhang mit der Modularitätsdebatte ausgerechnet für die psycholinguistische *Syntax*-Forschung der Einsatz zeitlich hochauflösender Methoden als kritisch erkannt worden war, schien das Interesse am Einfluß prosodischer Information auf Parsingprozesse zunächst nachzulassen. Verfügbare Daten beruhten bis Anfang der 90er Jahre im wesentlichen auf früheren Offline-Studien, deren Hinweise auf prosodische Einflüsse jedoch zu unspezifisch waren, um sie in die auf Lesedaten beruhenden Prozeßmodelle integrieren zu können.

Eine dieser frühen Arbeiten (Streeter, 1978) ist insofern von besonderem Interesse, als sie eine systematische Untersuchung des Beitrags verschiedener akustischer Parameter bei der Wahrnehmung von Phrasengrenzen vorstellt. Als Material dienten der Autorin eingesprochene *geklammerte* algebraische Ausdrücke des Typs "(A plus E) times O" mit einer möglichen Phrasengrenze vor bzw. nach dem "E", sowie *ungeklammerte* Ausdrücke ohne erkennbare Phrasengrenze "A plus E plus O". Durch Resynthese der Signale wurden zusätzliche Bedingungen geschaffen, in denen die drei akustischen Parameter Grundfrequenz, Dauer und Lautstärke einzeln oder in Kombination neutralisiert wurden. Die Neutralisierung erfolgte u.a. über künstliche Dehnungen und Ersetzung der variablen F0-Kontur durch einen Einheitswert

(100 Hz). Mit einem vollständigen 2 x 2 x 2-Design prüfte Streeter den Einfluß jedes Parameters auf die Perzeption von Phrasengrenzen, wobei die Probanden nach jedem Satz die Art der wahrgenommenen Klammerung beurteilen mußten. Es zeigte sich, daß Dauerstruktur und Grundfrequenz gleichermaßen und additiv zur Grenzwahrnehmung beitragen, während der Lautstärkefunktion weniger Bedeutung zukommt. Die Unabhängigkeit der Dauer- und Frequenzeffekte illustriert, daß sich zwei völlig unterschiedliche akustische Parameter bei der Hervorrufung eines phonologischen Höreindrucks in gewissem Maße gegenseitig ersetzen können. Dieses als *cue trading* bezeichnete Phänomen wurde in einer späteren Offline-Studie von Beach (1991) auch für komplexere Strukturen nachgewiesen. Es unterstreicht die Notwendigkeit einer unabhängigen phonologischen Repräsentationsebene.

1992 setzte mit einer Studie von Marslen-Wilson, Tyler, Warren, Grenier, und Lee wieder das Interesse an der zeitlichen Dynamik prosodischer Verarbeitung ein. Ganz im Trend anderer Syntaxstudien, die von Vertretern interaktiver Modelle durchgeführt wurden, versuchten Marslen-Wilson und Kollegen, die Vorhersagen des modulären Gardenpath-Modells von Frazier (1987) mit einem für die auditive Domäne geeigneten Online-Paradigma zu widerlegen. Die eingesetzte *Cross-modal naming task* begann mit der *auditiven* Präsentation eines strukturambigen Satzanfanges, der entweder mit der Prosodie eines (normalerweise präferierten) Minimal Attachment-Satzes (MA) gesprochen wurde, oder mit der Prosodie eines klassischen Gardenpath-Satzes mit Non-Minimal Attachment-Struktur (NMA; vgl. Bedingungen 1 und 2 in Tabelle 2-1). Nach Ende des Satzfragmentes wurde als Testwort *visuell* ein Verb präsentiert, das die Probanden so schnell wie möglich laut vorlesen ('benennen') sollten. Anschließend sollten sie beurteilen, ob das Verb den Satz korrekt vervollständigte. Da dieses Verb nur in die NMA-Struktur integriert werden konnte, wurden erhöhte Benennungslatenzen für die inkompatible MA-Bedingung erwartet, sofern das prosodische Muster des Satzanfanges das Parsing beeinflussen konnte. Diese Erwartung wurde bestätigt.

Tatsächlich fanden die Autoren, daß die Latenzen in der NMA-Bedingung sogar kürzer waren als in der neutralen Referenzbedingung (*'The following word is'* als Kontextsatz), und fast ebenso kurz wie in einer syntaktisch nicht-ambigen dritten Bedingung (NMA mit Complementizer). Sowohl die inkompatible MA-Prosodie als auch eine vierte Bedingung mit eindeutiger syntaktischer Verletzung auf dem Testwort zeigten dagegen erhöhte Reaktionszeiten. Die Autoren schlossen, daß die NMA-Prosodie das Parsing frühzeitig

zugunsten der sonst nicht-präferierten NMA-Struktur beeinflusst hatte und werteten die Daten als Evidenz gegen die Modularität des syntaktischen Parsers. Da (im Gegensatz zur eindeutigen Verletzungsbedingung 4) das Verb auch nach MA-Prosodie als korrekte Satzfortsetzung akzeptiert wurde, schlugen die Autoren außerdem ein relativ problemloses Überschreiben der prosodisch bedingten Syntaxanalyse durch morpho-syntaktische Information vor.

Diese Bewertung blieb jedoch nicht unwidersprochen. Zum einen waren die prosodischen Muster der Sprachsignale nicht beschrieben worden. Zweitens wurde die Unvollständigkeit des Designs (Testwörter nur in der NMA-Struktur) kritisiert. Drittens wurde vermutet, daß die am Satzende zusätzlich verwendete Beurteilungsaufgabe zu unnatürlichen Verarbeitungsstrategien und Interferenzen mit der Benennungsaufgabe geführt haben könnte. Watt und Murray (1996) führten daher eine Serie von Replikationsexperimenten mit vollständigem Design und verschiedenen Aufgabenstellungen durch. In völligem Gegensatz zur Studie von Marslen-Wilson und Mitarbeitern zeigten ihre Ergebnisse keinerlei Prosodie-Effekte für die Benennungszeiten der Testwörter. Die Autoren folgerten, daß die syntaktische Verarbeitung unempfindlich gegenüber Prosodie und der Befund der Vorgängerstudie ein Artefakt des Designs gewesen sei. Allerdings hatten auch Watt und Murray die verwendeten Sprachsignale nicht analysiert, sondern bestenfalls impressionistisch beschrieben. Der Möglichkeit, daß *prosodische Unterschiede im Satzmaterial* beider Studien die widersprüchlichen Ergebnisse bewirkt hatten, konnte daher nicht nachgegangen werden.

**Tabelle 2-1:** Daten der Studie von Marslen-Wilson et al. (1992)

| Bed.                      | Auditiv präsentierter Satzanfang   | Testwort<br>(visuell) | Latenz-<br>diff. [ms] | Passungs-<br>güte (Urteil) |
|---------------------------|--|-----------------------|-----------------------|----------------------------|
| 1. NMA                    | <i>The workers considered # the last offer from the management ...</i>             | WAS                   | - 10                  | hoch                       |
| 2. MA                     | <i>The workers considered the last offer from the management ...</i>               | WAS                   | + 14                  | hoch (!)                   |
| 3. NMA mit<br>Compl.      | <i>The workers considered # <u>that</u> the last offer from the management ...</i> | WAS                   | - 11                  | hoch                       |
| 4. Numerus-<br>Verletzung | <i>The workers considered that the last offer from the management ...</i>          | WERE                  | + 24                  | gering                     |



In dieser Hinsicht ein Meilenstein war daher die Studie von Warren, Grabe und Nolan (1995), die sich ebenfalls der cross-modalen Benennungsaufgabe bediente. Untersuchungsgegenstand war diesmal jedoch nicht das Minimal Attachment Prinzip, sondern die Late Closure Präferenz des Gardenpath-Modells. Die auditiv präsentierten Satzanfänge stammten aus Early und Late Closure Konstruktionen wie in 2.16:

Early Closure:

H\***L-H%** H\*

(2.16a) *Whenever parliament discusses Hong Kong # problems are solved instantly.*

Late Closure:

H\* H\* H\* **L-H%**

(2.16b) *Whenever parliament discusses Hong Kong problems # they are solved instantly.*

Sämtliche Sätze waren zuvor vollständig akustisch und phonologisch analysiert und in ToBI transkribiert worden (Grabe & Warren, 1995). Sie unterschieden sich hochsignifikant vor allem in der Position der Phrasengrenzen (L-H%), die erwartungsgemäß an den syntaktisch motivierten Positionen lagen.<sup>4</sup> Nach Einspielung der ambigen Satzanfänge (bis *'..problems'*) wurden als visuelle Testwörter Verben präsentiert, die als korrekte Fortsetzung der EC-Struktur fungierten. Ähnlich wie zuvor in der Studie von Marslen-Wilson et al. (1992) wurden wiederum deutlich kürzere Benennungslatenzen gemessen, wenn dem Testwort ein Satzanfang mit kompatibler (EC-) Prosodie vorausging (vgl. Tabelle 2-2). Diese Befunde fanden umfassende Unterstützung in einer ebenfalls prosodisch gut kontrollierten Studie von Speer, Kjelgaard und Dobroth (1996). Anders als Warren et al. (1995) verwendeten die Autorinnen jedoch ein vollständiges Design mit unterstützender und gegenläufiger Prosodie, variierten deren jeweilige Salienz und führten zudem eine prosodische Referenzbedingung ein, welche gleichermaßen mit EC und LC akzeptiert wurde.

---

<sup>4</sup> Zusätzlich wurde das Phänomen des stress shift bzw. der stress clash-Vermeidung untersucht (*"hong KONG"* im EC-Satz versus *"HONG kong"* im LC-Satz), auf das hier nicht weiter eingegangen wird.

**Tabelle 2-2:** Daten der Studie von Warren, Grabe, and Nolan (1995)

| Cond. | Auditive präsentierter Satzanfang                                 | Testwort<br>(visuell) | Benennungs-<br>Latenz [ms] |
|-------|---|-----------------------|----------------------------|
| EC    | <i>Whenever parliament discusses Hong<br/>Kong # problems ...</i> | ARISE                 | 660                        |
| LC    | <i>Whenever parliament discusses Hong<br/>Kong problems # ...</i> | ARISE                 | 700                        |

Obwohl andere Studien wesentlich schwächere oder unklare Prosodie-Einflüsse auf Parsingprozesse berichteten (Beach, 1991; Stirling & Wales, 1996; Pynte & Prieur, 1996) zeichnen sich in den letzten Jahren erstmalig Versuche ab, die Prozeßcharakteristik prosodischer Verarbeitung auch in Relation zu anderen Ebenen der Sprachverarbeitung zu spezifizieren. Hierzu gehören Vorschläge, prosodische Phrasierung auf PPh-Ebene eher mit der Syntax, Akzentmuster dagegen mit Semantik und Pragmatik in Verbindung zu bringen, und Intonationsphrasen als basale Domäne semantischer Interpretation anzusehen (z.B. Schafer, 1997). Als besonders vielversprechend könnte sich die Überlegung erweisen, der Prosodie nicht nur in Notationssystemen wie ToBI, sondern auch in psycholinguistischen Modellen eine eigene phonologische Repräsentationsebene mit unabhängigen Parsingprinzipien zuzuordnen (Beckman, 1996; Cutler et al., 1997; Warren, 1999; Fodor, 1998). Allerdings sind sich die genannten Befürworter dieses Standpunktes ausnahmslos darüber bewußt, daß die derzeitige Methodik nicht in der Lage sein wird, die nötige empirische Evidenz zu erbringen. Selbst die bislang als elegantestes Online-Paradigma geltende cross-modale Benennungsaufgabe weist erhebliche methodische Schwächen auf. Erstens muß zur Erhebung der Daten ein auditives Signal an der kritischen Position unterbrochen werden. Zweitens wird ein höchst unnatürlicher Wechsel von der auditorischen zur visuellen Sprachverarbeitung, und von der Sprachperzeption zur -produktion verlangt. Drittens ist die Benennungsaufgabe als solche, insbesondere in Verbindung mit Zusatzaufgaben, vermutlich nicht resistent gegenüber strategischen Einflüssen. Von Warren (1999) stammt daher der Vorschlag, daß es möglicherweise des Einsatzes neuer experimenteller Paradigmen wie etwa den ereignis-korrelierten Potentialen (EKP) bedarf, um die Zeitstruktur mit der nötigen Auflösung zu klären. Die vorliegende Arbeit greift diesen Vorschlag auf.

### 2.2.4 Prosodie und Interpunktion in Lesestudien

Bevor auf die EKP-Technik und ihre bisherigen Beiträge zum Verständnis der Satzverarbeitung eingegangen wird, soll an dieser Stelle kurz die Frage aufgeworfen werden, inwieweit Prosodie auch beim Lesen eine Rolle spielen könnte. Schon in Abschnitt 2.1 war anhand der Experimente von Bader (1994, 1998) gezeigt worden, daß Betonungsmuster selbst beim *stillen* Lesen aktiviert werden und Gardenpath-Effekte verstärken können. Tatsächlich sind die empirischen Arbeiten von Bader jedoch bislang die einzigen ihrer Art, obwohl theoretische Überlegungen zur 'stillen Prosodie' jüngst auch zur Reinterpretation von anderen Gardenpath-Phänomenen geführt haben (Fodor, 1998).

Unstrittig ist, daß zumindest bei Normalgesunden während des Lesens in der Regel die phonologischen Wortrepräsentationen des phylo- und ontogenetisch älteren auditorischen Sprachsystems aktiviert werden (für einen Überblick vgl. Perfetti, 1994; Patterson & Coltheart, 1987). Ähnlich wie sich der Erwerb der Lesefähigkeit in erster Linie über die Assoziierung von Lautmustern mit Schriftzeichen vollzieht (z.B. Share, 1999), werden beim Lesen umgekehrt (über Graphem-Phonem-Korrespondenz) die phonologischen Repräsentationen (P) reaktiviert. Obwohl sich mit zunehmender Lesefertigkeit offenbar auch ein direkter lexikalischer/semantischer Wortzugriff (S) über die orthographische Form (O) herausbildet ( $O \rightarrow S$  [ $\rightarrow P$ ]; Taft & van Graan, 1998), wird gerade bei unbekanntem und selten verwendeten Wörtern wieder auf die Graphem-Phonem-Konvertierung ( $O \rightarrow P \rightarrow S$ ) zurückgegriffen (sog. *Dual-Route-Model*). Phänomenologisch wird diese *phonologische Rekodierung* visueller Reizmuster in Lautrepräsentationen von den meisten Lesern als 'innere Stimme' erlebt (Chafe, 1988). Teilweise läßt sich dabei sogar eine neuronale Aktivierung der Artikulationsmuskulatur nachweisen, die für manche Autoren als zusätzliches Kriterium für den ebenfalls gebräuchlichen Begriff der 'Subvokalisierung' gilt (vgl. Bader, 1994, 1998).

Die von Bader berichteten Effekte sprechen nun dafür, daß neben den phonologischen Wortformen auch phrasale Intonationsmuster aktiviert werden (können). Dies deckt sich ebenfalls mit introspektiven Erfahrungen vieler Leser, wobei die Zeichensetzung eine besondere Rolle spielt (Chafe, 1988). Historisch gesehen, wurden Satzzeichen ursprünglich im Rahmen der alt-griechischen Rhetorik-Theorie eingeführt und fanden nennenswerte Verbreitung über mittelalterliche Klosterschulen, um die korrekte Intonation ungeübter Leser beim Vorlesen biblischer Texte sicherzustellen (Bruthiaux, 1993). Das heißt, sie fungierten als unmittelbare orthografische Entsprechungen für Prosodie. Im Laufe der Jahrhunderte haben sich

Zeichensetzungsregeln zunehmend an syntaktischen Phrasierungen der jeweils aktuellen Grammatiktheorie orientiert, so daß Zeichensetzung bei der Textabfassung sowohl von der Beherrschung dieser offiziellen Regeln als auch von persönlichen Vorlieben der Phrasierung abhängen (Bergien, 1994; Baldwin & Coady, 1978). Die schwer kontrollierbaren interindividuellen Variabilitäten (Chafe, 1988) führten in der experimentellen Psycholinguistik zu einem weitgehenden Verzicht von Zeichensetzung, obwohl insbesondere Kommas und Satzpunkte erwiesenermaßen die Phrasierung und Pausensetzung des Lesers beeinflussen (O'Connell & Kowal, 1986). Die spärlichen empirischen Daten zum Einfluß von Kommata auf Parsingprozesse sprechen außerdem für einen disambiguierenden Einfluß bei sonst ambigen Gardenpath-Sätzen (Mitchell & Holmes, 1985; Mitchell, 1987). Inwieweit solche Einflüsse über subvokale Aktivierung von prosodischer Phrasierung vermittelt werden und ob dabei interindividuelle Unterschiede auftreten, ist bislang nicht untersucht worden. Diese Fragen werden im Kontext des Leseexperimentes in Kapitel 7 nochmals aufgegriffen.

## **2.3 Psycholinguistik und ereignis-korrelierte Potentiale (EKPs)**

Die überwältigende Mehrheit von Studien, die das Zusammenwirken unterschiedlicher Subsysteme bei der Sprachverarbeitung untersuchten, bedienten sich behavioraler Messungen. Mit der bereits erwähnten Erkenntnis, daß nur zeitlich hochauflösende Online-Methoden in der Lage sind, die komplexen Subprozesse adäquat abzubilden, kamen Anfang der 80er Jahre zunehmend auch ereignis-korrelierte Hirnpotentiale (EKPs) zum Einsatz. EKPs sind eine Abfolge systematischer Potentialänderungen, die mit konstanter Latenz als Hirnantwort auf einen Stimulus im Elektroencephalogramm (EEG) auftreten. Durch Mittelungsprozesse über eine größere Anzahl von Meßepochen ( $N > 30$ ), die jeweils an den Präsentationsbeginn eines Stimulus gekoppelt sind, hebt sich das Reiz-korrelierte Potential als Signal von der unspezifischen Spontanaktivität des Hirns (Rauschen) ab. Das resultierende Signal besteht aus einer Abfolge von positiven und negativen Potentialänderungen, die jeweils spezifische kortikalen Verarbeitungsprozesse reflektieren.

Die Kombination von Verhaltensmaßen mit Maßen des ereigniskorrelierten Potentials (EKPs) ermöglicht eine Analyse der zeitlichen Struktur des Sprachverarbeitungsprozesses in Echtzeit. Ein entscheidender Vorteil der EKP-Messungen liegt in ihrer sehr hohen zeitlichen Auflösung, die es erlaubt, die mit Sprachverarbeitungsprozessen korrelierende neuronale Aktivität on-line im Millisekundenbereich zu messen. Ein zweiter Vorteil der EKP-Methode folgt aus der Multidimensionalität der abhängigen Variable: EKP-Komponenten unterscheiden sich sowohl in der Ausrichtung der Potentialänderung (Positivierung oder Negativierung) als auch in der Latenz, Dauer und Topographie ihres Auftretens. Im folgenden sollen zunächst einige sprachunabhängige Komponenten und anschließend die wichtigsten EKP-Korrelate während sprachlicher Verarbeitungsleistungen kurz charakterisiert werden.<sup>5</sup>

### **2.3.1 Sprachunabhängige Komponenten: N100, P200, P300, CNV**

Frühe *exogene* Komponenten spiegeln die ersten, weitgehend unwillkürlichen Prozesse der Reizverarbeitung in subcorticalen Strukturen (z.B. Thalamuskernen) und anschließend in den

---

<sup>5</sup> Für weitere Details zur EKP-Methode und zur Elektrogenese des Signals sei der Leser auf meine Diplomarbeit (Steinhauer, 1995) und die umfangreiche Einführungsliteratur verwiesen (z.B. Niedermeyer & Lopes da Silva, 1989; Regan, 1989; Cooper, Osselton & Shaw, 1984; Rugg & Coles, 1995; Hagoort, Brown & Osterhout, 1999).

primären und sekundären Rindenfeldern der jeweiligen Modalität wider. Hierbei gelten die als *N1* bzw. *N100* bezeichnete Negativierung um ca. 100 ms nach Stimulusbeginn und die *P2* (*P200*), eine Positivierung bei ca. 200 ms, als erste markante Korrelate reizspezifischer kortikaler Aktivität. Späte *endogene* Komponenten (ab ca. 200 ms nach Stimulusbeginn) gelten dagegen als Indikatoren höherer kognitiver Prozesse und sind daher für die Kognitive Psychologie (und damit auch für die Psycholinguistik) in Bezug auf komplexere Integrationsleistungen von besonderem Interesse. Die am besten untersuchte (nicht-sprachgebundene) Komponente ist die *P300*, welche als Korrelat für eine Auffrischung der Inhalte im Arbeitsgedächtnis (d.h. des 'Umgebungsmodells') gilt (Donchin & Coles, 1988). Diese parietale Positivierung tritt mit Gipfellatenzen zwischen 300 und 500 ms (oder mehr) nach nahezu jeder Reizpräsentation auf und wird mit umso größerer Amplitude ausgelöst, je unerwarteter und wichtiger der Reiz für die Versuchsperson ist. Sie reflektiert vermutlich eine der grundlegendsten kognitiven Operationen der Umgebungsanpassung überhaupt. Noch spätere EKP-Komponenten treten häufig als langanhaltende Potentialverschiebungen mit u.U. bis zu mehreren Sekunden Dauer auf (engl. *slow waves*). Mit charakteristischer Topographie bilden sich in ihnen vor allem spezifische Verarbeitungsprozesse im Arbeitsgedächtnis ab, wie etwa Kopfrechnen, die gedankliche Rotation einer Figur oder das Halten von Information (z.B. Rösler, Schumacher, & Sojka, 1990; Ruchkin, Johnson, Mahaffey & Sutton, 1992). Andererseits können langsame Negativierungen auch Erwartungen bzw. Vorbereitungsprozesse im Hinblick auf einen *zukünftigen* Reiz abbilden. Eine in diesem Kontext besonders interessante Komponente ist die *Contingent Negative Variation* (CNV). Sie tritt auf, wenn ein Warnreiz (S1) die baldige Präsentation eines zweiten, imperativen Stimulus (S2) ankündigt, auf den hin eine Reaktion (etwa ein Knopfdruck) erfolgen soll (Tecce & Cattanach, 1987; Rugg & Coles, 1992). Die CNV selbst besteht offenbar aus verschiedenen Subkomponenten, einer initialen Erwartungsnegativierung und einem späteren motorischen Bereitschaftspotential.

### 2.3.2 Korrelate semantischer Prozesse: die N400

Die N400-Komponente, eine centro-parietale Negativierung im Zeitbereich um 400 ms, ist die am besten untersuchte sprach-relatierte EKP-Komponente und kann inzwischen als gut abgesichertes EKP-Korrelat für die Verarbeitung semantisch-lexikalischer Information gelten. Nach ersten Befunden von Kutas & Hillyard (1980a,b; 1984) wurde in zahlreichen Studien belegt, daß die N400-Amplitude um so größer ausfällt, je weniger ein Zielwort durch vorhergehenden Kontext semantisch vorbereitet ('geprint') wird, d.h. je unerwarteter oder

unplausibler es ist (vgl. Kutas und Van Petten, 1988 und 1994, für einen Überblick). Das letzte Wort in dem Satz *Er bestrich sein Brot mit Socken* löst daher eine besonders große N400-Komponente aus. In einer wichtigen Studie von Chwilla, Brown und Hagoort (1995) konnte gezeigt werden, daß die Auslösung der N400-Komponente an semantische Verarbeitung gebunden ist. Wenn geschriebene Wörter allein nach physikalischen Kriterien (Buchstabengröße) verarbeitet werden sollten, fanden sich keine N400-Effekte. Die Komponente wird allerdings auch dann generiert, wenn als Folge einer syntaktischen Verletzung ein zusätzlicher lexikalischer Zugriff im mentalen Lexikon notwendig wird (Hopf, Bayer, Bader & Meng, 1998) oder die Verbargumentstruktur verletzt wird (Friederici & Frisch, 2000). In auditiven Studien zeigte sich eine Latenzverschiebung und erhöhte Dauer der N400 (Holcomb & Neville, 1990, 1991; Friederici, Pfeifer & Hahne, 1993).

### **2.3.3 Frühe syntaktische Prozesse: links-anteriore Negativierungen**

Der derzeitige Kenntnisstand deutet auf zwei Arten von Syntax-sensiblen Komponenten hin, nämlich frühe links-anteriore Negativierungen und späte posteriore Positivierungen. Links-anteriore Negativierungen um 125 ms wurden von Neville, Nicol, Barss, Forster und Garrett (1991) bei Phrasenstrukturverletzungen in einem visuellen Experiment registriert, die aus einer unzulässigen invertierten Wortstellung von Präposition und Nomen resultierten. Eine links-anteriore Negativierung um 400 ms wurde im Deutschen bei Wortkategorieverletzungen (Münze, Heinze & Mangun, 1993) und in verschiedenen Sprachen für Subjekt-Verb-Kongruenzverletzungen beobachtet (Coulson, King & Kutas, 1995; Gunter, Stowe & Mulder, 1995; Osterhout & Mobley, 1995). Auch Verletzungen des Verb-Subkategorisierungsrahmen (z.B. Passivierung intransitiver Verben) führten erst im Zeitbereich von 400 ms zu links-frontalen Negativierungen (Rösler, Friederici, Pütz & Hahne, 1993). Alle diese Studien verwendeten visuelles Sprachmaterial. Die Detektion von Phrasenstrukturverletzungen in akustisch dargebotenem Sprachmaterial, die durch einen syntaktischen Wortkategoriefehler bedingt waren (z.B. *'Der Freund wurde im besucht'*), generierte eine frühe links-anteriore Negativierung um 180ms (ELAN) (Friederici, Hahne & Mecklinger, 1996), die sich gegenüber strategischen Einflüssen als robust erwies (Hahne & Friederici, 1999).

### 2.3.4 Späte syntaktische Prozesse: posteriore Positivierungen

Viele der zuvor beschriebenen Studien zu syntaktischen Verletzungen berichten im Anschluß an die links-frontale Negativierung eine zusätzliche späte centro-parietale Positivierung mit Latenzen zwischen 500 und 1000 ms (Coulson et al., 1995; Gunter et al., 1995; Neville et al., 1991; Osterhout et al., 1994; Osterhout & Mobley, 1995) bei visueller Sprachpräsentation ebenso wie bei akustischer Sprachpräsentation (Friederici et al., 1996).

Weiterhin wurden in den letzten Jahren sowohl in der visuellen Domäne (Osterhout & Holcomb, 1992; Osterhout et al., 1994; Mecklinger, Schriefers, Steinhauer & Friederici, 1995; Friederici, Steinhauer, Mecklinger & Meyer, 1998) als auch in der akustischen Domäne (Osterhout & Holcomb, 1993; Friederici et al., 1996) EKP-Experimente zur Verarbeitung von Gardenpath-Sätzen durchgeführt, bei denen lediglich initiale Verarbeitungspräferenzen (z.B. das Late Closure oder das Minimal Attachment Prinzip), nicht jedoch die Syntaxregeln verletzt werden. Generell zeigen diese Studien, daß die nicht-präferierte Gardenpath-Lesart ebenfalls mit einer centro-parietalen Positivierung um 600 ms einhergeht, die als *P600*-Komponente oder *Syntactic Positive Shift* (SPS) bezeichnet wird. Anders als syntaktische Verletzungen scheinen Gardenpath-Sätze jedoch keine vorhergehende frühe Negativierung auszulösen.

Im Gegensatz zur frühen anterioren Negativierung (ELAN) unterliegt die späte P600 strategischen Einflüssen und reflektiert daher zumindest zum Teil kontrollierte Verarbeitungsprozesse (Friederici et al., 1996; Gunter & Friederici, 1999; Hahne & Friederici, 1999). So änderte sich zwar die Amplitude der P600, nicht jedoch die der ELAN in Abhängigkeit (a) von zusätzlichen Gedächtnisbelastungen (Vos, 1999), (b) von der relativen Häufigkeit der Verletzungen im Experiment (20-25% vs. 75-80%; Gunter et al., 1997; Hahne, 2000) und (c) von der Art der Aufgabenstellung (Hahne, 2000). Bei einer semantischen Satzbeurteilung von semantischen und syntaktischen Doppelverletzungen (z.B. *Das Haus wurde im gegessen*) traten eher N400-Effekte auf, bei syntaktischer Bewertung derselben Sätze fanden sich dagegen P600-Effekte (Hahne, 2000). Sowohl die Sensibilität der P600 auf Häufigkeitsänderungen der syntaktisch anomalen Sätze als auch ihre P300-ähnliche centro-parietale Topografie haben zu der Diskussion geführt, ob die P600 als eine verzögerte sprach-*unspezifische* P300-Komponente interpretiert werden kann (pro: Coulson et al., 1998; Gunter et al., 1997; contra: Osterhout, McKinnon, Bersick, & Corey, 1996; Osterhout & Hagoort, 1999; Steinhauer, Mecklinger, Friederici & Meyer, 1997).



### 2.3.5 Ein neuro-physiologisch motiviertes Modell

Die derzeit vorliegenden EKP-Daten zur Sprachverarbeitung wurden von Friederici (1995, 1997, 1998; Friederici & Mecklinger, 1996) in einem psycholinguistischen Modell zusammengeführt, das in Anlehnung an das Gardenpath-Modell von Frazier (1978, 1987) drei unterschiedliche Phasen der Satzverarbeitung annimmt (Friederici 1995). In einer ersten Phase wird anhand der Wortkategorien eine initiale syntaktische Struktur erstellt. Verletzungen während dieser initialen Phase der Phrasenstrukturbildung (d.h. inkompatible Wortkategorien) lösen eine ELAN aus. Nach Erstellung der initialen Phrasenstruktur wird weitere lexikalische und semantische Wortinformationen verarbeitet und in den Satzkontext integriert. Semantische Integrationsprobleme während dieser zweiten Phase lösen eine centro-parietale N400 aus, morphosyntaktische Kongruenzverletzungen dagegen anteriore Negativierungen im gleichen Zeitbereich. Daß die Prozesse der zweiten Phase von der Erstellung einer intakten Phrasenstruktur aus Phase 1 abhängen, zeigt sich darin, daß Doppelverletzungen der Phrasenstruktur und der Semantik (*Das Haus wurde im gegessen*) außer bei expliziten Semantikurteilen *keine* N400-Komponente auslösen, sondern lediglich eine frühe ELAN und eine P600 (Friederici, Steinhauer & Frisch, 1999).

Sofern sich im Verlauf der Satzanalyse syntaktische und semantische Information problemlos aufeinander abbilden lassen, hat ein 'Verstehen' des Satzes stattgefunden. Gelingt dies nicht, kommt es zu einer Reanalyse mit dem Ziel, eine Interpretation des Satzes doch noch zu ermöglichen. Diese Korrektur der initialen Satzanalyse wird von der P600/SPS-Komponente reflektiert, wobei dieser Positivierung vermutlich sowohl sprachspezifische als auch unspezifischere (Gedächtnis-) Prozesse zugrunde liegen, die Subkomponenten unterschiedlicher Topographie hervorrufen (Friederici, Mecklinger, Spencer, Steinhauer & Donchin; 2001). Damit könnten letztlich die unterschiedlichen Befunde erklärt werden, welche die P300/P600-Diskussion (s.o.) ausgelöst haben.

Wie das genannte Modell illustriert, haben EKP-Studien bisher insbesondere zum Verständnis der *zeitlichen Koordination* von Subprozessen bei der sprachlichen Verarbeitung beigetragen.

### 2.3.6 Korrelate phonologischer Verarbeitung

EKP-Untersuchungen zur Verarbeitung von Prosodie auf Satzebene liegen bisher nicht vor. Allerdings existieren einzelne Arbeiten zu basaleren phonologischen Prozessen. So berichten

---

Conolly und Phillips (1995) in einem auditiven Experiment von einer Negativierung für satzfinale Wörter, die phonologisch von dem erwarteten Wort abwichen. Diese als *PMN* (phonological mismatch negativity) bezeichnete Komponente zeigte eine ähnliche Topographie wie die N400, verhielt sich zu dieser aber unabhängig (additiv). Besson, Faita, Czternasty und Kutas (1997) fanden nach Insertion einer künstlichen Pause in einem gesprochenen Satz sowohl emittierte Potentiale zum Zeitpunkt der erwarteten Wortpräsentation als auch erhöhte N1 und P2 Komponenten für das verzögert präsentierte Wort. In einer Studie zur Verarbeitung von Wortbetonungen zeigten Böcker, Bastiaansen, Vromen, Brunia und De Gelder (1999), daß zweisilbige Wörter mit (im Holländischen ungewöhnlicher) Betonung auf der zweiten Silbe eine Negativierung um 325 ms (*N325*) auslösen. Die Autoren interpretieren ihren Befund als Indiz für eine prä-lexikalische Verarbeitung der Betonungsmuster. Obwohl diese Studien kaum in direkten Bezug zur vorliegenden Arbeit gesetzt werden können, illustrieren sie, daß phonologische Verarbeitung prinzipiell mit der EKP-Methode erfaßt werden kann.

## **2.4 Zentrale Fragestellungen**

Wie die vorangegangenen Ausführungen zeigen, existieren gegenwärtig bestenfalls erste Ansätze, um prosodische Verarbeitung in psycholinguistische Modelle zu integrieren, wobei das Fehlen einer geeigneten Online-Methode für empirische Forschung ein entscheidendes Hauptproblem darstellt (Cutler et al., 1997; Warren, 1996, 1999). Die vorliegende Arbeit möchte dazu beitragen, diese Situation zu ändern.

Dabei soll zum einen geprüft werden, ob der in anderen psycholinguistischen Bereichen erfolgreiche Einsatz ereignis-korrelierter Potentiale auch zur Untersuchung prosodischer Verarbeitung geeignet ist. Die Methode bietet den unschätzbaren Vorteil, bei der Datenerhebung nicht auf eine aktive Reaktionsabgabe der Probanden angewiesen zu sein, die bislang stets zur Unterbrechung der Sprachsignale geführt hatte (z.B. Marslen-Wilson et al., 1992; Warren et al., 1995).

Zweitens soll eine Frage von aktuellem psycholinguistischen Interesse als Untersuchungsgegenstand gewählt werden. Die an der Schnittstelle von Prosodie und Syntax derzeit wichtigste psycholinguistische Fragestellung ist, ob prosodische Information das syntaktische Parsing unmittelbar beeinflussen kann. Als adäquater Forschungsansatz kann in Anlehnung an bisherige Studien (Marslen-Wilson et al., 1992; Warren et al., 1995; Speer et al., 1996) die Untersuchung von temporär ambigen Gardenpath-Sätzen angesehen werden, deren unterschiedlichen syntaktischen Strukturen frühzeitig prosodisch disambiguiert sind. Dieser Ansatz soll auch in der vorliegenden aufgegriffen bzw. weiterentwickelt werden.

Drittens wird versucht, die nahezu durchgängig kritisierten methodischen Mängel anderer Studien zu vermeiden, indem sich sowohl die Auswahl und prosodische Charakterisierung des Stimulusmaterials als auch das Design der eigentlichen Perzeptionsexperimente an den Standards rezenter Forschung orientiert. Hierzu gehört sowohl die akustische wie auch die phonologische Charakterisierung des Stimulusmaterials, um die erwarteten EKP-Korrelate möglichst eindeutig interpretieren zu können.

Eine elegante Art, prosodische Einflüsse auf die Satzverarbeitung zu untersuchen, bietet das Cross-Splicing-Verfahren, bei dem lexikalisch identische (aber prosodisch unterschiedliche) Sätze bzw. Satzteile gesprochen und die Satzteile dann neu rekombiniert werden. Von

Höhle, Hofmann und Friederici (1995) wurde im Deutschen bereits ein auditorisches Experiment durchgeführt, dessen Material u.a. rekombinierte Sätze wie 2.17c enthielt (#= prosodische Grenze; | = Splicing-Position):

- (2.17a) *Peter versprach Anna zu | kommen und ihr Blumen mitzubringen*  
(2.17b) *Peter versprach # Anna zu | lieben und sie heiraten zu wollen*  
(2.17c) *\* Peter versprach # Anna zu | kommen und ihr Blumen mitzubringen*

Satz 2.17b enthält im Gegensatz zu 2.17a eine prosodische Phrasengrenze (#) vor *Anna*<sup>6</sup>. Ein Cross-Splicing wie in 2.17c kombiniert diese Grenze mit einem intransitiven Verb. Sofern, wie erwartet, die prosodische Grenze vor *Anna* eine syntaktische Anbindung dieser NP an das nachfolgende Verb erzwingt, sollte dies zu einer Verletzung der intransitiven Argumentstruktur des Verbs *kommen* führen (*\* jemanden kommen*). Da Satz 2.17a die normalerweise präferierte Lesart, Satz 2.17b hingegen den Gardenpath-Satz darstellt, würden Verarbeitungsprobleme in 2.17c rein prosodisch bedingt sein, da dieser Satz lexikalisch identisch mit Satz 2.17a ist. Die Autorinnen beschreiben tendenzielle Effekte dieser Art für die verwendete Wortentdeckungsaufgabe bei 12 verwendeten Sätzen und 24 Probanden.

In verschiedenen EKP-Lesestudien wurden für ähnliche Verletzungen der Verbargumentstruktur in der Regel bi-phasische EKP-Muster einer initialen Negativierung um 400 ms und einer nachfolgenden Positivierung (P600) berichtet (Osterhout & Holcomb, 1992; Osterhout et al., 1994; Friederici & Frisch, 2000; Jacobsen & Friederici, 1998). Insofern sollte es möglich sein, die EKP-Methode auch für eine prosodie-bedingte Verletzung dieser Art wie in Satz 2.17c einzusetzen.

Zielsetzung ist es, einerseits einen rein prosodisch bedingten Gardenpath-Effekt in Sätzen wie 2.17c auszulösen und diesen online im EKP abzubilden. Darüber hinaus sollten die Experimente Aufschluß darüber geben, ob prosodische Verarbeitung per se schon zu einem Zeitpunkt im EKP reflektiert wird, zu dem noch keinerlei phonologische oder syntaktische Verletzung vorliegt. Für diesen Fall sollte eine Replikation in der visuellen Domäne erfolgen, um zu prüfen, zu welchem Grad Kommas als orthografische Korrelate prosodischer Grenzen gelten können.

---

<sup>6</sup> Für weitere Details zur Satzstruktur vgl. Abschnitt 3.2

### **3 Material und Methoden**

Um die spätere Darstellung der einzelnen Experimente nicht durch umfangreiche Methodenabschnitte zu unterbrechen, werden an dieser Stelle die wichtigsten experiment-übergreifenden Vorgehensweisen zentral vorgestellt und lediglich Abweichungen und gesonderte Datenauswertungen auf spätere Abschnitte verschoben. Der hier präsentierte Methodenteil gliedert sich in die fünf Hauptabschnitte (1) Versuchspersonen, (2) Stimulusmaterial, (3) Versuchsdurchführung, (4) Datenaufbereitung und (5) statistische Auswertung.

#### **3.1 Versuchspersonen**

Als Probanden wurden ausnahmslos Studenten der Universität Leipzig im Alter zwischen 18 und 32 Jahren rekrutiert. Alle Versuchspersonen waren rechtshändig, hatten Deutsch als Muttersprache erlernt und gaben an, unter keinen neurologischen Störungen zu leiden. An den visuell präsentierten Leseexperimenten 4-6 nahmen überwiegend normalsichtige und in geringer Anzahl Probanden mit Kontaktlinsen teil. Die Versuchspersonen erhielten eine Aufwandsentschädigung von 13,- DM pro Stunde. Im Falle zweier Versuchssitzungen lag zwischen den Sitzungen ein Unterbrechungsintervall von ca. 1 Woche. Um strategische Einflüsse zu reduzieren, nahm jeder der insgesamt 109 Probanden grundsätzlich nur an einem der Experimente teil und wurde im voraus lediglich über die allgemeine Fragestellung, nicht aber über spezifische Hypothesen informiert.

#### **3.2 Stimulusmaterial**

##### **3.2.1 Stimuluserstellung**

Das in allen Experimenten verwendete Stimulusmaterial leitet sich von den für Experiment 1 erstellten zwei grundlegenden Satzkonstruktionen ab. Die in ausnahmslos allen Experimenten kritischen Sätze des ersten Konstruktionstyps werden nachfolgend als **Experimentalsätze** bezeichnet, die des zweiten Typs werden als **Füllsätze** (oder Füllersätze) bezeichnet, obwohl auch sie in einzelnen Experimenten systematisch variiert und ausgewertet wurden.

Die bereits in Kapitel 2 kurz eingeführten **Experimentalsätze** gliedern sich nochmals in die zwei oberflächlich ähnlichen Satztypen A und B:

NP1   Verb1   NP2   Verb2

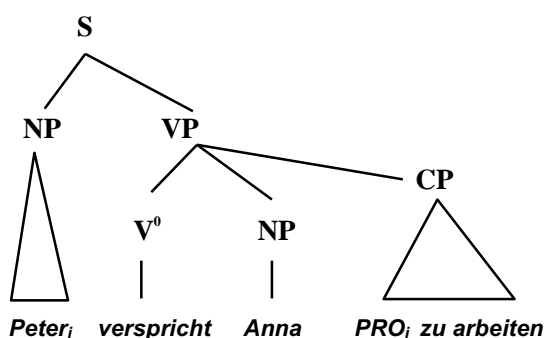
**A.** *Peter verspricht Anna zu arbeiten und das Büro zu putzen*

**B.** *Peter verspricht Anna zu entlasten und das Büro zu putzen*

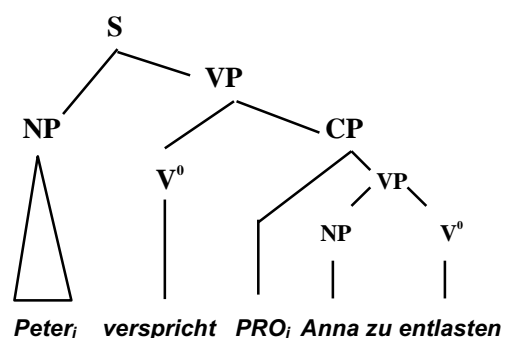
Trotz ihrer Oberflächenähnlichkeit unterscheiden sich die Sätze A und B tiefenstrukturell im Hinblick auf ihre Syntax, was lexikalisch ausschließlich durch das zweite Verb disambiguiert wird. In A ist dieses Verb2 (*arbeiten*) intransitiv, d.h. kann aufgrund seiner Argumentstruktur die Nominalphrase NP2 (*Anna*) nicht als Objekt nehmen. *Anna* muß folglich als indirektes Objekt des vorhergehenden Verbs1 (*verspricht*) interpretiert werden. In Satz B ist das zweite Verb (*entlasten*) dagegen obligatorisch transitiv und fordert die NP2 *Anna* als direktes Objekt. Diese Strukturunterschiede sind als syntaktische Baumdiagramme für den relevanten Satzteil vereinfacht in Abbildung 2.2 wiedergegeben<sup>7</sup>.

Gemäß des Minimal Attachment Prinzips (MA) und des Late Closure Prinzips (LC) würde das Gardenpath-Modell (Frazier, 1978, 1987) Satz A als die präferierte Struktur und Satz B als

**Satztyp A:** Präferiert (MA / LC)



**Satztyp B:** Gardenpath (NMA / EC)



**Abbildung 2.2:** Vereinfachte Strukturbäume der Satztypen A und B

<sup>7</sup> PRO markiert hierbei die phonetisch leere Subjektposition und referiert über den Index *i* auf die erste NP *Peter*. Die Referenzbeziehung wird über das erste Verb kontrolliert, d.h. das Verb *versprechen* ist Subjekt-kontrollierend. Andere Verben (z.B. *raten*) sind Objekt-kontrollierend, d.h. hier würde sich PRO auf das vorhergehende Objekt beziehen: *Peter rät Anna<sub>i</sub> PRO<sub>i</sub> zu arbeiten*

Gardenpath-Satz beschreiben. In Lesestudien wären daher deutliche Verarbeitungsnachteile für Satz B zu erwarten, da die NP *Anna* vom Parser stets initial an die vorhergehende Verbalphrase des Verbs *verspricht* angebunden und als dessen indirektes Objekt interpretiert wird.<sup>8</sup>

Diese tiefenstrukturellen Unterschiede zwischen A und B führen zu unterschiedlichen Betonungsmustern, die im wesentlichen durch eine zusätzliche prosodische Grenze (#) nach dem Verb2 (*verspricht*) in B und eine Verschiebung des Satzakkentes vom Verb2 (*arbeiten*) in A zur NP2 (*Anna*) in B realisiert werden.

**A.** [*Peter verspricht Anna zu ARBEITEN*] # [*und das Büro zu putzen*]

**B.** [*Peter verspricht*] # [*ANNA zu entlasten*] # [*und das Büro zu putzen*]

Gemäß der traditionellen Interpunktionsregeln in der deutschen Schriftsprache (Dudenredaktion, 1973) korrespondiert die zusätzliche Intonationphrasengrenze in B mit einem Komma nach *verspricht* (erweiterter Infinitivsatz):

**A.** *Peter verspricht Anna zu arbeiten und das Büro zu putzen*

**B.** *Peter verspricht, Anna zu entlasten und das Büro zu putzen*

Die **Füllsätze** lassen sich ebenfalls in zwei Grundtypen F1 und F2 gliedern:

NP1    Verb1 NP2    NP3    Konj.    NP4

**F1.** *Der Mann sah die Frau, das Mädchen und den Großvater jeden Sommer im Urlaub*

NP1    Verb1 NP2    NP3    Verb2    NP4

**F2.** *Der Mann sah die Frau, das Mädchen sah den Großvater, und der Neffe sah die Tante*

Beide Sätze F1 und F2 sind sogenannte Koordinationsstrukturen, d.h. sie enthalten Aufzählungen gleichwertiger Satzkonstituenten. In F1 werden drei Nominalphrasen (NP2-4) in Objektposition zu Verb1 aufgezählt. In F2 werden drei vollständige Sätze gleicher Struktur

---

<sup>8</sup> Diese Voraussagen werden - für Sätze ohne disambiguierende Interpunktion - im Lese-Experiment 4 (Kapitel 7) bestätigt. Welches der beiden Verarbeitungsprinzipien innerhalb des Gardenpath-Modells (Minimal Attachment und Late Closure) den hauptsächlichen Beitrag für diese Verarbeitungspräferenz zugunsten der A-Bedingung leistet, ist umstritten. (Für diesbezügliche Diskussionen danke ich Janet Fodor, Atsu Inoue und Lyn Frazier.) Entscheidend (und unumstritten) ist jedoch, daß beide Prinzipien gleichermaßen eine bevorzugte NP-Anbindung an das vorhergehende Verb *verspricht* erwarten lassen.

aufgezählt. Die hier relevanten Unterschiede beziehen sich einerseits auf die kasusambige NP3 (*das Mädchen*), welche in F1 Objekt von Verb1, in F2 aber Subjekt von Verb2 ist. Weiterhin unterscheiden sich F1 und F2 in ihrer Oberfläche darin, daß nach der kritischen NP3 entweder die Konjunktion (Konj.) 'und' (in F1) oder das Verb2 'sah' (in F2) folgt.

Sowohl von den Experimental- wie auch von den Fillersätzen wurden jeweils 48 Satzpaare (A+B bzw. F1+F2) gebildet, wobei sich A und B lediglich bezüglich des zweiten Verbs unterschieden (intransitiv versus transitiv), während F1 und F2 sich lexikalisch wie im Beispiel bis zur Position der NP4 nur bezüglich des Elements Konjunktion/Verb unterschieden.

Da in den Experimenten fast ausschließlich die Experimentalsätze eine Rolle spielen, soll nachfolgend nur für sie eine detailliertere Auflistung einiger Konstruktionsprinzipien gegeben werden. In Anlehnung an das Material von Höhle et al. (1995) wurden pro Bedingung 48 vollkommen neue Sätze konstruiert, die den besonderen Anforderungen im EEG-Experiment Rechnung trugen, keine ungewollten Ambiguitäten enthielten und auf eine Vielzahl von Parametern hin kontrolliert waren. Als NP1 und NP2 dienten grundsätzlich und zu gleichen Anteilen weibliche und männliche Vornamen. Für die erste Verbposition wurden solche Verben ausgewählt, die sowohl mit als auch ohne belebtes indirektes Objekt eine Infinitivkonstruktion als Satzkomplement zulassen. Dafür wurden über die CELEX-Datenbank 12 Verben ausgewählt, die entweder Subjekt-kontrollierend (z.B. *versprechen*) oder Objekt-kontrollierend (z.B. *raten*) waren (vgl. Fußnote 7). In den 48 Satzpaaren wurde jedes dieser 12 Verben je viermal verwendet. Für die zweite Verbposition konnten genügend intransitive Verben für A und transitive Verben für B gefunden werden, ohne daß Wiederholungen notwendig wurden. Verwendungshäufigkeiten, Silben- und Phonemanzahlen der Verben wurden so gut wie möglich zwischen A und B ausgeglichen. Der letzte Teilsatz (*und das Büro zu putzen*) wurde als transitive Struktur so konstruiert, daß er semantisch gleichermaßen mit A und B kombinierbar war. (Eine vollständige Liste der Sätze findet sich im Anhang.)

Für die auditiven Experimente wurden sowohl die Experimental- wie die Füllsätze von einer trainierten deutschsprachigen Sprecherin in einer schallgedämpften Kabine gesprochen, digital per DAT-Recorder aufgezeichnet und schließlich mit einer Abtastrate von 44,1 kHz mit 16 bit Auflösung am Computer als sogenannte 'Speechfiles' im wav-Format individuell abgespeichert (CSL Model 4300B; Kay Instruments). Verständnisfragen wurden von einem männlichen Sprecher gesprochen und ebenfalls individuell im wav-Format abgespeichert.



### 3.2.2 Akustische Analysen der Speechfiles

Nach Vorliegen separater Sprachsignale wurden diese individuell aufwendigen akustischen Analysen unterzogen, um Korrelate der prosodischen Realisierung extrahieren zu können. Berücksichtigung fanden die Parameter Dauer, Grundfrequenzverlauf und Signalintensität (Lautstärkeverlauf). Die verwendeten Methoden werden ebenso wie die Resultate in Kapitel 4 ausführlich dargestellt.

### 3.2.3 Weiterbehandlung der Speechfiles

Im Anschluß an die genaue akustische Charakterisierung der Sprachsignale konnten diese zwecks Generierung zusätzlicher Bedingungen weiterverarbeitet werden. Zum einen führte ein 'Auseinanderschneiden' der Signale und die Rekombination der Fragmente im sogenannten 'Cross-Splicing'-Verfahren zur Generierung der Experimentalbedingung C. Da diese Bedingung in allen auditiven Experimenten präsentiert wurde, wird ihre Derivation nachfolgend beschrieben. Weitere Signalmanipulationen, die lediglich für einzelne Experimente Relevanz haben, werden im Methodenteil des entsprechenden Experiments dargestellt.

#### 3.2.3.1 Die Ableitung von Bedingung (C) durch Cross-Splicing von (A) und (B)

Die dritte Bedingung C der auditiven Experimente 1 und 2 wurde durch sogenanntes Cross-Splicing von Satzfragmenten gewonnen. Die Bedingung stellt eine Rekombination folgender Fragmente dar:

- des ersten Teils von Bedingung (B) bis zum Affrikaten [ts] des Infinitivmarkers 'zu' von Verb2 (*zu entlasten*)
- des zweiten Teils von Bedingung (A), beginnend mit dem Affrikaten [ts] des Infinitivmarkers 'zu' von Verb2 (*zu arbeiten*) bis zum Satzende ('⊥' markiert die Position des Cross-Splicing)

(A) [IP1 Peter verspricht Anna ⊥ zu ARBEITEN] [IP2 und das Büro zu putzen]

(B) [IP1 Peter verspricht] [IP2 ANNA ⊥ zu entlasten] [IP3 und das Büro zu putzen]

Cross-splicing: →

(C) \*[IP1 Peter verspricht] [IP2 ANNA zu ARBEITEN<sup>9</sup>] [IP3 und das Büro zu putzen]

Diese Prozedur führt die frühe prosodische Information des Satztyps (B), welche vermutlich die syntaktische Verarbeitung steuert, in Satz (A) ein und resultiert in der intendierten Mismatch-Bedingung (C). Mit anderen Worten, Bedingung C enthält exakt dieselben lexikalischen Elemente wie (A), jedoch mit der satzinitialen Prosodie aus Bedingung (B). Sofern die prosodische Information der Phrasengrenze die syntaktische Anbindung von *Anna* an das erste Verb verhindert und stattdessen eine Anbindung ans zweite Verb (*arbeiten*) erzwingt, müßte es zu einer Verbargumentstruktur-Verletzung kommen, da *arbeiten* intransitiv ist und kein Objekt anbinden kann (\**jemanden arbeiten*).

Die Splicing-Position am Affrikaten [ts] des Infinitivmarkers 'zu' wurde aufgrund der phonetischen Eigenschaften dieses Segments gewählt. Der Laut setzt sich aus dem Verschlußlaut /t/ und dem Frikativ /s/ zusammen, wobei der initiale vollständige orale Verschluß akustisch mit einer kurzen Pause im Sprachsignal einhergeht, auf welche die Verschlußöffnung (engl. 'burst') folgt. Pause und burst sind im Sprachsignal leicht zu entdecken, und die Pause bietet eine optimale Position zum Cross-Splicing, da hier keinerlei Bedingungsunterschiede auftreten. Um zusätzlich eventuelle Lautheitsdifferenzen vor und nach dem Splicingpunkt auszugleichen, wurden die Sprachsignale einer Amplitudennormalisierung unterzogen, jedoch unter Beibehaltung lokaler Betonungsmuster. Die Splicing-Manipulation läßt sich daher nicht erkennen, und die resultierende Bedingung C klingt, als wäre sie ursprünglich in dieser Weise vom Sprecher produziert worden.

### 3.2.4 Randomisierung des Stimulusmaterials

Zur Vermeidung von Sequenzeffekten und der Ausbildung von Verarbeitungsstrategien auf Seiten der Probanden wurde der Randomisierung des Stimulusmaterials größte Aufmerksamkeit gewidmet. Sie erfolgte mit einem vom Verfasser programmierten zweistufigen iterativen Randomisierungsprogramm, welches zunächst die Stimulussätze entsprechend ihrer

---

<sup>9</sup> Es sei darauf hingewiesen, daß der Akzent auf 'ANNA' in (B) stärker ist als der Akzent auf 'ARBEITEN' in (A). Nach dem Cross-Splicing liegt der Hauptakzent in Bedingung C daher auf 'ANNA'.

Hauptbedingungen und unter Berücksichtigung zusätzlicher Nebenkriterien auf die geplante Anzahl von Versuchsblöcken verteilt, um dann in der zweiten Stufe innerhalb jedes Blockes eine optimale Pseudo-Randomisierung vorzunehmen. In beiden Verarbeitungsschritten lassen sich Verteilungs- bzw. Sortierungskriterien definieren, die dann entsprechend ihrer Priorität abgearbeitet und optimiert werden. In den vorliegenden Fällen wurde das Programm so konfiguriert, daß folgende Restriktionen eingehalten wurden:

- Die Sätze wurden so auf die Blöcke verteilt, daß alle experimentellen Hauptbedingungen (einschließlich derjenigen der Füllsätze) in jedem Block gleichhäufig auftraten.
- Experimentelle Variationen eines Satzes traten niemals zusammen im selben Block auf und wurden im Fall zweier Versuchssitzungen so gleichmäßig wie theoretisch möglich auf diese verteilt.
- Die Verteilung auf die Blöcke erfolgte derart, daß lexikalische Ähnlichkeiten zwischen Sätzen desselben Blocks vermieden wurden und die Anzahl der erforderlichen JA/Nein-Antworten pro Aufgabentyp optimal ausbalanciert war.
- Innerhalb eines Blocks alternierten Experimental- und Füllsätze, um syntaktisches Priming zu unterbinden. Außerdem wurden identische Satzbedingungen bzw. lexikalisch ähnliche Sätze (z.B. in Bezug auf das mehrfach wiederholte Verb1 in Experimentalsätzen) stets von mehreren anderen Sätzen getrennt.
- Gleichlautende Antworten (JA / NEIN) innerhalb jeder Aufgabenstellung (Prosodiebeurteilung, Verständnisfragen) sowie Vornamenkombinationen des gleichen Genus (NP1 und NP2 der Experimentalsätze) traten nicht häufiger als dreimal in Folge auf.
- Jede Versuchsperson bekam die Experimentalblöcke in unterschiedlicher Reihenfolge präsentiert. Für einige Experimente wurde außerdem von jedem einzelnen Block eine 2. Version mit reverser Trialfolge generiert, so daß die Hälfte der Probanden spiegelbildliche Satzsequenzen relativ zu den anderen Probanden erhielt. Im Fall zweier Versuchssitzungen variierte die Zuordnung der Experimentalblöcke zu den Sitzungen je nach Versuchsperson.

### **3.3 Versuchsdurchführung**

#### **3.3.1 Verlauf der Versuchssitzung**

Die jeweils erste Versuchssitzung einer Versuchsperson begann mit der Durchführung des Händigkeitstests (Oldfield, 1975) und des deutschsprachigen Lesespannentests nach Daneman & Carpenter (1980; vgl. Steinhauer, 1995), sofern entsprechende Daten nicht bereits vorlagen. Danach schloß sich die Applizierung der Elektroden (Electrocap International) an, während derer die Versuchsperson bereits eine schriftliche Instruktion zu lesen bekam. Nach Einstellung der Impedanzen auf maximal 5 Kiloohm nahm der Proband in einer elektromagnetisch abgeschirmten Kabine mit abgedimmter Beleuchtung Platz. Auditive Stimuli wurden binaural über zwei Lautsprecher in ca. 1,5 m Entfernung vor dem Probanden eingespielt, visuelle Reize wurden im Zentrum eines ca. 80 cm entfernten 17" SVGA-Monitors dargeboten. Je nach Experiment folgten zunächst ein bis drei Übungsblöcke mit ähnlichen Stimuli wie im eigentlichen Experiment zur Gewöhnung an den Versuchsablauf (Aufgabenstellung, Antwortabgabe per Responsebox, Reduzierung des Augenzwinkerns auf dafür vorgesehene Intervalle).

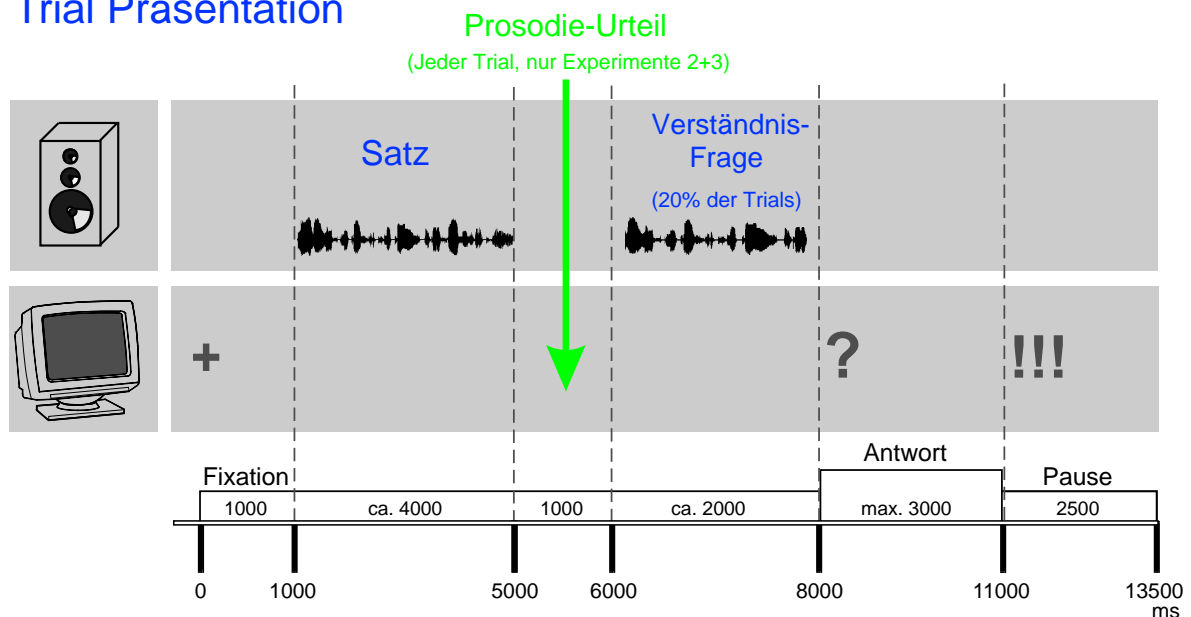
In einer Experimentalsitzung wurden typischerweise vier Blöcke mit je 36 Sätzen (Trials) präsentiert. Die Blöcke wurden durch Pausen getrennt, deren genaue Dauer (mindestens drei Minuten) die Versuchsperson bestimmte. Mit Ausnahme dieser Pausen wurde das EEG kontinuierlich während der gesamten Sitzung abgeleitet (s.u.).

Die Trialpräsentation (s.u.) sowie die Registrierung der Performanzdaten (Tastendrucke) wurde mit Hilfe der ERTS-Software (Experimental Run Time System, Version 3.11; Beringer 1993) von einem IBM-compatiblen Pentium PC aus kontrolliert. Da ERTS die Sprachsignale nur im voc-Format präsentieren kann, wurden diese zuvor aus dem wav-Format konvertiert, wobei die akustische Information vollständig erhalten blieb.

#### **3.3.2 Trialpräsentation**

Das Präsentationsschema für die auditiven Experimente 1-3 ist in Abbildung 3.1 dargestellt. Jeder Trial begann mit der visuellen Darbietung eines Fixationskreuzes, welches helfen sollte, EEG-Artefakte durch Augenbewegungen zu reduzieren. Nach zwei Sekunden wurde zusätzlich zum weiterhin präsentierten Fixationskreuz auditiv das Sprachsignal eines Satzes eingespielt

## Trial Präsentation



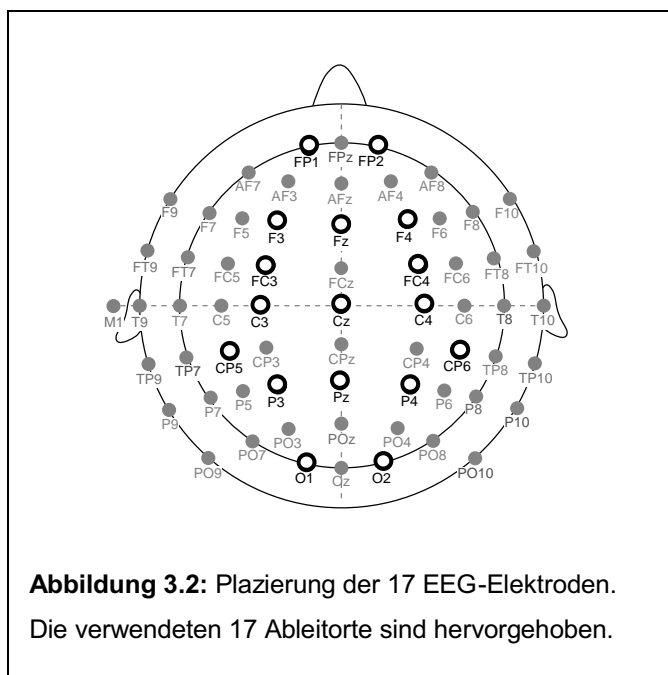
**Abbildung 3.1:** Trial-Präsentationsschema in den auditiven Experimenten 1-3

(Dauer ca. 3,5-4,0 Sekunden). Anschließend wurde im ersten Experiment in 20 % der Durchgänge durch die Einblendung eines Fragezeichens am Monitor signalisiert, daß eine Verständnisfrage folgen würde, die eine Sekunde später auditiv präsentiert wurde und per Tastendruck (JA / NEIN) zu beantworten war (ERTS response box mit 1 ms Genauigkeit). Bei Abgabe der Antwort wurde das Fragezeichen am Bildschirm durch drei Ausrufezeichen ("!!!") ersetzt, die ein 2500 ms dauerndes Intervall anzeigten, in welchem die Versuchsperson ermutigt wurde, mit den Augenlidern zu zwinkern. (Während der übrigen Phasen sollten die Augen möglichst ruhig gehalten werden, um das EEG nicht zu stören.) In den 80 % der Trials, die keine Verständnisfrage enthielten, wurden die entsprechenden Ausrufezeichen unmittelbar nach der Satzpräsentation eingeblendet. Nach Ablauf der 2500 ms begann der nächste Trial mit der Darbietung des Fixationskreuzes. Bei den Experimenten 2 und 3 wich das Präsentationsschema insofern ab, als in *jedem* Trial unmittelbar nach Satzpräsentation zusätzlich die Frage "Korrekt?" eingeblendet wurde und zur prosodischen Beurteilung des Satzes aufforderte. Die Antwortabgabe erfolgte wiederum per JA/NEIN-Tastendruck. Insgesamt dauerte ein Trial etwa 13.5 Sekunden.

Die Präsentationsschemata der Leseexperimente orientierte sich im wesentlichen an denen der auditiven Experimente. Die Wörter jedes Satzes wurden einzeln in Bildschirmmitte eingeblendet (schwarzer Proportionalfont auf hellgrauem Hintergrund), wobei sich die Darbietungszeiten pro Wort im Prinzip aus den durchschnittlichen Dauerwerten der korrespondierenden Wortpositionen der Speechfiles errechneten und dann aufgerundet wurden. Weitere Details werden in direktem Zusammenhang mit den Leseexperimenten dargestellt.

### 3.3.3 EEG-Aufzeichnung

Das EEG wurde kontinuierlich von 17 in einer Kappe eingelassenen Zinkelektroden (Electrocap International) abgeleitet, deren Positionen eine leicht modifizierte Variante des 10-20-Systems (Jaspers, 1958) darstellten (Abb. 3.2). An der Mittellinie waren dies Fz, Cz und Pz. Laterale Elektroden wurden den folgenden Regions of Interest (ROIs) zugeordnet: Links anterior: Fp1, F3, BL=FC3; rechts anterior: Fp2, F4, BR=FC4; links zentral: C3; rechts zentral: C4; links posterior: P3, WL=CP5, O1; rechts posterior: P4, WR=CP6, O2.



Die EEG-Aufzeichnung erfolgte mit einer Abtastrate von 250 Hz und 12 bit Auflösung bei der Digitalisierung. Die Elektrodenimpedanzen wurden generell unterhalb von 5 k $\Omega$  gehalten. Eine Elektrode am linken Mastoid diente als Referenz, während die Erdungselektrode in 10 % der Nasion-Inion-Distanz anterior zu Fz plazierte war.

Zur Erfassung von Augenbewegungsartefakten wurde das vertikale Elektrookulogramm (vEOG) ober- und unterhalb des rechten Auges und das horizontale EOG am äußeren Canthus beider Augen bipolar aufgezeichnet. EEG- und EOG-Signale wurden von einem Neuroscan-DC-Verstärker mit integriertem 40-Hz Online-Tiefpaßfilter verstärkt. Spezifische Triggersignale für jede Experimentalbedingung wurden vom ERTS-Steuerprogramm jeweils synchron zum

Einspielungsbeginn eines Sprachsignals generiert und zusammen mit dem EEG auf einem separaten Trigger-Kanal aufgezeichnet. Diese Markierungen erlaubten später die Identifizierung von Satzanfängen im kontinuierlichen EEG-Signal.

### **3.4 Datenaufbereitung**

#### **3.4.1 Vorverarbeitung der EKPs**

Die Auswertung der EKPs wurde mit Hilfe des Programmpakets EEP 3.0 für UNIX durchgeführt (vgl. Annual Report 1996 des MPI für neuropsychologische Forschung). Zunächst wurden alle Meßepochen markiert, welche Lidschläge (d.h. phasische Amplitudenänderungen oberhalb von 30  $\mu$ V) oder andere Bewegungsartefakte in einem der EEG- oder EOG-Kanäle enthielten, und führten so zum Ausschluß von der weiteren Auswertung. Die Prozentsätze solcher Zurückweisungen variierten mit der Länge der jeweils ausgewerteten Meßepoche, unterschieden sich jedoch nicht signifikant zwischen den Experimentalbedingungen. Auch im ungünstigsten Fall gingen mindestens 30 Trials pro Versuchsperson und Bedingung in die Auswertung ein.

In einem zweiten Schritt wurden die artefaktfreien Signalepochen in interessierenden Zeitbereichen separat für jede Versuchsperson, Bedingung und Elektrode gemittelt. Die resultierenden sogenannten '*Subject Averages*' repräsentierten das prototypische EKP-Muster einer Versuchsperson für die jeweilige Experimentalbedingung. Als Zeitbereiche wurden in der Regel sowohl Epochen über den gesamten Satz (0-4500 ms ab Satzbeginn) als auch die Präsentationsintervalle besonders relevanter Satzelemente (z.B. des zweiten Verbs) ausgewählt. Als Basislinie dienten in den meisten Fällen Prästimulusintervalle von 200 ms (für Details siehe Experimententeil). Satzanfänge wurden im EEG-Signal über die online aufgezeichneten ERTS-Triggersignale identifiziert. Der Präsentationsbeginn anderer Wortelemente innerhalb eines Satzes mußte dagegen nachträglich aus der Positionsinformation von Triggern errechnet werden, die individuell in den Speechfiles gesetzt worden waren (s.u. Abschnitt 4.2). Dazu wurden vom Verfasser entsprechende Programmskripten in Pascal und Perl programmiert, die faktisch die Triggerinformation der Sprachsignale zeitgenau in die EEG-Aufzeichnung projizierten.

Im dritten Verarbeitungsschritt wurden die Subject Averages aller Versuchspersonen zu einem 'Grand Average' gemittelt, und zwar wiederum separat für jede Bedingung und Elektrode. Nur diese Grand Averages werden in den nachfolgenden EKP-Abbildungen dargestellt. Als Folge der oben beschriebenen Artefaktbereinigung gingen pro Versuchsbedingung und Proband etwa 35-40 der ursprünglich 48 Trials in einen Grand Average ein; das sind bei 20 Probanden insgesamt 700-800 Einzelsignale. Da das Risiko von Artefakten mit der Länge des gemittelten Zeitintervalls ansteigt, gingen in die kürzeren Epochenfenster einzelner lexikalischer Elemente (z.B. Verb2) naturgemäß *mehr* Trials ein (38.9) als in die Mittelungen über die gesamte Satzlänge (35.4). Wegen ihres besseren Signal-Rausch-Verhältnisses wurden für Analysen lokaler EKP-Effekte daher die lokalen Epochenfenster gewählt. Für statistische Analysen wurden die EKP-Komponenten in der Regel über Amplitudenmittelwerte repräsentativer Zeitfenster quantifiziert, deren genauere Beschreibung im Kontext der einzelnen Experimente erfolgt. Zusätzlich zu diesen Bereichsmittelwerten war in Ausnahmefällen auch die Ermittlung von Gipfelatenzen bzw. eine basislinien-*unabhängige* Berechnung von Amplitudendifferenzen notwendig. In diesen Fällen wurden bei jeder Versuchsperson lokale Minima und Maxima im EKP der jeweiligen Bedingungen ausgemessen. Auch diesbezügliche Details finden sich in den Abschnitten der jeweiligen Experimente.

### **3.5 Statistische Auswertung**

Sämtliche statistischen Analysen wurde mit dem Softwarepaket SAS for Open Systems Version 6.12 unter UNIX durchgeführt.

#### **3.5.1 Speechfiles**

Die statistische Auswertung der akustischen Meßwerte (Frequenzwerte, Dauer, Lautstärke) in den Satzbedingungen A und B erfolgte entweder über abhängige t-Tests oder entsprechende Varianzanalysen im Meßwiederholungsdesign. In die Analysen gingen alle 48 Sprachsignale der beiden Bedingungen ein. Einzelheiten werden in Abschnitt 4 dargestellt.

#### **3.5.2 Performanz-Daten**

Auch Akzeptabilitätsurteile und Fehlerraten bei Verständnisfragen wurden konventionell mit ANOVAs (Analyses of Variance) im Meßwiederholungsdesign ausgewertet. Für die Korrektheit einer Antwort war neben dem Drücken der richtigen Taste außerdem die Einhaltung einer maximalen Reaktionszeit (3000 ms) erforderlich. In die Analysen der Reaktionszeiten gingen ausschließlich diese korrekten Antworten ein. Reaktionszeitwerte wurden darüber hinaus



innerhalb jeder Versuchsperson Extremwert-korrigiert, d.h. Meßwerte, die mehr als 2 Standardabweichungen vom ursprünglichen Mittelwert der Versuchsperson in dieser Bedingung abwichen, blieben bei der Berechnung des endgültigen Mittelwertes unberücksichtigt (Rattcliff, 1993).

### 3.5.3 EKP-Daten

Varianzanalytische EKP-Auswertungen auf Basis von Amplitudenmittelwerten wurden grundsätzlich separat für die Mittellinienelektroden (FZ, CZ, PZ) und die 6 lateralen Regions of Interest (ROIs) durchgeführt. Die aufwendigeren Gipfelanalysen (baseline-to-peak bzw. peak-to-peak; vgl. Regan, 1989) waren dagegen auf die Mittellinie beschränkt. Das ANOVA-Design für die Mittellinie umfaßte standardmäßig die 'within-subject'-Faktoren *Bedingung*  $\times$  *Elektrodenposition* (3), dasjenige der lateralen Ableitorte die Faktoren *Bedingung*  $\times$  *Hemisphäre* (2)  $\times$  *Elektrodenposition* (3). Globale ANOVAs, die zusätzlich Aufgabeneinflüsse zwischen zwei Experimenten kontrastieren sollten, enthielten zusätzlich den 'between-subject'-Faktor *Aufgabe* (2). Die statistischen Varianzanalysen beruhen allein auf *inter-individuellen* Variabilitäten zwischen den Subject Averages der verschiedenen Versuchspersonen, nicht jedoch auf *intra-individueller* Variabilität der verschiedenen Trials pro Bedingung.

Als Folge der großen Anzahl statistischer Analysen werden ausschließlich solche Ergebnisse berichtet, die statistisch signifikant sind und mindestens eine experimentelle Manipulation involvieren. Zur Erhöhung der Lesbarkeit werden im laufenden Text nur die wichtigsten dieser Resultate explizit mit F- und p-Wert erwähnt, während eine vollständige Auflistung in der Regel in Tabellenform erfolgt. Verletzungen der Spärizitätsannahme in ANOVAs mit mehr als einem Freiheitsgrad im Zähler wurde durch die Korrektur nach Huynh & Feldt (1970) Rechnung getragen. Um progressive Fehler des Typs I bei Einzelvergleichen zu vermeiden, wurden die p-Werte gegebenenfalls gemäß einer modifizierten Bonferroni-Korrektur angepaßt (Keppel, 1991). Grundsätzlich werden die ursprünglichen Freiheitsgrade und korrigierte p-Werte dargestellt.



## 4 Akustische und prosodische Eigenschaften der Sprachsignale

**Zusammenfassung:** *Anhand akustischer Analysen der Sprachsignale wird gezeigt, wie die trainierte Sprecherin syntaktische Unterschiede in der Satzstruktur frühzeitig prosodisch kodierte. Indikatoren für ein Syntax-Prosody-Mapping lassen sich sowohl in der Phrasierung (Wortdehnungen und Pauseninsertionen) als auch in der Platzierung der Satzakzente (Grundfrequenz und Lautstärke) nachweisen. Analoge Kontrollanalysen von Signalen anderer Sprecher belegen, daß die prosodische Kodierung syntaktischer Information trotz inter-individueller Variabilität bei normal-gesunden Sprechern ein regelhaftes Phänomen darstellt.*

Dieses Kapitel nimmt eine vermittelnde Stellung zwischen Materialbeschreibung einerseits und der Darstellung empirischer Ergebnisse andererseits ein. Vor dem Hintergrund der eigentlichen Untersuchungsziele ist die akustische Charakterisierung der Sprachsignale nichts anderes als eine weitere Spezifizierung des Stimulusmaterials und seiner Darbietung. Ihr entsprechen bei visueller Präsentation solche *unabhängigen* Variablen wie die Wahl des Schriftfonts oder die Einblendungsdauer pro Wort. Bei natürlich eingesprochenen Sätzen werden die Kenngrößen der akustischen Realisierung jedoch selbst zu nur bedingt kontrollierbaren *abhängigen* Variablen, deren Erfassung einen Zwischenschritt empirischer Analyse erfordert, die bei Leseexperimenten vollständig entfällt.

Entsprechend weichen die hypothetischen Annahmen bezüglich der akustischen Realisierung des verwendeten Satzmaterials je nach theoretischem Ansatz erheblich voneinander ab und sagen entweder nur unsystematische Variabilitäten (Albritton et al., 1996) oder signifikante Bedingungsunterschiede zwischen A und B (Pierrehumbert, 1980; Jacobs, 1993; Reyelt et al., 1996) voraus. Der Umstand, daß den empirischen Daten der akustischen Analysen einerseits theoriendifferenzierende Bedeutung bezüglich des Syntax-Prosody-Mappings zukommt und sie andererseits als unabhängig von den EKP-Hauptexperimenten eingestuft werden können, begründet ihre gesonderte Darstellung in diesem Kapitel.

## 4.1 Hypothesen

In Anlehnung an rezente Theorien des Syntax-Prosody-Mappings (vgl. Abschnitt 2.2) wird davon ausgegangen, daß die syntax-strukturellen Unterschiede zwischen Satztyp A und Satztyp B vom normalgesunden Sprecher prosodisch kodiert werden. Bei Anwendung metrischer Gitterung (Jacobs, 1993) und tonaler Sequenzmodelle (Reyelt et al., 1996) ergeben sich folgende Voraussagen:

L+H\*                                      L+H\*    H%                                      L+H\*                                      L%

**A'** [*Peter verspricht Anna zu ARBEITEN*]<sub>IPh1</sub> [*und das BÜRO zu putzen*]<sub>IPh2</sub>

L+H\*            H%            L+H\*                                      H%                                      L+H\*                                      L%

**B'** [*Peter verspricht*]<sub>IPh1</sub> [*ANNA zu entlasten*]<sub>IPh2</sub> [*und das BÜRO zu putzen*]<sub>IPh3</sub>

- Erstens liegt der Satzakzent in Satz A auf dem zweiten Verb *arbeiten*, in B jedoch auf der tiefer eingebetteten NP2 *Anna*. Die Satzakzente sollten durch lokale F0-Maxima (Anheben der Grundfrequenz L+H\*) bzw. eine Zunahme der Amplitude realisiert werden.
- Zweitens unterscheidet sich die Phrasierung: In A wäre nur eine satzinterne Intonationsphrasengrenze nach dem Verb *arbeiten* zu erwarten. In B werden dagegen zwei IPh-Grenzen vorausgesagt: eine nach dem ersten Verb *verspricht* und die zweite (wie in A) ebenfalls nach dem zweiten Verb *entlasten*. Die zusätzliche erste Grenzmarkierung in B kann hierbei durch präfinale Dehnung des Verbs *verspricht*, durch Pauseninsertion oder durch die Generierung eines ansteigenden Grenztons (H%) realisiert werden.

Vor dem Hintergrund dieser Hypothesen werden nachfolgend die Sprachsignale einer trainierten Sprecherin charakterisiert, die als Stimulusmaterial in den EKP-Experimenten Verwendung fanden.

## 4.2 Sprachsignale der trainierten Sprecherin

Eingang in die Analysen fanden jeweils die 48 ursprünglich produzierten Experimentalsätze der Bedingungen A und B. Sämtliche anderen in den EKP-Experimenten verwendeten Sprachsignale stellen Derivate dieser zwei Bedingungen dar und lassen sich bei Berücksichtigung der entsprechenden Manipulation hinreichend über diese charakterisieren.

### 4.2.1 Dauerparameter

Die Dauerbestimmung von insgesamt 8 Satzfragmenten erfolgte über Setzung von Triggermarkierungen im wav-Dateiformat mit dem Programm Cool Edit (Version 1.52; Syntrillium Software Corporation). Die jeweiligen Triggerpositionen konnten später aus der Datei herausgelesen werden und dienten auch zur Identifizierung von Wortanfängen im EEG-Signal (vgl. Abschn. 3.4.1). Folgende Fragmente wurden auf diese Weise ausgemessen:

NP1    Verb1    P1    NP2    P2                    Verb2                    CP3                    Verb3  
*/Peter verspricht / #1 / Anna / #2 / zu / arbeiten(entlasten) / und das Büro zu / putzen/*

1. Fragment: Erste Nominalphrase (NP1) + Verb1 (e.g. *'Peter verspricht'*)
2. Fragment: Pause #1 zwischen Verb1 und der zweiten Nominalphrase (NP2)
3. Fragment: NP2 (*'Anna'*)
4. Fragment: Pause #2 zwischen NP2 und dem Infinitivmarker 'zu' von Verb2
5. Fragment: Infinitivmarker von Verb2 (*'zu'*)
6. Fragment: Verb2 (*'arbeiten'/'entlasten'*)
7. Fragment: Wörter 1-4 des letzten Teilsatzes (CP3: *'und das Büro zu'*)
8. Fragment: Verb3 des letzten Teilsatzes (*'putzen'*)

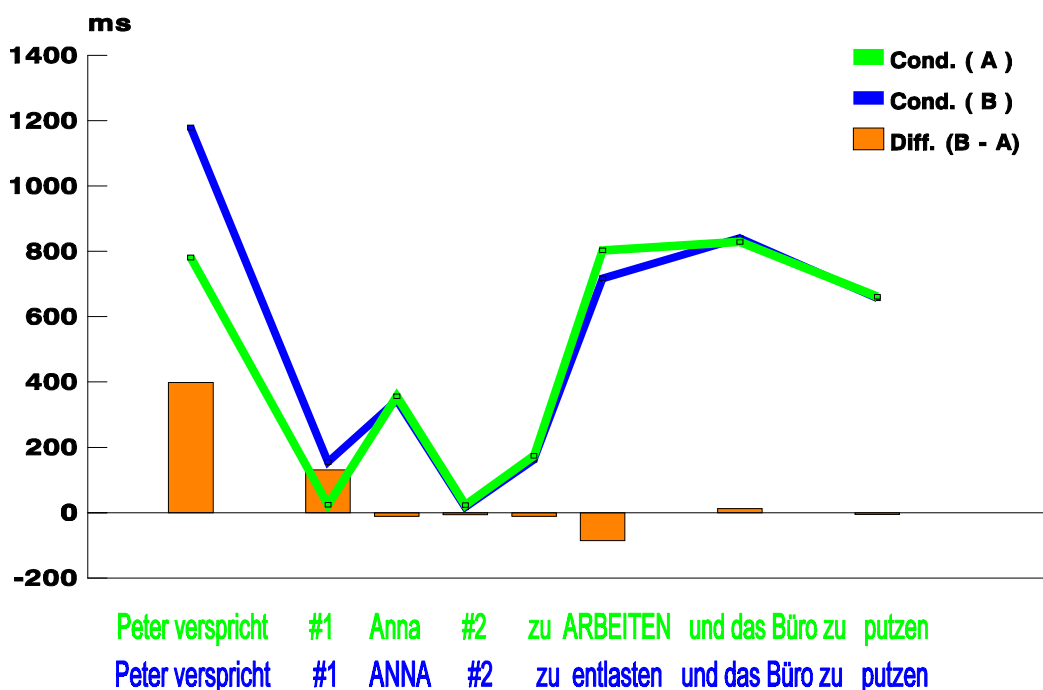
Anschließend wurden für jedes Fragment innerhalb jeder Bedingung Mittelwerte über die 48 Einzelwerte berechnet, die in Tabelle 4-1 zusammengefaßt werden. Differenzen in der Fragmentdauer zwischen Bedingungen A und B wurden statistisch auf Signifikanz geprüft (letzte Spalten der Tabelle).

**Tabelle 4-1: Mittlere Dauer pro Fragment (absolut und kumulativ) sowie die jeweiligen Differenzen zwischen Bedingungen B und A.**

| Fragment Nr. | Text                      | Dauer [ms]   |          |               |          | Diff. (B-A)  | F(1,47) | P             |
|--------------|---------------------------|--------------|----------|---------------|----------|--------------|---------|---------------|
|              |                           | Bed.A        | (kumul.) | Bed.B         | (kumul.) |              |         |               |
| 1            | <i>Peter verspricht</i>   | <b>781.0</b> | 781.0    | <b>1179.0</b> | 1179.0   | <b>398.0</b> | 793.92  | <b>0.0001</b> |
| 2            | <i>Pause #1</i>           | <b>24.1</b>  | 805.1    | <b>155.1</b>  | 1334.1   | <b>131.0</b> | 69.35   | <b>0.0001</b> |
| 3            | <i>Anna</i>               | <b>356.5</b> | 1161.6   | <b>344.0</b>  | 1678.1   | -12.5        | 12.27   | 0.001         |
| 4            | <i>'Pause' #2</i>         | <b>23.4</b>  | 1185.0   | <b>16.6</b>   | 1694.7   | -6.8         | 6.52    | 0.02          |
| 5            | <i>zu</i>                 | <b>173.9</b> | 1358.9   | <b>161.5</b>  | 1856.3   | -12.4        | 5.50    | 0.03          |
| 6            | <i>arbeiten/entlasten</i> | <b>802.8</b> | 2161.7   | <b>717.3</b>  | 2573.6   | <b>-85.5</b> | 13.39   | <b>0.0006</b> |
| 7            | <i>und das Büro zu</i>    | <b>829.0</b> | 2990.6   | <b>841.8</b>  | 3415.4   | 12.8         | 3.21    | 0.07          |
| 8            | <i>putzen</i>             | <b>661.0</b> | 3651.6   | <b>655.7</b>  | 4071.2   | 5.3          | .69     | 0.5           |

Als wichtigstes Ergebnis ergab sich eine systematisch größere Satzdauer in Bedingung B (4071 ms) relativ zu Bedingung A (3652 ms), die praktisch ausschließlich durch systematische Dehnungen des ersten Fragmentes (*'Peter verspricht'*) und einer direkt nachfolgenden Pauseninsertion (Fragment 2) in Bedingung B getragen wird (vgl. auch Abb. 4.1). Abgesehen von diesen Dauerdifferenzen der beiden satzinitialen Fragmente waren die anderen Bedingungsunterschiede entweder nicht signifikant oder lagen unterhalb von 20 ms und können daher vernachlässigt werden. Eine Ausnahme stellt die hochsignifikante Differenz von 85 ms zwischen den Verben in Fragment 6 dar. In diesem Fall bleibt jedoch unklar, ob der Effekt eine Folge von Unterschieden zwischen den lexikalischen Einträgen als solchen ist (intransitives Verb2 wie *'arbeiten'* vs. transitives Verb2 wie *'entlasten'*) oder aber eine Folge der strukturellen Differenzen zwischen den Satztypen.

Da diese struktur-disambiguierenden Verben auch als kritische Elemente im Vergleich zwischen Bedingung B und der Mismatch-Bedingung C der EKP-Experimente dienen, mußte der Beitrag



**Abbildung 4.1:** Dauerwerte der Satzfragmente [ms] in den Sprachsignalen der Satzbedingungen A (grün) und B (blau) sowie entsprechende Bedingungsunterschiede B - A (orange-farbene Balken)

rein lexikalischer Unterschiede zu EKP-Effekten ausgeschlossen werden (vgl. entsprechende N400- und P600-Effekte in Abschnitt 5.3.2.1).<sup>10</sup>

⇒ Insgesamt bestätigen die Dauer-Analysen klar die Annahme unterschiedlicher phonologischer Phrasierungen, mit einer zusätzlichen Phrasengrenze in Bedingung B.

#### 4.2.2 Grundfrequenzverläufe

Analysen der Grundfrequenz (F0) wurden in Form eines sogenannten 'Pitch-Trackings' durchgeführt (WinPitch Version 1.8 Software; Pitch Instruments Inc.). Wie in Tabelle 4-2 zusammengefaßt, wurden die wichtigsten Tonhöhenminima und -maxima bezüglich ihres Frequenzwertes (in Hz) und ihrer Latenz (in ms) gemessen. Diese Daten gingen außerdem in Abbildung 4.2 ein. Grundfrequenzwerte in den ersten drei Zeilen der Tabelle 4-2 charakterisieren das erste Satzfragment (*Peter verspricht*); Zeilen 4 bis 6 beziehen sich auf die zweite NP (*Anna*); Zeilen 7 und 8 betreffen das zweite Verb (*arbeiten* vs. *entlasten*); und die

Tabelle 4-2: F0-Extrema (in Hz) und ihre Latenzen (in ms) für Bedingungen A und B

| Position |  | F0-Wert [Hz] |              |       | Latenz [ms] |        |
|----------|--|--------------|--------------|-------|-------------|--------|
|          |  | Bed. A       | Bed. B       | p     | Bed. A      | Bed. B |
| 1        | Satz-Onset                                   | 245.5        | 250.2        | .21   | 139.5       | 149.2  |
| 2        | Erstes F0-Maximum (nach 1)                   | 291.6        | 268.7        | .0001 | 307.2       | 521.0  |
| 3        | Erstes F0-Minimum (nach 2)                   | 187.1        | 196.5        | .05   | 582.8       | 812.0  |
| 4        | NP2-Onset                                    | 189.3        | <b>227.8</b> | .0001 | 856.4       | 1384.7 |
| 5        | F0-Maximum innerhalb NP2 (nach 4)            | 204.7        | <b>256.0</b> | .0001 | 1017.8      | 1545.3 |
| 6        | NP2- Offset                                  | 202.9        | <b>252.0</b> | .0001 | 1139.2      | 1654.3 |
| 7        | Onset von Verb2                              | <b>230.8</b> | 205.3        | .01   | 1494.0      | 1972.0 |
| 8        | F0-Maximum innerhalb Verb2                   | <b>207.2</b> | 223.2        | .03   | 1819.5      | 2295.0 |
| 9        | F0-Maximum nach Onset des letzten Teilsatzes | 238.2        | 232.8        | .3    | 2347.3      | 2724.3 |
| 10       | F0-Minimum nach Onset des letzten Teilsatzes | 199.3        | 208.3        | .2    | 2629.2      | 3050.2 |
| 11       | Satz-Offset                                  | 243.6        | 247.5        | .5    | 3448.7      | 3905.3 |

<sup>10</sup> Ein weiterer Aspekt, der im Kontext mit den lokalen EKP-Effekten nochmals aufgegriffen werden muß, betrifft die erhebliche Variabilität der Fragmentdauern innerhalb jeder Bedingung. Es muß betont werden, daß die Satzlängen der Bedingungen A und B Standardabweichungen von 219 bzw 217 ms aufwiesen. Die Onset-Latenzen des zweiten Verbs in Fragment 6 variierte in Bedingung A zwischen 1138 und 1610 ms, und in Bedingung B zwischen 1508 und 2165 ms, d.h. in Intervallbreiten von ca. 500 ms.

letzten drei Werte wurden im letzten Teilsatz (*und das Büro zu putzen*) gemessen. Die p-Werte beziehen sich auf die jeweiligen Vergleiche zwischen Bedingungen A und B.<sup>11</sup> Wie Tabelle 4-2 zeigt, wurden die höchsten Grundfrequenzwerte innerhalb des kritischen Intervalls (d.h. zwischen NP2-Onset und Verb2-Offset) in Bedingung B auf der NP2 und in Bedingung A auf dem Verb2 gefunden (grau gerasterte Werte). Dieses Muster bestätigt bereits einen Hauptakzent auf NP2 in B und auf dem Verb2 in A.

Darüber hinaus findet sich in Bedingung B ein generell höherer Grundfrequenzverlauf als in A. Zuletzt sei darauf hingewiesen, daß sich die absoluten F0-Maxima infolge der erheblichen Latenzvariabilität innerhalb jeder Bedingung sowie infolge des Wechsels der akzentragenden Silbe insgesamt über verschiedene Meßpunkte verteilen (d.h. über Zeilen 4-6 für NP2 und über Zeilen 7-8 für das zweite Verb). Aus diesem Grund wurde in einer zusätzlichen Analyse das absolute Maximum pro Satz separat für die NP2 (Maximalwert der Zeilen 4-6) und das Verb2 (Maximalwert der Zeilen 7 und 8) ermittelt. Die entsprechenden Ergebnisse finden sich in Tabelle 4-3:

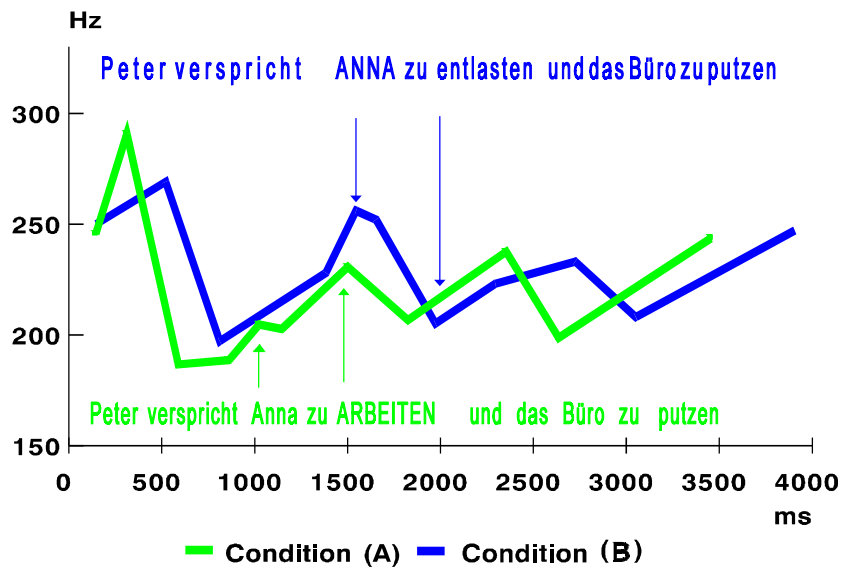
Tabelle 4-3: Absolute F0-Maxima für NP2 und Verb2 in Bedingungen A und B

| Position |  | F0-Wert [Hz] |              | p     |
|----------|--|--------------|--------------|-------|
|          |  | Bed. A       | Bed. B       |       |
| 1        | Abs. F0-Maximum innerhalb NP2 ( <i>Anna</i> )                | 213.5        | <b>262.4</b> | .0001 |
| 2        | Abs. F0-Max. innerhalb Verb2 ( <i>arbeiten / entlasten</i> ) | <b>249.6</b> | 234.1        | .05   |

Eine ANOVA mit den Faktoren *Bedingung* (A vs. B) und *Fragment* (NP2 vs. Verb2) ergab einen Haupteffekt *Bedingung*, der die höhere Grundfrequenz in Bedingung B anzeigte ( $F(1,47)=13.06$ ;  $p<0.0007$ ), sowie eine hochsignifikante Interaktion *Bedingung x Fragment* ( $F(1,47)=57.29$ ;  $p<0.0001$ ). In Bedingung A war der Tonhöhenakzent auf dem Verb höher als auf der NP2 ( $F(1,47)=27.05$ ;  $p<0.0001$ ), während das umgekehrte Muster für Bedingung B zutraf ( $F(1,47)=29.53$ ;  $p<0.0001$ ).

<sup>11</sup> Es ist außerdem erwähnenswert, daß mit Ausnahme der Latenzen in der ersten Zeile (=Satzbeginn) sämtliche Latenzvergleiche zwischen A und B in Tabelle 4.2 ein Signifikanzniveau von .0001 erreichten und damit die oben dargestellten Befunde des Dauerparameters bestätigten.





**Abbildung 4.2:** Grundfrequenzverläufe (F0) in den Satzbedingungen A (grün) und B (blau).

⇒ Wie erwartet, unterstützen die Analysen eindeutig die Annahme unterschiedlicher Akzentpositionen, nämlich auf Verb2 in Bedingung A und auf der NP2 in Bedingung B.<sup>12</sup>

### 4.2.3 Signalintensität (Lautstärkeverlauf)

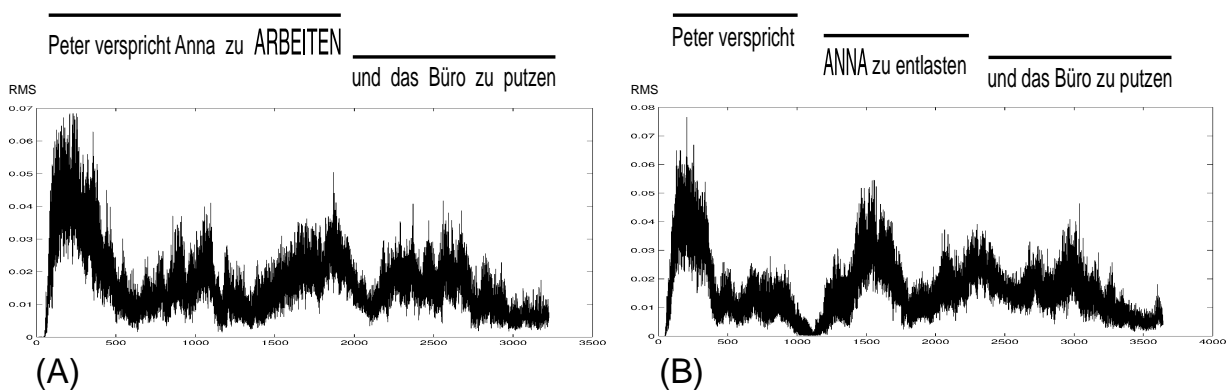
Neben den Fragmentlängen und dem F0-Verlauf wurde mit der Signalintensität außerdem ein häufig vernachlässigter prosodie-relevanter akustischer Parameter untersucht. Um die Lautstärke zu quantifizieren, wurden mittels eines Programmscripts in MATLAB (Version 5.2) pro Meßpunkt die Amplitudenwerte des Sprachsignals ermittelt und anschließend quadriert.<sup>13</sup> Der nächste Schritt war die Bestimmung des lokalen Lautstärkemaximums und ähnelte daher grundsätzlich den Analysen der F0-Extrema (vgl. Abschnitt 5.1.2). Durch Mittelung über Zeitfenster unterschiedlicher Breite kamen verschiedene Arten der Datenreduktion zur

<sup>12</sup> Deutsch ist ebenso wie Englisch eine sogenannte 'Intonationssprache'. Das heißt, daß Satzakkente typischerweise über Grundfrequenzmodulationen realisiert werden.

<sup>13</sup> Als Folge dieser Prozedur handelt es sich bei den Intensitätswerten um relative Einheiten ohne korrespondierende physikalische Dimension.

Anwendung. In Abhängigkeit von der Fensterbreite (1 ms bis 100 ms) ersetzte diese Prozedur die ursprüngliche Abtastrate von 44.1 kHz durch tiefpaßgefilterte 'virtuelle Abtastraten' von 1000, 100, 20 und 10 Hz. Eine Reduktion der Abtastrate vermindert das Risiko, zufällige Maxima (Ausreißer) zu detektieren, während eine zu langsame Abtastrate das Risiko erhöht, tatsächliche Maxima zu übersehen. Da sich alle wesentlichen Effekte unabhängig von der Fensterbreite als robust erwiesen, werden nachfolgend lediglich die 10 ms - Zeitfensteranalysen (virtuelle Abtastrate = 100 Hz) dargestellt (vgl. Abb. 4.3).

Die Zeitfunktionen der Signalintensität ähneln in mancher Hinsicht denen der oben beschriebenen Grundfrequenzverläufe: Nach einem satzinitialen Maximum innerhalb der ersten 500 ms erreichen beide Bedingungen ihre höchsten Werte zwischen 1300 und 2000 ms, d.h. in der zeitlichen Domäne der NP2 (Bedingung B) bzw. des zweiten Verbs (Bedingung A). In Bedingung B geht diesem Maximum ein Minimum nahe Null Hertz voraus (etwa bei 1100 ms), welches die Pause nach Verb1 widerspiegelt. Außerdem weist Bedingung B - mit Ausnahme des satzinitialen Anstiegs - wiederum insgesamt höhere Werte auf. Für jedes Sprachsignal wurden individuelle Lautstärkemaxima separat für die NP2 und Verb2 ermittelt, deren Mittelwerte (Amplitude und Latenz) pro Bedingung` in Tabelle 4-4 zusammengefaßt sind.



**Abbildung 4.3:** Signalintensität der Satzbedingungen A (links) und B (rechts). In A findet sich der Satzakkzent auf dem zweiten Verb (*arbeiten*), in B hingegen auf der zweiten Nominalphrase (*Anna*). Beide Positionen korrespondieren mit einem Anstieg der Signalintensität. Die Satzbeispiele sind entsprechend ihrer Intonationsphasierung dargestellt.

Tabelle 4-4: Gemittelte Lautstärkemaxima für NP2 und Verb2 in Bedingungen A und B

| Bedingung | Fragment                   | Interval [ms] | Amplitude d. Maximums | Latenz des Max. [ms] |
|-----------|----------------------------|---------------|-----------------------|----------------------|
| A         | NP2 ( <i>Anna</i> )        | 805 - 1161    | 1.074                 | 980                  |
| A         | Verb2 ( <i>ARBEITEN</i> )  | 1358 - 2161   | <b>1.204</b>          | 1755                 |
| B         | NP2 ( <i>ANNA</i> )        | 1334 - 1678   | <b>1.693</b>          | 1516                 |
| B         | Verb2 ( <i>entlasten</i> ) | 1856 - 2573   | 1.082                 | 2218                 |

Ähnlich wie bei der Grundfrequenz liegen die Hauptakzente in der Lautstärkefunktion für Bedingung A auf Verb2 und für Bedingung B auf der NP2. Eine ANOVA mit den Faktoren *Bedingung x Fragment* bestätigte diese Beobachtung statistisch. Die Interaktion *Bedingung x Fragment* war hochsignifikant ( $F(1,47)=39.26$ ;  $p<0.0001$ ). In Bedingung B lag das Maximum der NP2 höher als jenes auf Verb2 ( $F(1,47)=41.36$ ;  $p<.0001$ ), während in Bedingung A tendenziell wiederum das umgekehrte Muster galt ( $F(1,47)=2.71$ ;  $p<0.1$ ).

⇒ Zusammenfassend läßt sich feststellen, daß sowohl Grundfrequenzverlauf als auch die Signalintensität in identischer Weise die erwarteten Unterschiede zwischen A und B bezüglich der Akzentpositionen offenlegten. Dieser Befund steht in völliger Übereinstimmung mit den Voraussagen der Theorien zum Syntax-Prosody-Mapping (Jacobs, 1993; Reyelt et al., 1996). Insgesamt fielen die Differenzen im Grundfrequenzverlauf deutlicher aus als bei der Signalintensität. Durch die präfinale Dehnung des Verbs *verspricht* und die Pauseninsertion in Bedingung B (vgl. Abschnitt 4.2.1) treten die Akzentpositionen in A (1755 ms) und B (1516 ms) nahezu zeitgleich auf, obwohl auf sie an verschiedenen Wortpositionen im Satz lokalisiert sind (auf Verb 2 in A, auf NP2 in B).

#### 4.2.4 Diskussion

Die akustischen Analysen der von der trainierten Sprecherin produzierten Sprachsignale lieferten eine vollständige Bestätigung der erwarteten prosodischen Differenzen. Sowohl die Unterschiede in der Satzakkzentposition als auch die unterschiedliche Anzahl von Intonationsphrasen konnten jeweils über mehrere akustische Parameter nachgewiesen werden.

Die syntaktischen Unterschiede in der Satzstruktur zwischen den Bedingungen A und B wurden von der trainierten Sprecherin prosodisch offenbar exakt so kodiert, wie dies theoretisch zu erwarten war. Ein entscheidender Befund ist, daß die prosodischen Strukturdifferenzen im Sprachsignal wesentlich früher auftreten als das lexikalisch disambiguierende zweite Verb. Damit ist das Satzmaterial für die Perzeptionsexperimente geeignet.

### **4.3 Produktionsdaten anderer Sprecher**

Um die Generalisierbarkeit der Daten zu überprüfen, wurden zwischenzeitlich außerdem Produktionsexperimente mit untrainierten Sprechern durchgeführt (Alter, Steinhauer & Friederici, 1998; Schirmer, 1999). Obwohl die untrainierten Sprecher meist nicht die gleiche Fülle prosodischer Parameter zur Disambiguierung einsetzen wie die trainierte Sprecherin, fanden sich dennoch für jeden normalgesunden Probanden systematische und signifikante Bedingungsunterschiede der beschriebenen Art. Hierbei erwiesen sich bei der Markierung der zusätzlichen ersten Phrasengrenze in Bedingung B interindividuell vor allem Dauerparameter, und hier in erster Linie die Pauseninsertion als besonders reliabel (Alter et al., 1998). Ähnliche Befunde wurden auch in einer englischsprachigen Produktionsstudie berichtet (Schafer & Speer, 1999). Diese Datenkonvergenz steht in völligem Widerspruch zur Studie von Allbritton et al. (1996), der zufolge Sprecher Prosodie angeblich nur ausnahmsweise zur syntaktischen Disambiguierung einsetzen. Die akustischen Messungen für das in dieser Arbeit verwendete Sprachmaterial untermauern vielmehr die Auffassung, daß Sprecher strukturelle Syntaxdifferenzen regelhaft in einer prediktierbaren und phonologisch beschreibbaren Weise prosodisch abbilden, wobei sie sich jedoch in der Wahl der Parameter individuell unterscheiden.

Die folgenden Perzeptionsexperimente sollen darüber Aufschluß geben, ob diese früh verfügbare Information auf Hörerseite umgekehrt zur sofortigen Erstellung der korrekten Satzanalyse – und damit zur Vermeidung initialer Mißverständnisse – verwendet wird.

## 5 Experimente 1 und 2: *Wird die syntaktische Satzanalyse durch Prosodie gesteuert, und gibt es hierfür Korrelate im EKP?*

**Zusammenfassung:** Die ersten beiden EKP-Experimente zeigen, wie die vom Sprecher realisierte prosodische Information umgekehrt auf Hörerseite sofort genutzt wird, um die korrekte syntaktische Analyse zu erlangen. Ferner wird erstmalig eine N400-P600 Sequenz als Korrelat eines prosodie-bedingten Gardenpath-Effekts vorgestellt sowie mit dem 'Closure Positive Shift' eine neu entdeckte EKP-Komponente beschrieben, welche die dem Gardenpath-Effekt zugrundeliegende prosodische Phrasierung online reflektiert.

### 5.1 Fragestellungen und Hypothesen

Die akustischen Signalanalysen hatten belegt, daß die Satzstrukturen A und B sich bereits sehr früh auf den ersten Satzfragmenten in ihrer prosodischen Realisierung unterscheiden. Damit geht die *prosodische* Disambiguierung der *lexikalischen* Disambiguierung (*arbeiten* vs. *entlasten*) zeitlich eindeutig voraus. Die nachfolgend dargestellten EKP-Experimente sollten Aufschluß darüber geben, ob diese prosodische Information vom Hörer unmittelbar dekodiert und für die syntaktische Satzanalyse verwendet wird. Die Hypothese war, daß insbesondere die vom Sprecher produzierten prosodischen Grenzen zwischen Intonationsphrasen (IPh) die Segmentierung des sprachlichen Inputs im Hörer steuern und unmittelbare Kontrolle über dessen syntaktische Strukturierung haben. In Bedingung B sollte die zusätzliche prosodische Phrasengrenze zwischen Verb1 *verspricht* und der NP2 *Anna* von vornherein die sonst präferierte syntaktische Anbindung ans vorhergehende Verb (Late Closure, Minimal Attachment) verhindern und eine sofortige (hier korrekte) Anbindung ans zweite Verb einleiten. In Bedingung B sollten daher – anders als in rein lexikalisch disambiguierten Lesestudien – für das transitive Verb2 auch keine Verarbeitungsprobleme (Gardenpatheffekte) mehr auftreten.

(A) [Peter verspricht Anna zu ARBEITEN]<sub>IPh1</sub> [und das Büro zu putzen]<sub>IPh2</sub>

(B) [Peter verspricht]<sub>IPh1</sub> # [ANNA zu entlasten]<sub>IPh2</sub> [und das Büro zu putzen]<sub>IPh3</sub>

(C\*) [Peter verspricht]<sub>IPh1</sub> # [ANNA zu arbeiten]<sub>IPh2</sub> [und das Büro zu putzen]<sub>IPh3</sub>

Falls die prosodische Information zur sofortigen Anpassung der Satzverarbeitung führt, wäre dagegen aus den gleichen Gründen für die Mismatch-Bedingung C auf dem zweiten Verb ein *reverser Gardenpath* zu erwarten: Die Phrasengrenze nach *verspricht* sollte hier wiederum eine initiale NP-Anbindung an das zweite Verb bewirken, das infolge seiner *intransitiven* Argumentstruktur jedoch keine Objekt-NP anbinden kann (*\*jemanden arbeiten*). Der erwartete Gardenpath-Effekt kann als *revers* charakterisiert werden, da er den klassischen Verarbeitungspräferenzen gerade zuwiderläuft: Durch die erwartete prosodisch getriebene Anbindung von *Anna* an das zweite Verb (Non!-Minimal Attachment bzw. Early! Closure) erfordert in Bedingung C gerade diejenige Struktur, die bislang stets als wesentlich einfacher angenommen wurde (Minimal Attachment + Late Closure), eine Reanalyse.

Erstmalig sollten diese prosodisch induzierten Verarbeitungsprozesse *online* mit EKPs erfaßt werden. Für die Mismatch-Bedingung wurden Korrelate für eine Verbargumentstruktur-Verletzung auf Verb2 erwartet. Eine weitere Fragestellung war, ob sich im EKP auch Korrelate für die eigentliche prosodische Verarbeitung nachweisen lassen würden. Hierzu lagen bislang keine publizierten Experimente vor.

Sowohl in Experiment 1 als auch in Experiment 2 wurde dasselbe Stimulusmaterial dargeboten. Die Experimente unterschieden sich lediglich bezüglich der Aufgabenstellung. Im ersten Experiment sollten die Probanden lediglich in 20 % der Sätze einfache Verständnisfragen des Typs "*Verspricht Anna, das Büro zu putzen?*" beantworten. Diese relativ einfache Aufgabenstellung schien am besten mit einer natürlichen Satzverarbeitung vereinbar und greift damit eine frühere Kritik an unnatürlich hohen Belastungen der Probanden und die damit verbundene Strategiefähigkeit auf (vgl. Watt & Murray; 1996). Andererseits erlauben die behavioralen Daten noch immer eine Kontrolle der aufmerksamen Satzverarbeitung durch die Versuchspersonen. In Experiment 2 war zusätzlich zu dieser Verständnisaufgabe unmittelbar nach *jedem* Satz zu beurteilen, ob die Prosodie des Satzes korrekt war. Dieser zweite Aufgabentyp diente dazu, die im ersten Experiment gefundenen Effekte auf ihre Robustheit bei

verschiedenen Aufgabenstellungen hin zu untersuchen und sollte außerdem Aufschluß darüber geben, ob der intendierte Mismatch zwischen prosodischer und morphosyntaktischer Information in Bedingung C verlässlich als solcher wahrgenommen wurde. Obwohl Experiment 2 erst nach Auswertung von Experiment 1 durchgeführt wurde und in erster Linie einer hypothesengeleiteten Replikation der gefundenen Effekte diente, werden beide Experimente in diesem Kapitel gemeinsam und parallel zueinander vorgestellt. Diese Entscheidung wurde durch drei Überlegungen motiviert. Erstens ermöglicht die direkte Gegenüberstellung einen unmittelbaren Vergleich, insbesondere in Bezug auf die Grafiken der EKP-Verläufe. Zweitens schlossen die entscheidenden kontrastierenden Varianzanalysen naturgemäß beide Experimente ein. Drittens wurden aufgrund der einheitlichen Befunde einige zusätzliche Analysen möglich, die zur Absicherung des Signal-Rausch-Verhältnisses von vornherein eine Zusammenfassung beider Probandengruppen voraussetzten.

Eine Konsequenz dieser parallelen Darstellung ist, daß die nachfolgend aufgeführten Hypothesen zum zweiten Experiment zunächst unspezifischer formuliert werden als dies bei Durchführung (dank der Befunde aus Experiment 1) bereits möglich war.

### **Hypothesen:**

1. Es wurde angenommen, daß Bedingungen A und B infolge frühzeitiger prosodischer Disambiguierung gleichermaßen leicht zu verarbeiten sein würden, während Bedingung C einen starken **reversen Gardenpath-Effekt** auslösen sollte.
2. Für die **prosodische Beurteilung** in Experiment 2 wurde daher eine hohe Akzeptanz für A und B sowie eine geringe Akzeptanz für C erwartet (**A=B>C**).
3. In beiden Experimenten sollte sich der Gardenpath-Effekt der Bedingung C außerdem in erhöhten **Fehlerraten** bei Beantwortung der Verständnisfragen niederschlagen, während A und B aufgrund der prosodischen Disambiguierung gleich einfach sein sollten (**C>A=B**).

4. Da der dem Gardenpath-Effekt zugrundeliegende Verstoß in einer Verletzung der intransitiven Argumentstruktur von Verb2 bestand und ähnliche Verletzungen in Leseexperimenten zu einer **N400-P600-Abfolge von EKP-Komponenten** geführt hatten, war ein entsprechendes biphasisches Muster im EKP (größere N400- und P600-Amplituden) auch **für Verb2** in Bedingung C zu erwarten (**C>A=B**).
5. Auf Basis der Befunde von Hahne (2000) wurde erwartet, daß diese N400-P600-Sequenz durch die Aufgabenstellung moduliert werden würde: Die eher semantische Verständnisfrage in Experiment 1 sollte den N400-Effekt verstärken, die eher syntaktische Prosodiebeurteilungsaufgabe dagegen zu einer prominenteren P600 führen (**N400: Exp1>Exp2; P600: Exp2>Exp1**).
6. Sofern **prosodische Verarbeitung per se im EKP** reflektiert wird, sollten die prosodisch gleichen Bedingungen B und C einen ähnlichen Verlauf aufweisen und sich im Bereich der Intonationsphrasengrenze nach Verb1 (aber noch *vor* dem disambiguierenden Verb2) signifikant von Bedingung A unterscheiden (**A≠B=C**). Es wurde erwartet, daß entsprechende Befunde aus Experiment 1 durch das zweite Experiment repliziert würden.

## 5.2 Methoden

An beiden Experimenten nahmen jeweils 20 Probanden teil. Jedes Experiment bestand aus zwei Sitzungen, in denen jeweils 4 Experimentalblöcke à 36 Trials präsentiert wurden. Die Satzdarbietung erfolgte auditiv gemäß dem Präsentationsschema in Abbildung 3.1. In Experiment 1 war lediglich die Verständnisaufgabe zu bearbeiten, in Experiment 2 sollten zusätzlich prosodische Beurteilungen gegeben werden. Details zur EKP-Auswertung erfolgen im Ergebnisteil.



## 5.3 Ergebnisse

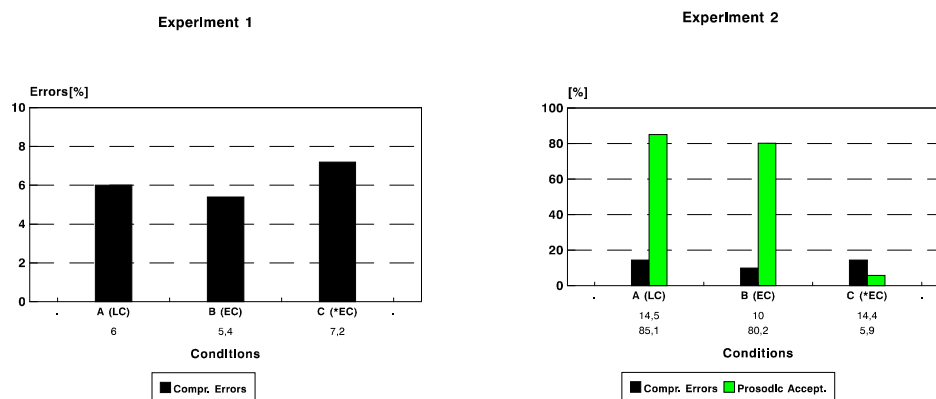
### 5.3.1 Behaviorale Daten

#### 5.3.1.1 Verständnisfragen

Die Fehlerraten bei Beantwortung der Verständnisfragen sind für Experiment 1 in Abbildung 5.1a und für Experiment 2 in Abbildung 5.1b dargestellt (schwarze Balken). In Experiment 1 liegen sie mit durchschnittlich 6.2% sehr niedrig und steigen in Experiment 2 infolge der zusätzlichen Aufgabe signifikant auf etwa 13% an ( $p < .005$ ). Erwartungsgemäß gibt es keine Anzeichen für einen Gardenpath-Effekt in B. Im Gegensatz zur dritten Hypothese finden sich in beiden Experimenten aber auch keine signifikant erhöhten Fehlerraten für die Mismatch-Bedingung C (jeweils  $F < 1$ ). Das Ausbleiben des erwarteten Effektes läßt entweder (1.) darauf schließen, daß der prosodische Verstoß in C keinerlei Einfluß auf die Satzverarbeitung hatte, oder aber (2.) darauf, daß die Probanden in der Lage waren, die Verletzung rechtzeitig mental zu korrigieren, bevor die Verständnisfrage eine Sekunde nach Satzende präsentiert wurde.

#### 5.3.1.2 Prosodische Beurteilung

Die grauen Balken in Abbildung 5.1b zeigen die prosodischen Akzeptabilitätsraten pro Bedingung in Experiment 2. In Übereinstimmung mit Hypothese 2 wurden die Bedingungen A und B mit 85,1 % bzw. 80,2 % gleichermaßen gut akzeptiert ( $F(1,19)=1.55$ ;  $p > .2$ ), während Bedingung C nur in 5.9% der Trials als prosodisch akzeptabel beurteilt wurde und sich damit



**Abbildung 5.1:** Performanzdaten in Experiment 1 (links) und Experiment 2 (rechts). Verständnisfehler (schwarze Balken) und Prosodische Akzeptabilität (graue Balken) der Bedingungen A, B und C. Die Fehlerraten der Verständnisfragen unterscheiden sich nicht bedingungsabhängig. Die geringe Akzeptanz von (C) in Experiment 2 weicht hoch signifikant von den untereinander gleich hoch akzeptierten Bedingungen (A) und (B) ab.

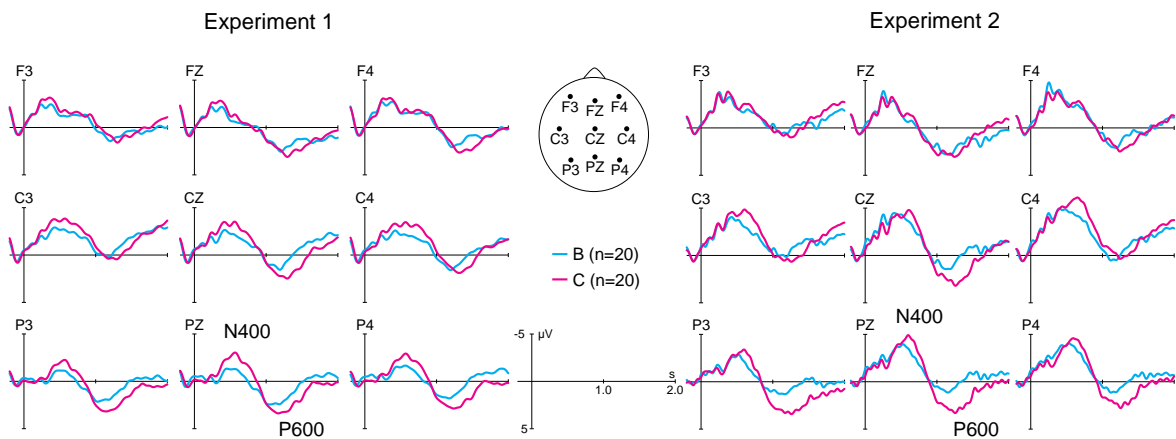
hochsignifikant von A ( $F(1,19)=334.18$ ;  $p<.0001$ ) wie von B ( $F(1,19)=388.06$ ;  $p<.0001$ ) unterschied. Die Daten belegen, daß der Mismatch zwischen Prosodie und Syntax in Bedingung C von den Probanden verlässlich als solcher detektiert wurde. Dieser Befund schließt die Möglichkeit aus, daß Prosodie keine Rolle bei der Satzverarbeitung gespielt hat und untermauert zugleich die Annahme, daß das oben erwähnte Ausbleiben von zusätzlichen Verständnisfehlern in Bedingung C die Folge einer relativ schnell ausgeführten Korrektur der initialen Satzanalyse war.

Wie die nächsten Abschnitte zeigen werden, erhält diese Interpretation starke Unterstützung durch die EKP-Daten: Die prosodische Verarbeitung wird von einer Positivierung im EKP reflektiert, während eine N400-P600-Sequenz die Detektion und die Reparatur der Syntax-Prosodie-Inkongruenz in Bedingung C widerspiegelt.

### 5.3.2 EKP-Daten

#### 5.3.2.1 *Der Gardenpath in Bedingung C: N400 und P600*

Im Hinblick auf die ereignis-korrelierten Hirnpotentiale war für die Verb2-Verarbeitung ein biphasisches N400-P600-Muster in der Gardenpath-Bedingung C relativ zu den beiden anderen Bedingungen vorausgesagt worden (Hypothese 4). Da nur in Bedingungen B und C, nicht aber in A, unmittelbar vor diesem Verb eine prosodische Grenze auftrat, deren Verarbeitung den Basislinienbereich der EKP-Auswertung des Verbs beeinflusste (s.u. Abschnitt 5.3.2.2), ist ein Direktvergleich nur zwischen Bedingungen B und C möglich: Das EKP der Bedingung A wich schon vor dem Verb zu sehr von Bedingung C ab. Der Direktvergleich für Verb2 zwischen den Bedingungen B und C ist in Abbildung 5.2a+b getrennt für beide Experimente dargestellt. Die Grafiken zeigen an 9 repräsentativen Elektrodenpositionen das Zeitfenster von -200 ms bis +2000 ms relativ zum Onset des Infinitivmarkers 'zu' (vertikale Linie), wobei die ersten 200 ms als Basislinie dienten. Die EKPs basieren auf den kurzen Zeitepochen der zweiten Verbalphrase, d.h. der zeitliche Nullpunkt ist direkt an den jeweiligen Onset des Infinitivmarkers 'zu' gebunden. Dadurch werden die Latenzvariabilitäten innerhalb der 48 Sätze vollständig ausgeglichen. Wie in allen EKP-Plots sind negative Potentiale nach oben abgetragen.



**Abbildung 5.2:** EKGs des zweiten Verbs in Bedingungen B (blau) und C (rot) in beiden Experimenten. **(a)** In Experiment 1 (N=20) ist die Mismatch-Bedingung C durch ein biphasisches N400-P600 Muster gekennzeichnet. **(b)** In Experiment 2 (N=20) findet sich dasselbe Muster.

Sowohl im Bereich der Basislinie als auch in den nachfolgenden 300 ms liegen die EKGs der beiden Bedingungen praktisch aufeinander. Anschließend ist deutlich zu erkennen, daß der EKG-Verlauf in Bedingung C etwa zwischen 400 und 1000 ms zunächst negativ von demjenigen in Bedingung B abweicht, während sich zwischen 1000 und 1800 ms eine positive Differenz findet. Dieses biphasische Muster läßt sich grundsätzlich sowohl für Experiment 1 (Abb. 5.2a) wie auch für Experiment 2 (Abb. 5.2b) beobachten und entspricht exakt dem erwarteten Verlauf (Hypothese 4).

Die zuerst auftretende negative Amplitudenzunahme in C entspricht einer N400-Komponente, die darauffolgende Positivierung einer P600. Typisch für beide Komponenten ist ihre Dominanz an centro-parietalen Ableitorten, während die Kurvendifferenzen frontal nur tendenziell auftreten. Beide Komponenten weisen außerdem eine etwa bilateral-symmetrische Verteilung auf. Weiterhin scheint der visuelle Eindruck in Einklang mit der fünften Hypothese, wonach in Experiment 1 (semantische Verständnisfrage) der N400-Effekt stärker, in Experiment 2 (Prosodieurteil) dagegen der P600-Effekt stärker ausfallen sollte.

Zur statistischen Prüfung der Hypothesen 4 und 5 waren drei verschiedene Aspekte zu untersuchen:

1. Es war zu zeigen, daß beide Komponenten in Bedingung C eine signifikant größere Amplitude aufwiesen als in B.
2. Da die beiden Bedingungen an der kritischen Position notwendigerweise unterschiedliche lexikalische Elemente enthielten (nämlich transitive Verben wie 'entlasten' in B versus intransitive Verben wie 'arbeiten' in C), mußten diese rein lexikalischen Differenzen als Ursache der EKP-Effekte ausgeschlossen werden. Das heißt, es mußte gezeigt werden, daß die erhöhten Amplituden in C auf die *inkompatible prosodische Umgebung* des intransitiven Verbs zurückzuführen war und nicht auf das intransitive Verb als solches.
3. Schließlich war zu überprüfen, ob das evozierte N400-P600-Muster sich in Abhängigkeit von der Aufgabenstellung zwischen Experiment 1 und 2 unterschied.

Während der erste und dritte Punkt durch Vergleiche von Amplitudenmittelwerten in entsprechenden Zeitbereichen getestet werden konnten, erforderte der zweite Aspekt basislinien-unabhängige 'peak-to-peak'-Messungen (s.u.).

#### *Amplitudenmittelwerte für N400 und P600*

Die erste Methode zur Quantifizierung der beiden Komponenten griff direkt auf diejenigen Daten zu, die Abbildung 5.2a+b zugrundeliegen. Sowohl für Bedingung B als auch für Bedingung C wurden Amplitudenmittelwerte in 8 aufeinanderfolgenden 200 ms - Zeitfenstern zwischen 200 und 1800 ms nach Onset des zweiten Verbs berechnet. Diese Amplitudenmittel wurden dann separat für jedes Zeitfenster zwischen den beiden Bedingungen verglichen.

Um Einflüsse der verschiedenen Aufgabenstellungen erfassen zu können, enthielten die entsprechenden ANOVA-Designs neben den 'within-subject'-Faktoren Bedingung (B versus C) und Elektrodenposition zusätzlich den 'between-subject'-Faktor Aufgabenstellung (Experiment 1 versus 2). Die Ergebnisse sind in den Tabellen 5-1 (für die Mittellinie) bzw. 5-2 (für laterale Elektroden) zusammengefaßt.

**Tabelle 5-1: N400- und P600-Amplitudeneffekte per 200 ms Zeitfenster an den Mittellinienelektroden.** Bed.: Bedingung; Elek: Elektrodenposition; EKP-Muster X<Y: Amplituden in Bedingung X sind negativer als diejenigen in Bedingung Y.

| Zeitfenster [ms] | Effekt      | F-Wert      |      | p-Wert | EKP Muster |       |
|------------------|-------------|-------------|------|--------|------------|-------|
|                  |             | 1,38        | 2,76 |        |            |       |
| 1                | 200 - 400   | Bed.        | 3.63 | .0644  | C < B      |       |
| 2                | 400 - 600   | Bed.        | 3.53 | .0679  | C < B      |       |
| 3                | 600 - 800   | Bed. x Elek |      | 6.67   | .0072      | C < B |
| 4                | 800 - 1000  | ---         | ---  | ---    | ---        |       |
| 5                | 1000 - 1200 | ---         | ---  | ---    | ---        |       |
| 6                | 1200 - 1400 | Bed.        | 9.66 | .0036  | C > B      |       |
|                  |             | Bed. x Elek |      | 4.61   | .0216      |       |
| 7                | 1400 - 1600 | Bed.        | 9.34 | .0041  | C > B      |       |
|                  |             | Bed. x Elek |      | 4.91   | .0189      |       |
| 8                | 1600 - 1800 | Bed. x Elek |      | 5.40   | .0127      | C > B |

**Tabelle 5-2: Amplitudeneffekte per 200 ms Zeitfenster an lateralen Elektroden.** X<Y: Amplituden in Bedingung X sind negativer als diejenigen in Bedingung Y.

| Zeitfenster [ms] | Effekt      | F-Wert      |      | p-Wert | EKP Muster |       |
|------------------|-------------|-------------|------|--------|------------|-------|
|                  |             | 1,38        | 2,76 |        |            |       |
| 1                | 200 - 400   | ---         | ---  | ---    | ---        |       |
| 2                | 400 - 600   | Bed. x Elek |      | 3.82   | .0331      | C < B |
| 3                | 600 - 800   | Bed.        | 4.95 | .0321  | C < B      |       |
|                  |             | Bed. x Elek |      | 6.67   | .0072      |       |
| 4                | 800 - 1000  | Bed. x Elek |      | 4.34   | .0169      | C < B |
| 5                | 1000 - 1200 | Bed. x Elek |      | 4.90   | .0126      |       |
| 6                | 1200 - 1400 | Bed.        | 5.23 | .0279  | C > B      |       |
| 7                | 1400 - 1600 | Bed.        | 4.27 | .0456  | C > B      |       |
| 8                | 1600 - 1800 | Bed. x Elek |      | 3.07   | .0520      | C > B |

Die Analysen sowohl der Mittellinie als auch der lateralen Elektroden ergeben nahezu dasselbe Muster. Zwischen 400 und 1000 ms liegt Bedingung (C) signifikant negativer als die korrekte Bedingung (B). Diese Differenz reflektiert die N400-Komponente, hervorgerufen durch das inkompatible intransitive Verb2 in (C). Zwischen 1200 und 1800 ms wird das umgekehrte Muster des P600-Effekts signifikant, d.h. Bedingung (C) weist positivere Amplituden auf als (B). An der Mittellinie finden sich beide Effekte maximal an posterioren Elektroden. Lateral tritt die N400 besonders deutlich an zentralen Elektroden auf, während die P600 einen posterioren Fokus aufweist. Frontale Elektroden zeigen keinen dieser Effekte. Es wurden keinerlei Haupteffekte oder Interaktionen mit dem Faktor Aufgabenstellung gefunden, d.h. beide Effekte traten gleichermaßen in beiden Experimenten auf.

⇒ Das biphasische N400-P600 Muster, hervorgerufen durch das intransitive Verb in der Mismatch-Bedingung (C) steht in Übereinstimmung mit früheren Studien zu Verletzungen der Verbargumentstruktur und war auf Basis visueller EKP-Studien vorausgesagt worden (Hypothese 4). Die Latenz der beiden Komponenten ist vergleichbar mit den Befunden anderer auditorischer Experimente zur natürlichen Sprachverarbeitung. Sowohl der N400- als auch der P600-Effekt erwiesen sich als über beide Experimente hinweg robust und damit als weitgehend aufgabenunabhängig. Dieser Befund steht im Gegensatz zu den aufgabenabhängigen N400- und P600-Effekten, die von Hahne (2000) berichtet wurden.

#### *Test lexikalischer Einflüsse: 'Peak-to-peak'-Analysen*

Wie bereits erwähnt, könnten die N400- und P600-Differenzen zwischen Bedingungen (B) und (C) prinzipiell auf lexikalische Unterschiede der Verben (*arbeiten/entlasten*) zurückzuführen sein. Diese alternative Erklärung könnte zum Beispiel mit Differenzen der Verbargumentstruktur als dem relevanten Faktor argumentieren. Andere EKP-relevante Differenzen zwischen den Verben könnten deren jeweiligen Verwendungshäufigkeiten, die Anzahl der Silben, etc. betreffen. In diesem Zusammenhang sei auch daran erinnert, daß transitive und intransitive Verben sich signifikant in Bezug auf ihre Dauer im Sprachsignal unterscheiden (vgl. Abschnitt 4.1). Um die hier vertretene Auffassung zu belegen, daß allein die Unverträglichkeit zwischen prosodischer Satzstruktur einerseits und intransitiver Verbstruktur andererseits zur Auslösung der N400- und P600-Komponenten führte, müssen lexikalische Erklärungen ausgeschlossen werden. Hierzu war die Einbeziehung der Bedingung A notwendig. Denn da Bedingung A nicht nur exakt dieselben intransitiven Verben, sondern (infolge des Cross-Splittings) sogar die

identischen Sprachsignale wie Bedingung C enthielt, sollten der lexikalischen Alternativerklärung zufolge entsprechende EKP-Unterschiede auch zwischen A und B auftreten. Die hier vertretene Mismatch-Hypothese für das N400-P600-Muster würde dagegen voraussagen, daß A und B - trotz ihrer prosodischen *und* lexikalischen Unterschiede - dasselbe EKP-Muster aufweisen, und lediglich C erhöhte Amplituden für beide Komponenten zeigt.

Die bereits erwähnten (und nachfolgend in Abschnitt 5.3.2.2 ausführlich dargestellten) Basislinien-Unterschiede der prosodisch abweichenden Bedingung A verhinderten jedoch deren Einbeziehung in den zuvor beschriebenen Direktvergleich der Amplitudenmittelwerte. Aus diesem Grund wurden zusätzlich Basislinien-unabhängige 'peak-to-peak'-Vergleiche zwischen N400-Negativpeak und P600-Positivpeak in allen drei Bedingungen durchgeführt. Dazu wurde an den drei Mittellinien-Elektroden individuell für jede Versuchsperson in jeder Bedingung die maximale Negativierung im N400-Zeitbereich ermittelt und von der maximalen Positivierung im P600-Bereich subtrahiert. Da die Basislinie gleichermaßen in beide Werte einfließt, geht ihr Amplitudenanteil bei der Subtraktion verloren. Zwar läßt sich auf Basis dieser Differenzbildung nicht mehr zwischen den anteiligen Beiträgen der N400-Negativierung und der P600-Positivierung unterscheiden. Dieser Informationsverlust spielt jedoch nur eine Rolle, wenn sich zwischen den korrekten Bedingungen A und B tatsächlich ein Amplitudenunterschied herausstellt, wie dies die lexikalische Alternativhypothese voraussagen würde. Findet sich dagegen kein Unterschied zwischen A und B, gibt es keinen Grund zu der Annahme, daß das für transitive Verben in B gefundene EKP-Muster in irgendeiner Weise von dem der intransitiven Verben in A abweichen sollte. Folglich dürfen auch die zwischen B und C gefundenen Effekte weiterhin als bi-phasisches Muster (N400 und P600) interpretiert werden. Mit anderen Worten: die einzige theoretisch denkbare Alternative eines *bloßen* N400- oder eines *bloßen* P600-Effektes in C würde die Zusatzannahme einer additiven Basislinienverschiebung relativ zu B implizieren, die durch nichts gerechtfertigt erscheint.

Wie Tabelle 5-3 zeigt, wiesen die Bedingungen A und B ein identisches Peak-to-Peak-Muster auf ( $F < 1$ ), von dem C sich signifikant unterschied. Damit kann Hypothese 4 als bestätigt angesehen werden: Die erhöhten N400- und P600-Amplituden waren weder eine Folge der Satzprosodie (die C mit B teilte) noch der lexikalischen Eigenschaften oder akustischen Realisierung des intransitiven Verbs (die C mit A teilte), sondern vielmehr eine Konsequenz des Inkompatibilität zwischen beiden.

**Tabelle 5-3: Basislinien-unabhängige Amplitudendifferenzen zwischen N400- und P600-Gipfelwerten aller drei Bedingungen an den Mittellinienelektroden.** X<Y: Werte der Amplitudendifferenz in Bedingung X sind geringer als jene in Bedingung Y.

| Bedingungen      | Ableitort   | Effekt      | dF   | F-Wert       | p-Wert       | EKP Muster |
|------------------|-------------|-------------|------|--------------|--------------|------------|
| <b>A : B : C</b> | Mittellinie | Bed.        | 2,42 | 4.42         | .0182        | C > A, B   |
|                  |             | Bed. x Elek | 4,84 | 2.77         | .0550        |            |
|                  | CZ          | Bed.        | 2,52 | 8.28         | .0012        | C > A, B   |
|                  | PZ          | Bed.        | 2,50 | 13.64        | .0002        | C > A, B   |
| <b>A : B</b>     | Mittellinie | Bed.        | 1,22 | 0.55         | .6995        | A = B      |
| <b>A : C</b>     | Mittellinie | Bed.        | 1,22 | <b>11.05</b> | <b>.0046</b> | A < C      |
| <b>B : C</b>     | Mittellinie | Bed.        | 1,33 | <b>8.18</b>  | <b>.0110</b> | B < C      |

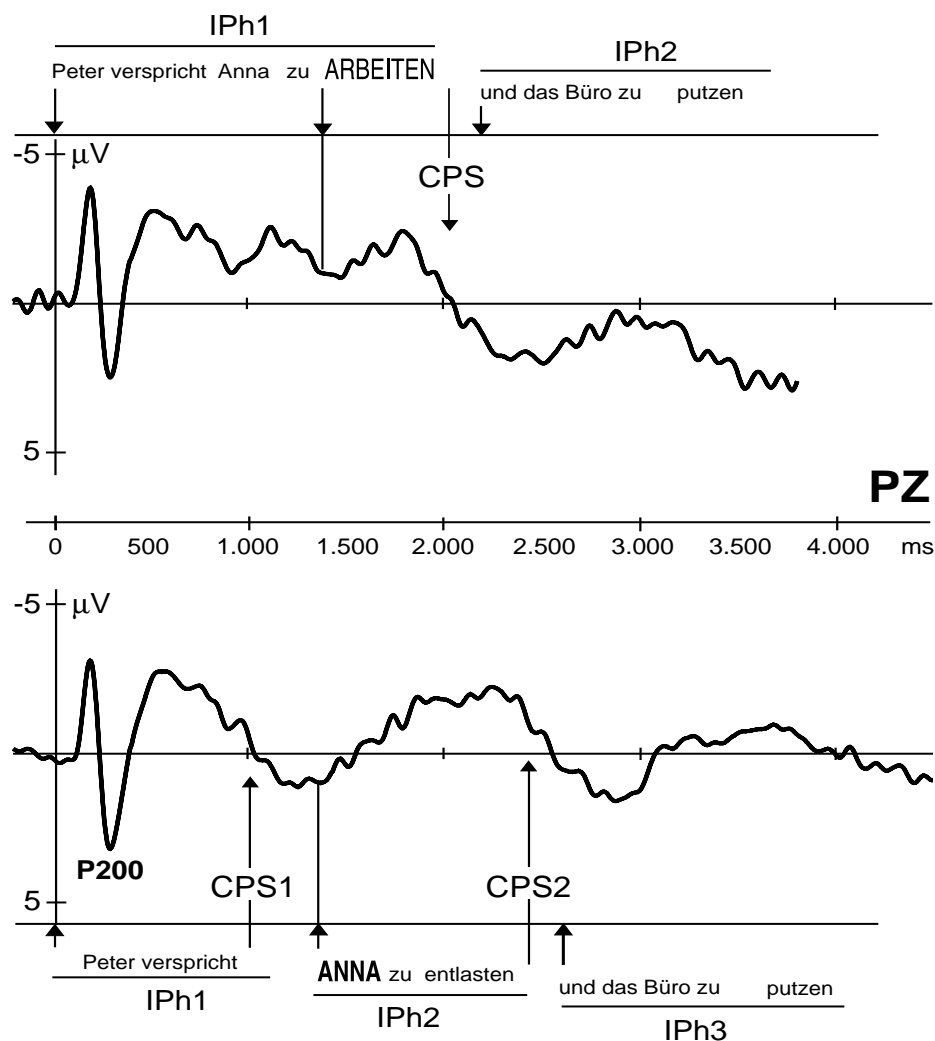
⇒ Dasselbe intransitive Verb (z.B. *'arbeiten'*), sogar in der identischen akustischen Realisierung, rief eine größere N400-P600 'peak-to-peak'-Differenz hervor, wenn ihm eine prosodisch inkompatible Information vorherging (d.h. in Bedingung C) als wenn es in eine kompatible Prosodiestruktur eingebettet war (d.h. in Bedingung A). Die größeren N400- und P600-Amplituden in Bedingung C hingen also *nicht* von den lexikalischen oder phonologischen Eigenschaften des Verbs per se, sondern ausschließlich von der Angemessenheit des prosodischen Kontextes für ein gegebenes Verb ab. Diese Interpretation impliziert, daß die Hörer die prosodischen Unterschiede zwischen A einerseits und B (bzw. C) andererseits bereits vor Verarbeitung von Verb2 in einer Weise enkodiert hatten, welche die syntaktische Integration steuern konnte. Wie früh diese Unterschiede detektiert wurden, ist Gegenstand der nächsten Abschnitte.

### 5.3.2.2 Eine EKP-Komponente für prosodische Verarbeitung: Der Closure Positive Shift

Während die oben beschriebene N400-P600-Sequenz auf Basis von früheren Studien mit vergleichbaren syntaktischen Verstößen verhergesagt werden konnte, gab es bezüglich etwaiger EKP-Korrelate für die eigentliche prosodische Verarbeitung keinerlei Vorläuferexperimente. Für das erste Experiment war die sechste Hypothese daher so allgemein gehalten, daß für den Satzbeginn bis zum Auftreten von Verb2 lediglich ein identischer EKP-Verlauf der Bedingungen B und C und ein abweichendes Muster für die prosodisch abweichende Bedingung A erwartet wurde.



Im folgenden wird gezeigt, daß ereignis-korrelierte Potentiale in der Tat in der Lage sind, prosodische Verarbeitung online zu reflektieren. Genauer gesagt wird der Nachweis geliefert, daß die prosodische Phrasierung, die letztlich auch für das Auslösen des N400-P600-Musters in Bedingung C verantwortlich war, unmittelbar an der Phrasengrenze zu einer großamplitudigen Positivierung im EKP führt, für welche die Bezeichnung *Closure Positive Shift* (CPS) gewählt wurde. Da es sich hierbei um eine neue EKP-Komponente und zudem um das erste EKP-Korrelat für prosodische Verarbeitung überhaupt handelt, wurden besonders aufwendige Analysen durchgeführt, die den Ausschluß von Alternativerklärungen zum Ziel hatten.



**Abbildung 5.3:** Der *Closure Positive Shift* (CPS) im EKP an den jeweiligen prosodischen Phrasengrenzen der Satzbedingungen A (oben) und B (unten), dargestellt an der PZ-Elektrode. In Bedingung A findet sich lediglich ein CPS, in Bedingung 2 treten dagegen zwei CPS-Komponenten auf. (Grand Average der Experimente 1 und 2, N=40. Negative Amplituden sind konventionsgemäß nach oben abgetragen.)

Abbildung 5.3 illustriert den Closure Positive Shift zunächst an einer einzelnen parietalen Elektrode (PZ) für die beiden korrekten Bedingungen A (oben) und B (unten), und zwar als Grand Average über beide Experimente (N=40). (Damit liegen jeder Kurve etwa 1500 Einzelsignale zugrunde.) Dargestellt ist der EKP-Verlauf für die Sprachsignale des gesamten Satzes von -200 bis +4500 ms relativ zum Satzbeginn, wobei die ersten 200 ms vor Satzbeginn als Basislinie dienten. Die Wortanfänge der Satzbeispiele beider Bedingungen sind an die Zeitachse angepaßt. Um die Übereinstimmung der prosodischen Intonationsphrasengrenzen mit dem EKP-Muster hervorzuheben, wurden die Sätze außerdem entsprechend ihrer Intonationsphrasierung (IPh) gegliedert.

In der Abbildung ist deutlich zu erkennen, daß beide Bedingungen am Satzanfang zunächst ein nahezu identisches EKP mit einer N100 (um 100 ms) und einer P200 (um 250 ms) auslösen. Hierbei handelt es sich um weitgehend exogene Komponenten, die relativ unspezifisch das Einsetzen des akustischen Sprachsignals widerspiegeln. Etwa bei 1000 ms beginnen die Kurven bedingungsabhängig zu divergieren: Bedingung B zeigt einen deutlich positiveren Verlauf, der kurz nach 1000 ms die Nulllinie durchschneidet, während Bedingung A weiterhin negative Amplitudenwerte zeigt. Dieser erste positive Shift (CPS1) in Bedingung B fällt zeitlich mit der ersten Intonationsphrasengrenze (nach Verb1 '*verspricht*') zusammen, welche in A fehlt. Mit Beginn der zweiten Intonationsphrase in B ('*Anna zu entlasten*') nimmt deren EKP wieder einen negativen Verlauf, um gegen Ende diese Phrase wiederum einen positiven Shift (CPS2) zu zeigen. In Bedingung A findet sich an der analogen und einzigen Intonationsphrasengrenze nach Verb2 ('*arbeiten*') ebenfalls ein positiver Potentialverlauf (CPS). Mit anderen Worten, eine starke positive Potentialverschiebung trat in beiden Bedingungen genau an denjenigen Positionen auf, die prosodisch durch Phrasengrenzen markiert waren.

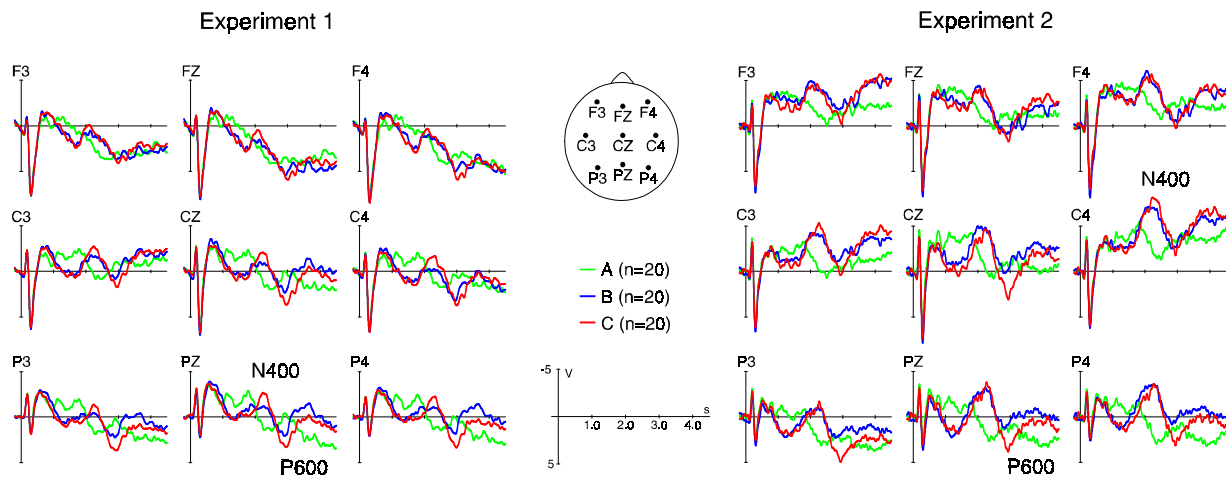
Dieses Muster legt die Vermutung nahe, daß die Dekodierung prosodischer Phrasierungsinformation im Sprachsignal durch den Hörer im EKP durch eine positive Potentialverschiebung reflektiert wird. Da diese neu entdeckte EKP-Komponente vermutlich an das Abschließen (Closure) von prosodischen Phrasen gebunden ist, wurde für sie die Bezeichnung *Closure Positive Shift* (CPS) gewählt.

Entsprechend sollte Bedingung C aufgrund seiner zwei prosodischen Grenzen das gleiche EKP-Muster mit zwei Positivierungen zeigen wie B und (trotz lexikalischer Identität) signifikant von A abweichen. Daß dieses Muster tatsächlich in beiden Experimenten gefunden wurde, läßt sich den Abbildungen 5.4a+b entnehmen. Die Grafiken zeigen, ähnlich wie zuvor Abbildung 5.3, die EKPs über den gesamten Satz, nun jedoch an 9 Elektroden und für alle drei Bedingungen. Wieder läßt sich exakt an den jeweiligen Grenzen der Intonationsphrasen ein CPS beobachten. Sowohl in Experiment 1 (Abb. 5.4a) als auch in Experiment 2 (Abb. 5.4b) weisen Bedingungen B und C ein ähnliches Grundmuster mit zwei positiven Shifts bei 1000 ms und bei 2500 ms auf, während sich für Bedingung A nur ein einziger solcher Shift bei etwa 2000 ms nach Satzbeginn findet. Die im vorigen Abschnitt 5.3.2.1 dargestellte N400-P600-Abfolge in Bedingung C lagert sich diesem Grundverlauf nach Onset des zweiten Verbs auf (etwa bei 2000 ms). Als Folge der Latenzvariabilitäten dieses Onsets sowie eines geringeren Signal-Rausch-Verhältnisses (Trialverlust durch Artefakte) läßt sich die N400 in Experiment 2 (im Gegensatz zu Abb. 5.2) nur an einzelnen Elektroden erkennen.

Zur Quantifizierung und statischen Absicherung der CPS-Befunde wurden wiederum zwei verschiedene Ansätze verfolgt: Vergleiche von Bereichsmittelwerten in 8 Zeitfenstern und Analysen von lokalen Minima und Maxima.

#### *Amplitudenmittelwerte sukzessiver Zeitfenster*

Die erste CPS-Analyse wurde an den Amplitudenmitteln von acht Zeitepochen zu je 500 ms durchgeführt, die den gesamten Satz (von 0 bis 4000 ms) abdeckten. Das letzte Zeitfenster (3500 bis 4000 ms) wurde lediglich für die Bedingungen B und C berechnet, da Sätze in Bedingung A typischerweise früher endeten (vgl. Tabelle 4.1). Als Basislinie dienten wie in Abbildung 5.3 die 200 ms vor Satzbeginn.



**Abbildung 5.4:** EKPs über den gesamten Satz in den drei Bedingungen A (grün), B (blau) und C (rot) an 9 Elektroden. **(a)** Entsprechend der Position der Intonationsphrasengrenzen finden sich in Experiment 1 für Bedingungen B und C jeweils 2 CPS-Komponenten, in Bedingung A hingegen nur ein CPS. Die N400- und P600-Komponenten in der Mismatch-Bedingung C sind diesem Muster vor bzw. nach dem zweiten CPS aufgelagert. **(b)** Experiment 2 repliziert diese Befunde.

Wie den Abbildungen 5.4a+b zu entnehmen ist, konnten signifikante Differenzen zwischen der Bedingung A einerseits und den Bedingungen B und C andererseits vor allem in zwei Zeitbereichen erwartet werden:

- a) Zwischen 1000 und 1500 ms, d.h. nach dem ersten CPS in B und C, wo das EKP in Bedingung A negativer ist;
- b) Zwischen 2000 und 2500 ms, d.h. nach dem CPS in A, wo das EKP in A positiver verläuft.

Die statistischen Analysen pro Zeitfenster für die Mittellinie und die lateralen Elektroden über beide Experimente (d.h. mit dem Faktor Aufgabe) sind in Tabellen 5-4a bzw. 5-4b zusammengefaßt.

**Tabelle 5-4a: CPS-Effekte pro Zeitfenster an Mittellinienelektroden.** X<Y: EKP-Amplitude in Bedingung X ist negativer als die in Y;

| Zeitfenster | Effekt         | F - Wert   |          | p-Wert | EKP Muster |
|-------------|----------------|------------|----------|--------|------------|
|             |                | F(2/76)    | F(4/152) |        |            |
| 1           | 0 - 500 ms     | ---        | ---      | ---    | ---        |
| 2           | 500 - 1000 ms  | ---        | ---      | ---    | ---        |
| 3           | 1000-1500 ms   | Bed        | 9.07     | .0003  | A < B, C   |
|             |                | Bed x Elek | 2.91     | .0261  |            |
| 4           | 1500-2000 ms   | Bed x Elek | 2.68     | .0419  |            |
| 5           | 2000-2500 ms   | Bed        | 9.59     | .0002  | A > B, C   |
|             |                | Bed x Elek | 3.15     | .0239  |            |
| 6           | 2500 - 3000 ms | ---        |          |        |            |
| 7           | 3000-3500 ms   | Bed x Elek | 4.80     | .0018  | PZ: A,C>B  |
| 8           | 3500-4000 ms   | Bed x Elek | 3.94     | .0259  | PZ: B<C    |

**Tabelle 5-4b: CPS-Effekte pro Zeitfenster an lateralen Elektroden.** X<Y: EKP-Amplitude in Bedingung X is negativer als die in Y;

| Zeitfenster | Effekt         | F - Wert   |          | p-Wert | EKP Muster |
|-------------|----------------|------------|----------|--------|------------|
|             |                | F(2/76)    | F(4/152) |        |            |
| 1           | 0 - 500 ms     | ---        |          |        |            |
| 2           | 500 - 1000 ms  | ---        |          |        |            |
| 3           | 1000-1500 ms   | Bed        | 5.31     | .0069  | A < B, C   |
|             |                | Bed x Elek | 2.53     | .0477  |            |
| 4           | 1500-2000 ms   | ---        |          |        |            |
| 5           | 2000-2500 ms   | Bed        | 12.59    | .0001  | A > B, C   |
|             |                | Bed x Elek | 4.09     | .0049  |            |
| 6           | 2500 - 3000 ms | ---        |          |        |            |
| 7           | 3000-3500 ms   | Bed x Elek | 2.87     | .0276  |            |
|             |                | Bed x Hemi | 3.86     | .0253  |            |
| 8           | 3500-4000 ms   | Bed        | 4.34     | .0164  |            |

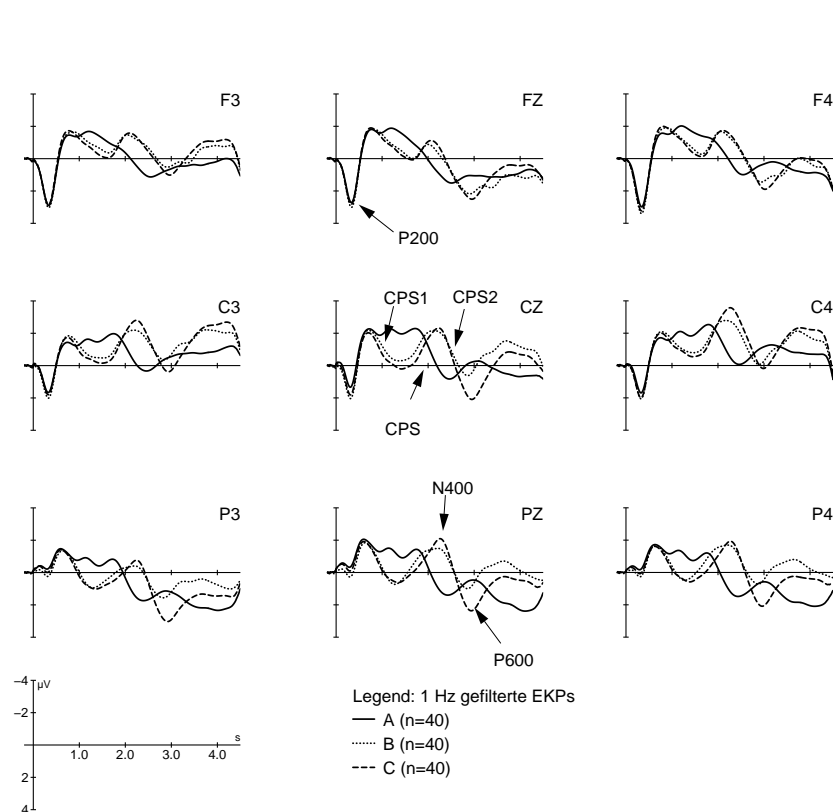
Die Analysen bestätigen die statistische Signifikanz der beobachteten Differenzen in den erwarteten Zeitfenstern (1000-1500 ms,  $p < .003$ ; und 2000-2500 ms,  $p < .0002$ ). Es sei darauf hingewiesen, daß jeder einzelne der in den Tabellen 5-4a+b dargestellten Effekte auch separat

in den Einzelexperimenten nachgewiesen werden konnte. Interaktionen der Faktoren *Bedingung* und *Aufgabe* (= Experiment) verfehlten grundsätzlich die Signifikanzgrenze. Im Falle signifikanter Interaktionen zwischen *Bedingung* und *Elektrodenposition* wurden Analysen an den einzelnen Elektroden (Mittellinie) oder interessierenden Regionen (laterale Ableitorte) durchgeführt. Diese ergaben ausnahmslos, daß die Effekte an zentralen und parietalen Elektroden stärker auftraten als an frontalen Ableitorten.

Darüber hinaus wurden geplante Einzelvergleiche für jedes Bedingungs paar durchgeführt, sofern diese durch einen Haupteffekt *Bedingung* legitimiert waren. Die 'EKP-Muster' in der jeweils letzten Spalte der Tabellen beruhen auf diesen Analysen. So bedeutet z.B. das Muster '**A<B,C**', daß sowohl der Vergleich A : B als auch der Vergleich A : C signifikante Differenzen zwischen den Bedingungen ergaben, während dies auf den Vergleich der prosodisch gleichen Bedingungen B : C nicht zutraf. In den Zeitfenstern 7 und 8 fand sich schließlich noch ein später Bedingungseffekt, der die P600-Komponente in Bedingung C reflektiert.

Ebenso wenig wie eine Interaktion *Bedingung* x *Aufgabe* wurde ein Haupteffekt für den Faktor *Aufgabe* gefunden. Allerdings zeigte die Interaktion *Aufgabe* x *Elektrodenposition* in den Zeitfenstern 1-4 und 7-8 ebenso wie entsprechende Analysen an Einzelelektroden, daß die Amplituden frontaler Elektroden in Experiment 2 bedingungsunabhängig negativere Werte annahmen als in Experiment 1 ( $p < .05$ ).

⇒ Insgesamt bestätigen die EKP-Analysen sowohl an der Mittellinie wie auch an lateralen Elektroden die erwarteten Bedingungsunterschiede. Während die Effekte der Zeitfenster 3 und 5 das prosodisch bedingte abweichende CPS-Muster in Bedingung A widerspiegeln, belegen die signifikanten Differenzen in den Zeitfenstern 7 und 8 den P600-Effekt der Gardenpath-Bedingung C relativ zu Bedingung B. Wie bereits zuvor bei den Analysen des N400-P600-Musters waren die Effekte gleichmäßig über beide Experimente verteilt und ergaben keinerlei bedeutsamen Einfluß der Aufgabenstellung.



**Abbildung 5.5:** 1 Hertz-gefilterte EKGs der drei Bedingungen über die gesamte Satzlänge. Dargestellt ist ein Grand Average beider Experimente (n=40).

### Peak-to-peak Analysen

Der zweite Ansatz zur Quantifizierung der CPS-Muster verwendete lokale Gipfelmaße. Die entsprechenden Messungen wurden an 1 Hz tiefpaß-gefilterten Daten der einzelnen Versuchspersonen durchgeführt. Wie Abbildung 5.5 illustriert, reduzierte bzw. eliminierte diese Filterprozedur erfolgreich phasische lokale Minima und Maxima wie etwa die N100 oder die P200 am Satzanfang, während das eher tonische CPS-Muster erhalten blieb. Die Gipfellokalisierung detektierte daher auch nicht die irrelevanten lokalen Gipfel phasischer Komponenten im EKP. Die Extrema wurden bezüglich ihrer Latenz und ihrer Amplitude an den Mittellinienelektroden FZ, CZ und PZ quantifiziert. *Minima* wurden innerhalb von drei Zeitintervallen gemessen (1.: 500-1650 ms; 2.: 1650-2600 ms; 3.: 2600-4000 ms); *Maxima* innerhalb zweier Intervalle (1.: 500-2000 ms; 2.: 2000-3500 ms). Die Größe dieser Zeitbereiche wurde jeweils so gewählt, daß zwar einerseits der gesamte Bereich abgedeckt wurde,

**Tabelle 5-5a: Peak-Amplituden und -Latenzen in den Zeitfenstern an PZ.** min: Minimum; MAX: Maximum; CPS: Closure Positive Shift. Anz. Observ.: Anzahl berücksichtigter Beobachtungen

| Bedingung | Zeitfenster | Peak           | Latenzen [ms] | Amplituden [ $\mu$ V] | Anz. Observ. |        |    |
|-----------|-------------|----------------|---------------|-----------------------|--------------|--------|----|
| <b>A</b>  | 1           | 500 - 1650 ms  | <b>min 1</b>  | 900                   | - 2.64       | 40     |    |
|           |             | 500 - 2000 ms  | MAX 1         | 1150                  | - 0.15       | 40     |    |
|           | 2           | 1650 - 2600 ms | <b>min 2</b>  | 1900                  | } CPS {      | - 2.48 | 28 |
|           |             | 2000 - 3500 ms | MAX 2         | 2660                  |              | + 2.10 | 40 |
|           | 3           | 2600 - 4000 ms | <b>min 3</b>  | 3150                  | - 0.39       | 40     |    |
|           |             |                |               |                       |              |        |    |
| <b>B</b>  | 1           | 500 - 1650 ms  | <b>min 1</b>  | 870                   | } CPS 1 {    | - 2.17 | 39 |
|           |             | 500 - 2000 ms  | MAX 1         | 1340                  |              | + 1.26 | 40 |
|           | 2           | 1650 - 2600 ms | <b>min 2</b>  | 2100                  | } CPS 2 {    | - 2.21 | 38 |
|           |             | 2000 - 3500 ms | MAX 2         | 2840                  |              | + 1.46 | 39 |
|           | 3           | 2600 - 4000 ms | <b>min 3</b>  | 3470                  | - 1.27       | 39     |    |
|           |             |                |               |                       |              |        |    |
| <b>C</b>  | 1           | 500 - 1650 ms  | <b>min 1</b>  | 750                   | } CPS 1 {    | - 2.42 | 39 |
|           |             | 500 - 2000 ms  | MAX 1         | 1350                  |              | + 1.48 | 40 |
|           | 2           | 1650 - 2600 ms | <b>min 2</b>  | 2210                  | } CPS 2 {    | - 2.47 | 40 |
|           |             | 2000 - 3500 ms | MAX 2         | 2950                  |              | + 2.70 | 40 |
|           | 3           | 2600 - 4000 ms | <b>min 3</b>  | 3570                  | - 0.24       | 36     |    |
|           |             |                |               |                       |              |        |    |

andererseits aber Überlappungen unterschiedlicher Peaks (gleicher Polarität) aus verschiedenen Bedingungen im selben Fenster ausgeschlossen wurden. Mittlere Amplituden und Latenzwerte für die repräsentative PZ-Elektrode sind in Tabelle 5-5a zusammengefaßt.<sup>14</sup>

An den Mittellinienelektroden wurden ANOVAs getrennt für Amplituden und Latenzen der einzelnen Gipfelwerte berechnet. Die entscheidenden Latenzanalysen (vgl. Tabelle 5-5b) ergaben Haupteffekte für den Faktor *Bedingung* für jeden einzelnen Peak (F-Werte zwischen  $F(2,66)=10.35$  und  $F(2,72)=24.98$ ; p-Werte  $< .0002$ ), mit Ausnahme des ersten Minimums (vgl. auch Abb. 5.5). Geplante Einzelvergleiche zeigten, daß diese Haupteffekte grundsätzlich auf ein abweichendes Latenzmuster in Bedingung A zurückzuführen waren (p-Werte zwischen .008 und .0001), während die anderen zwei Bedingungen B und C sich in der Regel nicht

<sup>14</sup> Hinweis: Der Algorithmus des verwendeten EEP3.0-Auswertungsmoduls detektierte ein Maximum nur, wenn diesem innerhalb des kritischen Zeitfensters ein lokales Minimum vorausging, und umgekehrt. Da das (1 Hz-gefilterte) EKP in einigen Fällen an einzelnen Elektroden (vor allem an FZ) eine monotone Zeitfunktion innerhalb des Zeitfensters aufwies, konnte kein solches Minimum oder Maximum für dieses Zeitfenster detektiert werden. Als Folge gingen diese Meßwerte nicht in die Analysen ein und reduzierten die Anzahl der Beobachtungen. Das heißt, Probanden, für die ein Datenpunkt fehlte, wurden von allen Analysen ausgeschlossen, die diesen Datenpunkt erforderten. Im ungünstigsten Fall des Minimums im zweiten Zeitfenster gingen von den ursprünglich 40 Teilnehmern nur 17 in die globale ANOVA ein. Allerdings verteilten sich selbst in diesem Fall die Beobachtungen gleichmäßig über die beiden Experimentalgruppen (9 in Exp.1, 8 in Exp.2). Bei den ANOVAs für die PZ-Elektrode stieg die Anzahl deutlich an (im genannten ungünstigsten Fall von 17 auf 28). Da die verschiedenen Analysen stets dasselbe Muster ergaben, werden im laufenden Text nur die Daten für die vollständige Mittellinie berichtet (zusätzliche PZ-Werte in Tabelle 5-5a).



voneinander unterschieden. Lediglich im Hinblick auf das zweite Minimum bei ca. 2200 ms trat der Peak in Bedingung C um etwa 100 ms später auf als in Bedingung B ( $F(1,31)=9.82$ ;  $p<.0057$ ), was vermutlich auf die Einflüsse der überlagerten N400-Komponente zurückzuführen ist.

**Tabelle 5-5b: Latenzeffekte per Zeitfenster an den Mittellinienelektroden.**  
dF:Freiheitsgrade; X<Y: Peaklatenz von Bedingung X ist kürzer als die von Y;

| Zeitfenster | Peak           | Effekt       | dF  | F-Wert | p-Wert | EKP Muster |                        |
|-------------|----------------|--------------|-----|--------|--------|------------|------------------------|
| <b>1</b>    | 500 - 1650 ms  | <b>min 1</b> | Bed | 2, 68  | 3.97   | .0240      | <b>C &lt; B=A</b>      |
|             | 500 - 2000 ms  | MAX 1        | Bed | 2, 66  | 10.35  | .0002      | <b>A &lt; B, C</b>     |
| <b>2</b>    | 1650 - 2600 ms | <b>min 2</b> | Bed | 2, 30  | 17.14  | .0002      | <b>A &lt; C &lt; B</b> |
|             | 2000 - 3500 ms | MAX 2        | Bed | 2, 72  | 24.98  | .0001      | <b>A &lt; B, C</b>     |
| <b>3</b>    | 2600 - 4000 ms | <b>min 3</b> | Bed | 2, 56  | 21.45  | .0001      | <b>A &lt; B, C</b>     |

Im Hinblick auf die *Peak-Amplituden*, unterschieden sich lediglich die Maxima des ersten Zeitfensters (i.e., 500-2000 ms) signifikant zwischen den Bedingungen ( $F(2,66) = 7.26$ ;  $p<.0018$ ). Während Bedingungen B und C keine Unterschiede aufwiesen ( $F<1$ ), differierte Bedingung A sowohl von B ( $F(1,34) = 12.90$ ;  $p<.0015$ ) als auch von C ( $F(1,35) = 8.47$ ;  $p<.0093$ ). Wie Tabelle 5-5a zu entnehmen ist, lag das PZ-Maximum in Bedingung A mit  $-.015 \mu\text{V}$  deutlich niedriger als diejenigen der anderen Bedingungen ( $+1.26$  bzw.  $+1.48 \mu\text{V}$ ). Dieser Effekt spiegelt das Fehlen des ersten CPS in Bedingung A wider. Die *Bedingungseffekte* interagierten grundsätzlich nicht mit dem Faktor *Aufgabe*.<sup>15</sup> Das bedeutet, daß alle Latenz- und Amplitudeneffekte sowohl in Experiment 1 wie in Experiment 2 gleichermaßen auftraten.

Die abschließende Analyse bezüglich des CPS wurde an den Amplituden des Shifts selbst durchgeführt. Um dieses Maß zu quantifizieren, wurden Amplitudendifferenzen zwischen den Maxima und den ihnen jeweils vorausgehenden Minima berechnet. Das bedeutet, der erste Closure Positive Shift entsprach der Amplitudendifferenz (MAX1 - min1) und der zweite CPS entsprach der Differenz (MAX2 - min2; vgl. graue Rasterung in Tab.5.5). Die Voraussagen ergeben sich unmittelbar aus den bisherigen Betrachtungen:

<sup>15</sup> Allerdings gab es, ähnlich wie bereits für die oben beschriebenen Amplitudenmittelwerte, eine Interaktion *Aufgabe x Elektrodenposition* für das erste Minimum und das erste Maximum. Wiederum bringt diese Interaktion zum Ausdruck, daß die Amplituden frontaler Ableitorte in Experiment 2 negativer lagen als in Experiment 1 ( $p<.05$ ).

- Für den *ersten* CPS wurden vergleichbare Amplituden für Bedingungen B und C erwartet, während A infolge der fehlenden prosodischen Grenze in diesem Zeitbereich signifikant geringere Amplituden aufweisen sollte.
- Im Gegensatz dazu waren für den *zweiten* CPS keinerlei Unterschiede zwischen den korrekten Bedingungen A und B zu erwarten, da beide im fraglichen Zeitbereich eine prosodische Phrasengrenze aufwiesen, wenngleich mit unterschiedlichen Latenzen.
- Dieser zweite Shift wurde auch für Bedingung C erwartet. Als Folge der dem CPS aufgelagerten N400-P600-Sequenz sollte die absolute CPS-Amplitude jedoch größer ausfallen als in A und B.

Die statistischen Analysen sind in Tabelle 5-6 zusammengefaßt und bestätigen jedes dieser erwarteten Muster.

**Tabelle 5-6: Peak-to-peak-Effekte für den ersten und den zweiten Closure Positive Shift an den Mittellinienelektroden.** X<Y: Peak-to-peak Amplitudendifferenzen [=Gesamtamplitude des CPS] in Bedingung X sind geringer als in Bedingung Y.

| Shift                                  | Bedingung    | Elektroden | Effekt | dF   | F-Wert | p-Wert | EKP Muster          |
|--|--------------|------------|--------|------|--------|--------|---------------------|
| <b>MAX1 -<br/>Min1<br/>=<br/>CPS 1</b> | <b>A:B:C</b> | Midline    | Bed    | 2,64 | 6.24   | .0048  | <b>A &lt; B = C</b> |
|  | <b>A:B</b>   | Midline    | Bed    | 1,32 | 9.85   | .0054  | A < B               |
|  | <b>A:C</b>   | Midline    | Bed    | 1,34 | 9.95   | .0051  | A < C               |
|  | <b>B:C</b>   | Midline    | Bed    | 1,35 | 0.38   | .8142  | B = C               |
| <b>MAX2 -<br/>Min2<br/>=<br/>CPS 2</b> | <b>A:B:C</b> | Midline    | Bed    | 2,34 | 5.20   | .0161  | <b>A = B &lt; C</b> |
|  | <b>A:B</b>   | Midline    | Bed    | 1,15 | 1.93   | .2768  | A = B               |
|  | <b>A:C</b>   | Midline    | Bed    | 1.17 | 12.32  | .0040  | A < C               |
|  | <b>B:C</b>   | Midline    | Bed    | 1,29 | 10.76  | .0040  | B < C               |

- ⇒ Zusammenfassend läßt sich feststellen, daß die statistischen Analysen eindeutig bestätigen, daß die Bedingungen B und C jeweils *zwei* große positive Shifts mit Latenzen von etwa 1100 ms (CPS1) bzw. 2500 ms (CPS2) nach Satzbeginn hervorriefen. Diese Latenzen korrespondieren gut mit den Latenzen der identifizierten prosodischen Grenzen dieser Satzbedingungen (nämlich nach Fragment 1 [1179 ms] und Fragment 6 [2573 ms]; vgl. Bedingung B in Tabelle 4-1). Bedingung A dagegen weist nur *einen* einzelnen positiven Shift im EKP auf. Auch dessen Latenz von etwa 2300 ms korrespondiert jedoch wiederum mit der Latenz der einzigen prosodischen Grenze dieser Bedingung (nach Fragment 6 [2161 ms]; vgl. Bedingung A in Tabelle 4-1).

Nachdem das EKP-Muster von einem positiven Shift in A und zwei solchen Shifts in B und C an den Positionen ihrer jeweiligen prosodischen Grenzen statistisch abgesichert werden konnte, sollen nachfolgend alternative Möglichkeiten überprüft werden, die zur Auslösung der Positivierungen geführt haben könnten.

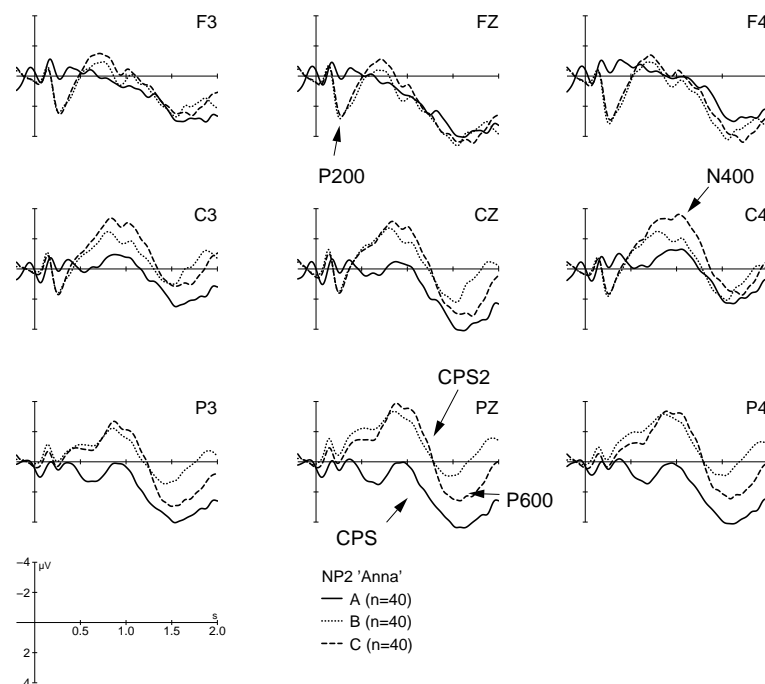
#### *Kein Beitrag exogener Komponenten (N1/P2) zum CPS*

Zunächst besteht die theoretische Möglichkeit, daß der Closure Positive Shift (CPS) eine Folge additiver Effekte exogener Komponenten wie der Onset-P200 der kritischen zweiten Verbalphrase sein könnte. Frühere Studien hatten gezeigt, daß Pausen in auditorisch dargebotenen Sätzen die Amplituden des N100-P200-Komplexes nachfolgender Wörter vergrößern (z.B. Holcomb & Neville, 1990, Besson et al., 1997). Gegeben die Tatsache, daß die Bedingungen B und C an ihrer ersten Intonationsphrasengrenze eine Pause enthielten, könnten die dadurch erhöhten Onset-P200-Amplituden der nachfolgenden NP2 *Anna* in Kombination mit Latenzvariabilitäten durch Aufsummierung zu einer CPS-ähnlichen langsamen Positivierung geführt haben. Die folgenden zwei Punkte sollen zeigen, daß exogene Komponenten zur Erklärung des CPS *nicht* herangezogen werden können.

- α)** Zunächst waren phasische Komponenten durch die 1 Hz-Tiefpaßfilterung der Gipfelanalysen nahezu vollständig eliminiert worden (vgl. Abb. 5.4 vs. 5.5). Da der CPS trotz der erheblichen Reduktion des N1-P2-Komplexes auftrat, ist eine starke Beteiligung dieser Komponenten am CPS-Muster äußerst unwahrscheinlich.

- β)** Abbildung 5.6 zeigt den Onset des zweiten Nomens (*Anna*) für alle drei Bedingungen. Ähnlich den Befunden von Besson et al. (1997), führt die vorhergehende Pause in Bedingungen B und C zu einer vergrößerten Amplitude der Onset-P200 relativ zu Bedingung A, die ja keine Pause vor dieser Nominalphrase enthält ( $p < .001$ ). Schon das eindeutig *frontal* liegende Maximum der P200-Amplitudendifferenzen schließt einen direkten Zusammenhang zum eher *posterior* fokussierten CPS aus.

Im Anschluß an die P200 weist dann Bedingung A in Abbildung 5.6 den positiveren Verlauf auf, und erscheint – insbesondere an PZ – parallel zu den anderen Bedingungen verschoben. Dieses Muster deutet stark darauf hin, daß es erstens beträchtliche Unterschiede zwischen A und den anderen Bedingungen *unabhängig* vom lokalen P2-Muster gibt, und daß diese zweitens schon *vor* dem Beginn der zweiten Nominalphrase eingesetzt haben müssen: Die Tatsache des positiveren Verlaufs von A gegenüber B und C läßt sich nur dadurch erklären, daß zumindest im Bereich der verwendeten Basislinie (-200 bis 0 ms) ursprünglich die Bedingungen B und C positiver lagen als Bedingung A. Erst das erzwungene Zusammenziehen der Bedingungskurven im Basislinienbereich verschob dann das EKP von Bedingung A als Ganzes in den positiven Amplitudenbereich. Das Ausmaß dieser Parallelverschiebung (in Mikrovolt) weist die gleiche Skalpverteilung auf wie der CPS (d.h.,  $PZ > CZ > FZ$ ). Damit kann es als erwiesen angesehen werden, daß der CPS bereits in den 200 ms *vor* Darbietung der NP2 im EKP auftrat und folglich unabhängig von NP2-relatierten EKP-Komponenten sein muß (vgl. auch Zeitfenster 3 in Tabelle 5-4a,b).



**Abbildung 5.6:** N1-P2 Muster und CPS ab Onset der NP2 *Anna* (N=40). Die P200-Komponente weist – anders als der CPS – ein deutlich frontales Maximum auf.

Aufgrund der zeitlichen Synchronisation auf den Beginn der NP2 (*Anna*) ist hier – anders als in Abbildung 5.4 – der CPS der prosodischen Phrasengrenze nach Verb2 in allen drei Bedingungen *zeitgleich* zu erkennen (zwischen 1000 und 1500 ms).

⇒ Diese Daten belegen, daß der CPS vollkommen unabhängig vom Auftreten der exogenen N1- und P2-Komponenten der zweiten Nominalphrase (*Anna*) ist. Zugleich wird damit auch die potentielle Möglichkeit ausgeschlossen, daß der CPS durch den zweiten hochsignifikanten prosodischen Bedingungsunterschied, nämlich die frühere Realisierung des Satzakzentes auf der NP2 in B, hervorgerufen wurde.

### *Ein CPS auch für Nicht-Verben*

Positive EKP-Komponenten, die von Verben ausgelöst werden, wurden zuvor von Kutas berichtet (1997). Da Verben, syntaktisch gesehen, das zentrale Element eines Satzes darstellen, könnte die an Verben gebundene Positivierung integrativen Prozessen auf Satzebene zugeschrieben werden. In den hier vorgestellten Experimentalsätzen endeten sämtliche Intonationsphrasen mit einem Verb (*verspricht; arbeiten/entlasten; putzen*). Aus diesem Grund mußte die Möglichkeit ausgeschlossen werden, daß der CPS mit den von Kutas berichteten Verb-relatierten Positivierungen identisch war. Als die zwei wichtigsten voneinander unabhängigen Argumente sind die folgenden zu nennen:

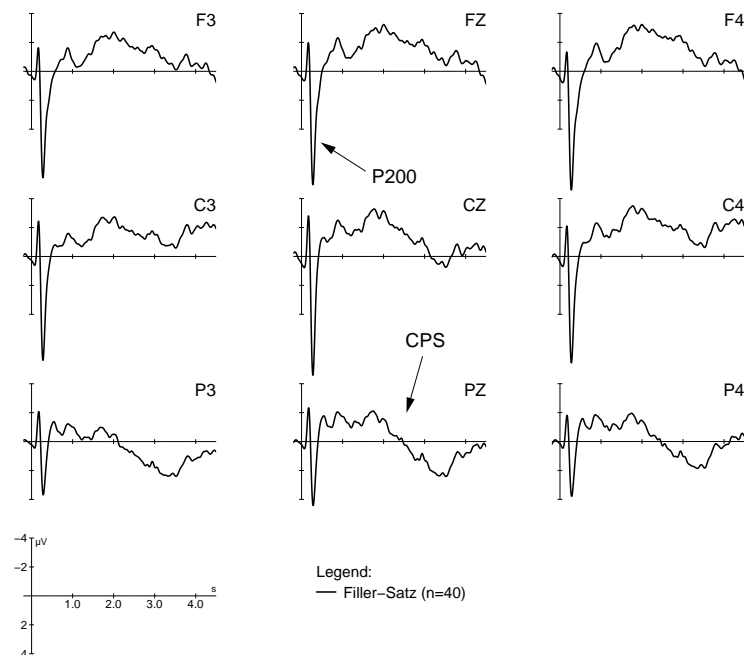
**α)** Erstens enthält Bedingung A exakt dieselben lexikalischen Elemente wie Bedingung C, einschließlich des ersten Verbs (*verspricht*). Doch nur in C, wo dieses Verb eine prosodische Grenze markiert, wird ein CPS ausgelöst. In A ist zu diesem Zeitpunkt lediglich ein schwacher positiver Verlauf zu erkennen, der allerdings tatsächlich identisch mit der Verb-relatierten Komponente sein könnte.

**β)** Zweitens enthielten die im Experiment verwendeten *Füllsätze* prosodische Grenzen, denen kein Verb, sondern eine Nominalphrase (NP2) unmittelbar vorausging.

|           |  |   |
|-----------|--|---|
| Füllsatz: | NP2  | NP3                                     |
|           | [IPh1 <i>Der Apotheker sucht <u>die Frau</u></i> ] # | [IPh2 <i>die Direktorin sucht ...</i> ] |

Wie in Abbildung 5.7 zu erkennen ist, weisen auch hier die EKPs einen CPS an der entsprechenden Phrasengrenze (zwischen 2000 und 3000 ms) auf. (Der mittlere Onset der NP3 (*die Direktorin*) liegt in diesen Sätzen bei etwa 2150 ms.)

⇒ Beide Befunde in (α) und (β) bestätigen, daß der CPS unabhängig davon ist, ob es sich bei dem jeweils letzten Element innerhalb einer Intonationsphrase um ein Verb handelt oder nicht.

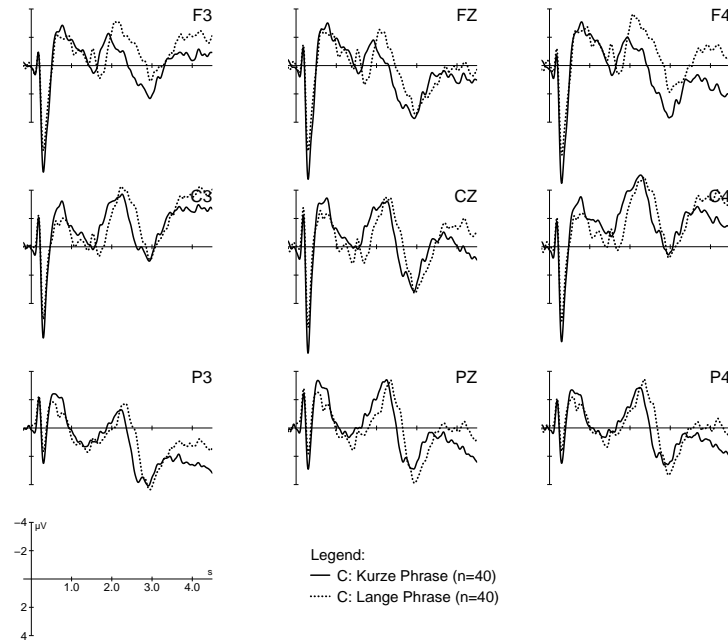


**Abbildung 5.7:** Der CPS in den Füllsätzen trat nicht nach einem Verb, sondern nach einer Nominalphrase auf. Die Komponente kann also nicht an verbsspezifische Verarbeitungsprozesse gebunden sein. (Grand Average der Experimente 1 und 2.  $N = 40$ ).

#### *Die CPS-Latenz kovariert mit der Latenz prosodischer Grenzen*

Wie in Abschnitt 4.1.1 hervorgehoben, variierte die Dauer der einzelnen Satzfragmente in den Experimentalsätzen auch innerhalb jeder Bedingung erheblich und führte zu Standardabweichungen von mehreren Hundert Millisekunden. Falls der CPS die Verarbeitung von Intonationsphrasengrenzen reflektiert, sollte seine Latenz mit der Länge von prosodischen Phrasen kovariieren, da letztere die Latenz der Phrasengrenze bestimmt.

Um diesen Zusammenhang zu überprüfen, wurde das Satzmaterial auf Basis der Dauerinformation in den Sprachsignalen so aufgeteilt (Mediansplit), daß Sätze mit kurzen und mit langen Phrasendauern getrennt ausgewertet werden konnten. Um ein ausreichendes Signal/Rausch-Verhältnis zu sichern, wurden die Grand Average EKGs über beide Experimente hinweg berechnet ( $N=40$ ).



**Abbildung 5.8:** CPS-Latenzverschiebung in Bedingung C. (Grand Average der Experimente 1 und 2.) In Sätzen mit kurzen Intonationsphrasen tritt der CPS signifikant früher auf.

Wie Abbildung 5.8 am Beispiel von Bedingung C zeigt, trat der CPS in Sätzen mit kurzen Intonationsphrasen erwartungsgemäß früher auf ( $p < .05$ ). Ein entsprechender Latenzunterschied fand sich in jeder der drei Bedingungen. Wenn die drei Satzbedingungen separat für Sätze mit kurzen bzw. langen Intonationsphrasen verglichen wurden, fand sich jeweils das gleiche Muster wie zuvor im Gesamt-Average, jedoch mit unterschiedlichen CPS-Latenzen: Gemäß der Position ihrer prosodischen Phrasengrenzen zeigen Bedingungen B und C stets jeweils zwei CPS-Komponenten, Bedingung A hingegen nur eine. Bei Sätzen mit kürzerer Phrasendauer traten die positiven Shifts im EKP jedoch früher auf als bei Sätzen mit längerer Phrasendauer.

⇒ Diese Kovariation zwischen der Latenz der IPh-Grenze einerseits und der Latenz des CPS andererseits liefert weitere Evidenz für die prosodische Natur der dem CPS zugrunde liegenden Prozesse.



## 5.4 *Diskussion*

### 5.4.1 Behaviorale Daten

Schon die Performanzdaten deuteten auf einen frühen Einfluß der prosodischen Satzstruktur auf die Syntaxverarbeitung hin. Anders als in Lesestudien konnte keinerlei Hinweis auf einen Gardenpath-Effekt in Bedingung B beobachtet werden. Offenbar hatte die zusätzliche prosodische Phrasengrenze nach dem ersten Verb *verspricht* erfolgreich verhindert, daß die üblichen Parsingpräferenzen für eine Objektenbindung der NP2 *Anna* an dieses erste Verb wirksam wurden. Stattdessen führte die prosodische Grenze zu einer sofortigen Anbindung der Nominalphrase an das nachfolgende Verb.

Während diese prosodisch induzierte Änderung der syntaktischen Verarbeitung in Bedingung B den klassischen Gardenpatheffekt verhinderte, löste sie umgekehrt in Bedingung C auf dem inkompatiblen Verb *arbeiten* einen solchen Effekt aus. Obwohl bei der Beantwortung der Verständnisfragen zunächst nicht der erwartete Anstieg der Fehlerraten in Bedingung C beobachtet werden konnte, zeigten die in Experiment 2 zusätzlich erhobenen Prosodieurteile, daß die Inkompatibilität zwischen der prosodisch bedingten Satzanalyse (Early Closure bzw. Non-minimal Attachment) und den syntaktischen Erfordernissen der Verbargumentstruktur (Late Closure bzw. Minimal Attachment) von allen Probanden verläßlich detektiert wurde. Das Ausbleiben des Fehleranstiegs in C war also nicht auf ein Überhören des Prosodie-Syntax-Mismatches, sondern auf dessen frühzeitige mentale Korrektur noch vor Präsentation der Verständnisfrage zurückzuführen. Diese Interpretation konnte durch die zeitliche P600-Charakteristik im EKP (s.u.) klar bestätigt werden.

Da Bedingung C lexikalisch identisch mit der normalerweise präferierten Bedingung A war und dennoch zu ca. 95 % als inakzeptabel beurteilt wurde, handelt es sich bei diesem reversen Gardenpath um die erstmals geglückte vollständige Umkehrung von initialen Parsingpräferenzen. Die Konsequenzen dieses Befundes für Syntax-first-Modelle und den Modularitätsbegriff werden in der abschließenden Diskussion (vgl. Kapitel 10) nochmals aufgegriffen.

In Bezug auf die Verständnisfragen fand sich ein genereller Fehleranstieg in Experiment 2 relativ zum ersten Experiment. Dieser Anstieg läßt sich mit der zusätzlichen Aufmerksamkeitsbeanspruchung durch die Zweitaufgabe (Prosodiebewertung) erklären.

### 5.4.2 EKP-Daten

Die EKP-Daten lieferten eine wesentlich genauere Aufklärung der zeitlichen Dynamik prosodischer Verarbeitung, als dies selbst in behavioralen *Online*-Studien (z.B. Marslen-Wilson et al., 1992; Warren et al., 1995) bislang möglich war. Hierbei verdienen vor allem die N400-P600-Sequenz und der Closure Positive Shift, aber auch die Robustheit der Effekte besondere Berücksichtigung.

#### 5.4.2.1 Der Gardenpath in Bedingung C: N400 und P600.

Die Abfolge von N400 und P600 als Korrelat des Gardenpath-Effekts auf dem inkompatiblen intransitiven Verb in Bedingung C war auf Basis früherer Studien zu Verletzungen der Verbargumentstruktur (Osterhout & Holcomb, 1992; Rösler et al., 1993; Jacobsen & Friederici, 1998; Friederici & Frisch, 2000) erwartet worden. Die N400 spiegelt vermutlich den nochmaligen lexikalischen Zugriff auf den Verbeintrag wider<sup>16</sup> (Hopf et al., 1997), während die P600-Komponente mit hoher Wahrscheinlichkeit die Korrektur der inkompatiblen initialen Satzanalyse reflektiert (Friederici, 1995). Neu ist jedoch, daß die Experimente 1 und 2 den ersten Fall dokumentieren, in dem N400- bzw. P600-Komponenten nicht durch lexikalische, sondern durch *prosodische* Manipulation ausgelöst wurden: Die zusätzlichen Peak-to-peak-Analysen, die auch Bedingung A einbezogen, konnten zweifelsfrei ausschließen, daß die erhöhten N400- und P600-Amplituden in Bedingung C allein auf lexikalischen Eigenschaften des kritischen Verbs beruhten.

Der durch die P600 abgebildete Prozeß der Reanalyse in Bedingung C führte von der prosodiegetriebenen irrtümlichen Anbindung der NP *Anna* ans zweite Verb zur korrekten Anbindung der NP ans erste Verb. Da diese Operation mit größter Wahrscheinlichkeit auch die subvokale Korrektur des prosodischen Musters (d.h. die Löschung der nun überflüssigen ersten prosodischen Phrasengrenze) impliziert, könnte auch dieser Teilprozeß zur Evozierung der P600 beitragen. Diese partielle funktionale Uminterpretation der P600-Komponente führt zu der

---

<sup>16</sup> Tatsächlich läßt der N400-Befund zwei Interpretationen zu, die auf Basis der vorliegenden Daten nicht weiter unterschieden werden können. Erstens kann es sich um einen nochmaligen Verbzugriff im Lexikon handeln, um die Exklusivität der intransitiven Argumentstruktur zu prüfen. Bei fakultativ transitiven Verben würde diese Überprüfung ergeben, daß beide Anbindungen möglich sind (z.B. *Peter verspricht Anna / zu fotografieren* vs. *Peter verspricht / Anna zu fotografieren*). Zweitens könnte die N400 die semantischen

Vorhersage, daß Reanalysen umso größere P600-Amplituden hervorrufen sollten, wenn sie neben rein syntaktischen zusätzlich auch prosodische Strukturänderungen erfordern. Derartige Überlegungen sind gut vereinbar mit der von Bader (1998) betonten Rolle der Prosodie bei Reanalyseprozessen und werden in Kapitel 10 nochmals ausführlich diskutiert. Die zeitbezogenen Eigenschaften der P600-Komponente unterstreichen die bisherige Interpretation der Performanzdaten, wonach das Ausbleiben des ursprünglich erwarteten Fehlerratenanstiegs in der Gardenpath-Bedingung C auf eine frühzeitig erfolgte Korrektur zurückzuführen ist: Die Komponente dauerte bis ca. 1800 ms nach Einsetzen des disambiguierenden intransitiven Verbs an, so daß der Reanalyseprozeß bei Präsentation der Verständnisfrage (ca. 1000 ms später) als längst abgeschlossen angenommen werden darf. Die mentale Korrektur der initialen Fehlanalyse fand also keineswegs verzögert statt, sondern wurde sofort nach Verfügbarkeit der disambiguierenden Verbinformation ausgeführt, noch während der Satz weiterhin auditiv präsentiert wurde.

#### 5.4.2.2 *Online-Verarbeitung prosodischer Phrasierung: der Closure Positive Shift (CPS).*

Das Auftreten der N400-P600-Sequenz direkt am disambiguierenden Verb2 von Bedingung C ließ sich nur erklären, wenn die prosodische Information *spätestens bis zu diesem Zeitpunkt* (also bei Präsentation des Verbs *arbeiten*) Einfluß auf die syntaktische Analyse ausgeübt hatte. Andernfalls hätten das intransitive Verb der lexikalisch identischen Bedingungen A und C dasselbe EKP-Muster evozieren und gemeinsam von dem des transitiven Verbs in Bedingung B abweichen müssen. Tatsächlich wies aber allein Bedingung C erhöhte N400- und P600 Amplituden auf, während die sich beiden korrekten, aber sowohl lexikalisch wie prosodisch verschiedenen Bedingungen A und B im EKP-Muster ihrer Verben nicht voneinander unterschieden. Folglich konnte die N400-P600-Abfolge in C nur auf die Inkompatibilität zwischen dem Verbtyp und seiner prosodischen Einbettung zurückgeführt werden. Dieses Resultat steht bereits in klarem Gegensatz zu allen Modellvorstellungen, die die Berücksichtigung prosodischer Information bei der Satzanalyse erst zu einem relativ späten Zeitpunkt, etwa bei der abschließenden Integration am Satzende, annehmen (vgl. Watt & Murray, 1996).

---

Integrationsprobleme mit der Struktur *'jemanden arbeiten'* und u.U. einen hieraus resultierenden lexikalischen Neuzugriff widerspiegeln.

Der zusätzliche EKP-Befund einer positiven Potentialverschiebung unmittelbar an der prosodischen Phrasengrenze (also noch *vor* der NP2 *Anna*) konnte den genauen Verlauf prosodischer Strukturdifferenzierung weiter einengen und den kritischen Zeitpunkt noch deutlich vor der Verb2-Präsentation lokalisieren. Damit erbrachten die vorliegenden Daten erstmalig direkte Evidenz für die Annahme, daß prosodische Information tatsächlich quasi verzögerungsfrei vom Hörer enkodiert wird und die weitere Satzanalyse kontrolliert. Im Gegensatz zu früheren Studien mit semantischer Vorabinformation, welche meist nur eine Reduktion oder Kompensierung von Gardenpath-Effekten erreichten (z.B. Altmann et al., 1992), liegt hier eine vollständige Umkehrung der üblichen Parsingpräferenzen (Late Closure und Minimal Attachment) vor: Der Satz mit der einfacheren syntaktischen Struktur wird allein durch Änderung seiner phonologischen Realisierung zu einem kaum akzeptablen Gardenpath-Satz.

Die großamplitudige Potentialverschiebung läßt sich als elektrophysiologisches Korrelat der kognitiven Verarbeitung einer Intonationsphrasengrenze und damit für den Abschluß (engl. Closure) einer Intonationsphrase auf Hörerseite interpretieren. Sie wird daher als *Closure Positive Shift* (CPS) bezeichnet. Diese Deutung findet Unterstützung in dem Befund, daß entsprechende Komponenten nicht nur in allen drei Experimentalbedingungen an den jeweiligen Phrasengrenzen nachgewiesen werden konnten, sondern auch bei den Füllsätzen an den erwarteten Positionen zwischen zwei Intonationsphrasen im EKP auftraten. Damit konnte erstmalig eine EKP-Komponente für prosodische Verarbeitung identifiziert werden.

Durch zusätzliche Kontrollanalysen konnte außerdem eine Reihe potentieller Alternativerklärungen für das Auftreten des CPS ausgeschlossen werden: So war die Komponente weder an das Auftreten von Verben geknüpft (im Sinne einer verbspezifischen Integrationspositivierung; vgl. Kutas 1997) noch konnte sie in irgendeiner Weise auf exogene Komponenten wie etwa die P200 zurückgeführt werden. Vielmehr wurde nachgewiesen, dass der CPS schon *vor* Darbietung der NP2 auftrat. Damit wurde auch die Möglichkeit ausgeschlossen, daß der CPS an die Position des Satzakzentes gebunden war, der ja im Gegensatz zu Bedingung A in Satz B auf der NP2 realisiert war. Zusätzliche Evidenz für eine Interpretation der Positivierung als Korrelat prosodischer Phrasierung lieferte die Latenzabhängigkeit des CPS von der Dauer der Intonationsphrasen.

---

Insgesamt scheint damit der angestrebte methodische Durchbruch für eine systematische Online-Erforschung prosodischer Einflüsse auf syntaktische Verarbeitungsprozesse mit Hilfe von Hirnpotentialen gelungen. Die robusten Ergebnisse über beide Experimente hinweg weisen darauf hin, daß sowohl die zugrundeliegenden Phrasierungsprozesse als auch die resultierenden Konsequenzen für die Satzverarbeitung relativ unabhängig von Aufgabenstellungen sind. Lediglich eine frontale Negativierung in Experiment 2 dürfte die zusätzliche Aufgabenbelastung widerspiegeln (vgl. Ruchkin et al., 1988; Rösler, Schumacher & Sojka, 1990), welche vermutlich auch für die erhöhte Rate von Verständnisfehlern im zweiten Experiment verantwortlich war.



## 6 Experiment 3: *Die Rolle der Pause bei prosodischer Phrasierung*

**Zusammenfassung:** Das dritte EKP-Experiment geht der Frage nach, in welchem Maße der in den ersten beiden Experimenten gefundene prosodische Einfluß auf die syntaktische Verarbeitung an das Vorhandensein einer Pause im Sprachsignal gebunden war. Die Ergebnisse legen nahe, daß eine Pauseninsertion in Gegenwart anderer prosodischer Parameter sowohl für die Markierung von Phrasengrenzen als auch für die CPS-Auslösung verzichtbar ist. Damit verstärkt sich die Evidenz, daß der CPS eher an die prosodische Phrasierung per se als an bestimmte akustische Parameter gebunden ist.

### 6.1 Fragestellungen und Hypothesen

Die bisherige Interpretation des CPS als EKP-Korrelat der prosodischen Segmentierung sprachlichen Inputs im Hörer war nicht völlig unproblematisch. Aus der EKP-Literatur zur Satzverarbeitung ist bekannt, daß satzfinale Wörter - die in der Regel von einer längeren Pause gefolgt werden - gleichfalls regelmäßig Positivierungen im EKP auslösen (z.B. Van Petten & Kutas, 1991). Auch die prosodischen Grenzen im verwendeten Stimulusmaterial waren unter anderem durch Pauseninsertion realisiert worden. Es war also möglich, daß die an prosodischen Grenzen beobachtete Positivierung lediglich ein rein akustisches Ereignis (nämlich die vorübergehende Unterbrechung des Sprachstroms während dieser Pausen) reflektierte. Nach dieser Auffassung sollte der CPS in Abwesenheit von Pausen generell nicht mehr auftreten.

Um diese Alternativhypothese zu prüfen, wurden für das dritte Experiment aus den beiden Bedingungen (B) und (C) die Pausen an der ersten Grenze (nach *verspricht*) aus jedem Sprachsignal individuell herausgelöscht, und zwar ohne die Signale adjazenter Wörter (*verspricht* bzw. *Anna*) zu verändern (Tab.8-1). Erwartet wurde, daß die verbleibenden prosodischen Parameter (Dehnungen und F0-Konturen) ausreichen würden, um die erste prosodische Grenze (nach *verspricht*) auch in Abwesenheit der Pause wahrnehmbar zu markieren. In diesem Fall sollten die Versuchspersonen die neue (pausenfreie) Bedingung (B'') auch weiterhin als prosodisch korrekt beurteilen, die neue Bedingung (C'') dagegen weiterhin als prosodisch

**Tabelle 8-1: Satzbedingungen in Experiment 3 (# = Pauseninsertion)**

| Bedingung | Satzbeispiel  |
|-----------|---|
| A         | [Peter verspricht Anna zu arbeiten] [und das Büro zu putzen]      |
| B         | [Peter verspricht] # [Anna zu entlasten] [und das Büro zu putzen] |
| B'        | [Peter verspricht] [Anna zu entlasten] [und das Büro zu putzen]   |
| C'        | [Peter verspricht] [Anna zu arbeiten] [und das Büro zu putzen]    |

inkorrekt bewerten. Falls ein derartiges Muster in den behavioralen Daten die anhaltende Wahrnehmbarkeit der ersten prosodischen Grenze belegen würde, sollte ein prosodisch bedingter CPS trotz fehlender Pause weiterhin an dieser Phrasengrenze auftreten.

Obwohl die Kontrastierung der beiden Hypothesen zur auslösenden Randbedingung des CPS (akustische Pause versus prosodische Phrasengrenze) im Mittelpunkt des dritten Experimentes stand, handelt es sich zugleich auch um einen der bislang noch seltenen Versuche, prosodische Parameter unter experimentellen Bedingungen gezielt zu separieren. Wie bereits im theoretischen Teil dargestellt (vgl. Abschnitt 2.2), gibt es bislang keine exakte Theorie zu der Frage, wie welche akustischen Parameter zusammenspielen müssen, um ein bestimmtes prosodisches Phänomen zu realisieren. Allerdings hatten einige Arbeiten Anzeichen für die Annahme geliefert, daß verschiedene Parameter sich bei einigen Phänomenen wie der Grenzmarkierung partiell additiv verhalten, so daß bei deutlicher Präsenz eines Parameters der andere deutlich reduziert werden kann (sog. *cue trading*; vgl. Streeter, 1978; Beach, 1991). Die akustischen Analysen für die vorliegenden Satzstimuli (vgl. Kapitel 4 sowie Alter et al., 1998; Schirmer, 1999) hatten ergeben, daß die prosodischen Unterschiede zwischen Satzbedingungen A und B zwar praktisch in jedem normal-gesunden Sprecher realisiert wurden, daß die jeweils zur Kodierung eingesetzten Parameter aber durchaus inter-individuellen Variabilitäten unterlagen. Die Tatsache, daß insbesondere Änderungen des Dauerparameters - und damit auch die Pauseninsertion nach Verb1 (*verspricht*) in Bedingung B - zu den reliabelsten Befunden gehörten, mißt deren Einfluß eine besondere Bedeutung zu. Für das Verständnis der Akustik-Prosodie-Schnittstelle war daher die Fragestellung, welche Wirkung das Löschen der Pause in den Bedingungen B" und C" auf die Perzeption der Phrasengrenze haben würde, bereits für sich gesehen von hohem Interesse.



## Hypothesen

1. Zunächst wurde erwartet, daß die **ursprünglichen Bedingungen A und B** die Befunde der vorhergehenden Experimente **replizieren** würden. Beide Bedingungen sollten prosodisch gut akzeptiert werden. Im EKP waren für A eine, für B zwei CPS-Komponenten an den entsprechenden Phrasengrenzen zu erwarten.
  
2. In den **neuen Bedingungen B" und C"**, in welchen die Pause nach Verb1 eliminiert war, hingen die Voraussagen von der Bedeutung der Pause für die Phrasengrenzmarkierung ab:
  - a) Falls **Pausen** für die Markierung von Intonationsphrasengrenzen **notwendig** sein sollten, sollten die Probanden in Bedingungen B" und C" zunächst keine solche Grenze verarbeiten und NP2 *Anna* daher (wie in Bedingung A) initial an das vorhergehende Verb1 *verspricht* anbinden. **Bedingung B"**, die eine Anbindung an das nachfolgende Verb2 *entlasten* erforderte, sollte daher gegenüber der ursprünglichen Bedingung B **schwieriger** zu verarbeiten sein und zu geringerer Akzeptanz führen. Umgekehrt sollte Bedingung C" aus den gleichen Gründen wesentlich einfacher sein und besser akzeptiert werden als zuvor Bedingung C mit der Pause.
  - b) Gemäß der favorisierten Annahme, daß die **Pause kein notwendiger Parameter** für Grenzmarkierungen ist, sollte dagegen aufgrund der noch erhaltenen prosodischen Information nach wie vor die Phrasengrenze erkennbar sein. Dies sollte sich in einer **hohen prosodischen Akzeptanz für B"** (ähnlich wie in B) und in einer geringen Akzeptanz für C" (ähnlich wie zuvor in C) niederschlagen.
  
3.
  - a) Falls der **CPS direkt an die Verarbeitung von Pausen gebunden** war, wäre im EKP **nur für Bedingung B**, nicht aber für B" und C" der erste CPS nach Verb1 zu erwarten.
  - b) Gemäß der hier vertretenen **CPS-Interpretation eines Korrelats für prosodische Segmentierung** hingen die Voraussagen der EKP-Muster dagegen unmittelbar von den Performanzdaten ab:

- α) Falls die Pausenlöschung die Wahrnehmung einer Phrasengrenze verhinderte, wäre weder der erste CPS noch ein Gardenpath-Effekt in C" zu erwarten. Stattdessen wären **Verarbeitungsprobleme in B"** vorstellbar, die dann zu entsprechenden EKP-Korrelaten (N400, P600) in dieser Bedingung führen konnten.
- β) Falls die Performanzdaten dagegen für eine Wahrnehmung der Phrasengrenze in B" und C" sprachen, sollte auch der entsprechende CPS1 auftreten. In diesem Fall wäre in Bedingung C" außerdem **wieder ein reverser Gardenpath** mit entsprechender 400/P600-Sequenz auf Verb2 zu erwarten.

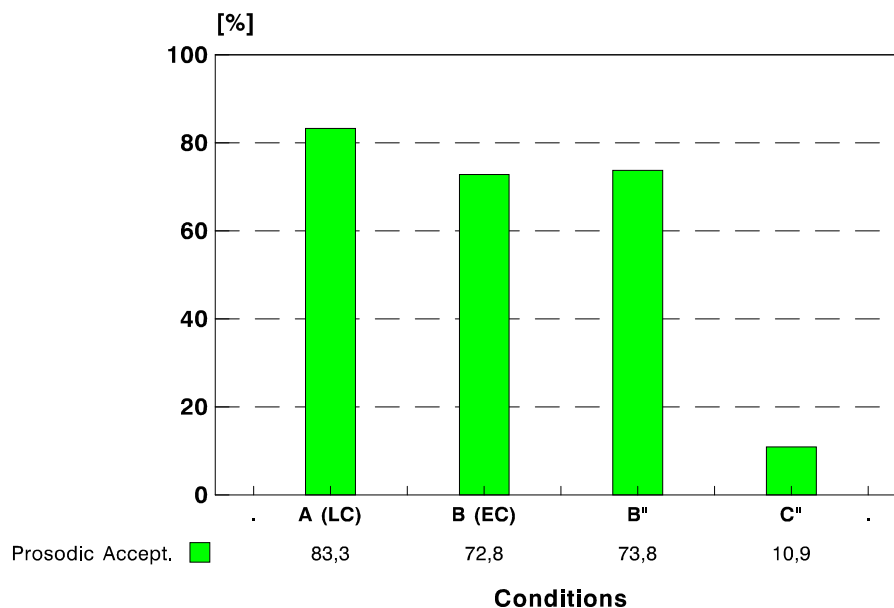
## 6.2 Methoden

Am dritten Experiment nahmen 16 Probanden teil. Das Satzmaterial bestand aus je 48 Sätzen der Bedingungen A, B, B" und C" sowie 144 Füllersätzen, die in zwei Sitzungen mit je 4 Experimentalblöcken auditorisch präsentiert wurden (vgl. Präsentationsschema in Abbildung 3.1). Die Aufgabe war identisch zu Experiment 2 und bestand in einer prosodischen Akzeptanzbeurteilung sowie der Beantwortung von Verständnisfragen. Das Herauslösen der Pausen in den Bedingungen B" und C" erfolgte mit Hilfe des Programms CoolEdit. Es wurde darauf geachtet, daß die Signale adjazenter Wörter durch die Prozedur nicht verändert wurden, d.h. unmittelbar an den Wortgrenzen wurden minimale Pausenfragmente von 5-10 ms stehengelassen, die jedoch in ihrer Summe nicht länger andauerten als die entsprechende 'Pause' in Bedingung A. Da es sich bei der Pausenlöschung um die Manipulation einer ursprünglich von der Sprecherin produzierten Pause handelte, waren Artefakte in der Ko-Artikulation von Wörtern nicht zu befürchten, so daß die Manipulation im Sprachsignal als solche für die Probanden nicht erkennbar war.

## 6.3 Ergebnisse

### 6.3.1 Performanzdaten

Abbildung 6.1 zeigt die prosodischen Akzeptanzwerte für jede der vier Bedingungen. Erwartungsgemäß (Hypothese 1) wurden die hohen Akzeptabilitätsraten für die ursprünglichen Bedingungen A (83,3 %) und B (72,8 %) repliziert, die sich statistisch nicht voneinander unterschieden ( $p > .2$ ). Die Ergebnisse der beiden neuen Bedingungen B" und C" unterstützten deutlich Hypothese 2b und standen in Widerspruch zur alternativen Hypothese 2a: Bedingung B" wurde mit 73,8 % sogar geringfügig höher akzeptiert als Bedingung B und unterschied sich statistisch nicht von dieser. Bedingung C" wurde mit einer niedrigen Akzeptanz von 10,8 % vergleichbar häufig abgelehnt wie zuvor Bedingung C. Diese Beurteilungen lassen sich nur so erklären, daß die Probanden auch nach Herauslöschung der Pause weiterhin eine Intonationsphrasengrenze nach dem ersten Verb verarbeitet hatten. Die Pause war also in Gegenwart anderer prosodischer Parameter zur Grenzmarkierung nicht nötig.



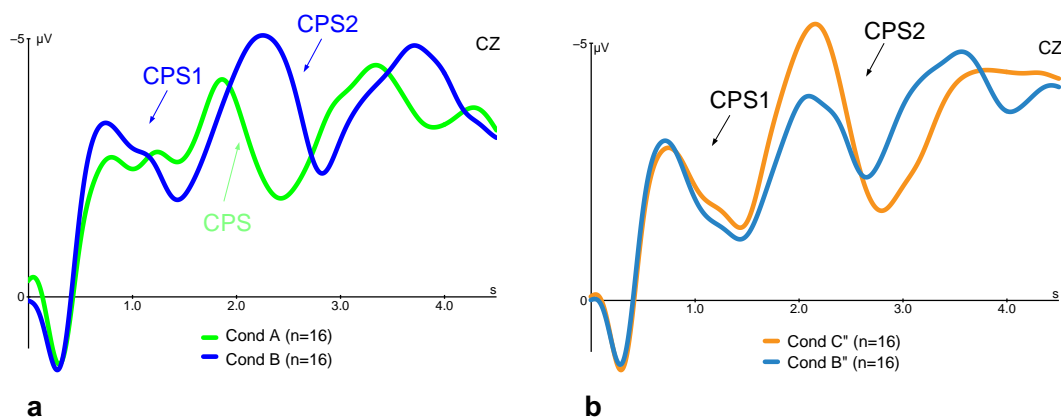
**Abbildung 6.1:** Prosodische Akzeptabilitätsurteile in Experiment 3. Bedingungen (B'') und (C'') resultierten nach Pausenlöschung im Sprachsignal und unterscheiden sich daher in der Dauer der Pause nach 'verspricht' nicht mehr von der Bedingung (A). (B) und (B'') werden gleich hoch akzeptiert, während (C'') ähnlich oft als inakzeptabel bewertet wird wie zuvor (C).

### 6.3.2 EKP-Daten

Mit diesen Performanzdaten war der erhoffte Fall eingetreten, der eine eindeutige Entscheidung zugunsten einer der beiden CPS-Interpretationen zuließ: Eine Pausengebundenheit des CPS (Hypothese 3a) ließ das Ausbleiben des ersten CPS in B" und C" erwarten, eine Relativiertheit mit prosodischer Phrasierung (Hypothese 3b[β]) würde dagegen sowohl in beiden Bedingungen den CPS als auch das N400-P600-Muster in C" voraussagen.

#### 6.3.2.1 Der Closure Positive Shift

Abbildung 6.2 gibt die CPS-Muster für Bedingungen A und B (Abb. 6.2a) und für die Bedingungen B" und C" (Abb. 6.2b) als 1-Hz tiefpaß-gefilterte Grand Averages an der CZ-Elektrode wieder. In Übereinstimmung mit Hypothese 1 zeigt sich zunächst wieder eine Replikation bei den ursprünglichen Bedingungen A und B: Während in A nur ein CPS (an der einzigen Phrasengrenze um 2000 ms) auftritt, finden sich in B zwei solche Komponenten (CPS1 bei etwa 1000 ms; CPS2 bei etwa 2500 ms). Wesentlich bedeutsamer ist der EKP-Verlauf für die kritischen neuen Bedingungen. Abbildung 6.2b belegt zweifelsfrei, daß auch diese beiden Bedingungen sowohl den ersten als auch den zweiten CPS an den entsprechenden Phrasengrenzen aufweisen. Dieses Muster konnte durch Bereichsmittelwert-Vergleiche statistisch abgesichert werden. Für den kritischen ersten CPS belegten die Daten, daß die Potentiale aller Bedingungen außer Satztyp A im Zeitfenster *nach* der potentiellen



**Abbildung 6.2:** Der CPS in Experiment 3, dargestellt an der CZ-Elektrode nach 1 Hertz-Filterung. **(a)** Bedingungen A (grün) und B (blau) replizieren das Muster der ersten beiden Experimente. **(b)** In Bedingungen B" (hellblau) und C" (orange) finden sich auch nach Pausenlöschung jeweils zwei CPS-Komponenten an den entsprechenden Grenzen.

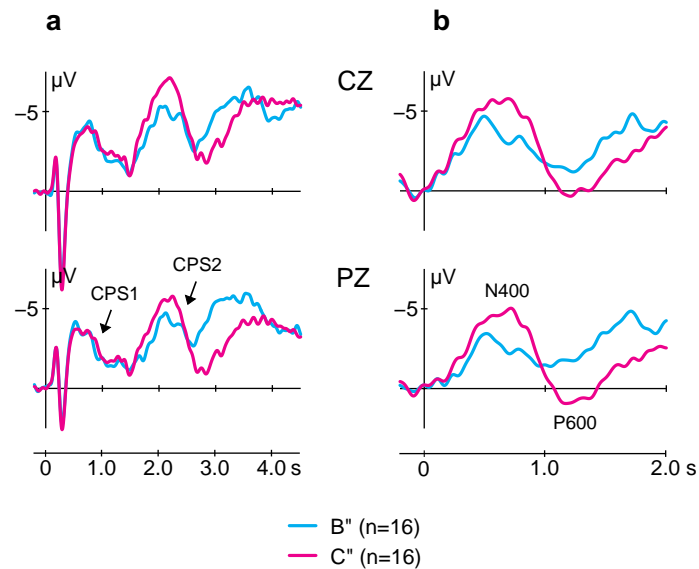
Phrasengrenze (1000-1500 ms) signifikant negativer waren als im Zeitfenster vor der Phrasengrenze (500-1000 ms; vgl. Tabelle 6-1). Die Herausnahme von Bedingung A aus dem Bedingungsvergleich führte dazu, daß die ursprüngliche Interaktion *Zeitfenster x Bedingung* ( $p < .005$ ) nun nicht mehr signifikant war und stattdessen der Haupteffekt *Zeitfenster* hochsignifikant wurde ( $p < .005$ ). Das heißt, daß ein positiver Potentialshift an der Phrasengrenze gleichermaßen in B, B' und C' auftrat (keine Bedingungsunterschiede), nicht jedoch in Bedingung A. Da bereits die konservativere Analyse von Bereichsmittelwerten eindeutige Ergebnisse lieferte, wurde auf die aufwendigeren Peak-to-Peak-Analysen verzichtet. Der Befund, daß der erste CPS nachweislich in beiden Bedingungen B' und C' auftrat, bestätigt die Hypothese 3b[ $\beta$ ] und stützt damit die Interpretation, wonach der CPS die Verarbeitung prosodischer Grenzen reflektiert und - im Widerspruch zur Alternativhypothese 3a - keineswegs an die Präsenz von Pausen gebunden ist.

**Tabelle 6-1: CPS1-Daten in Experiment 3 an den Mittellinienelektroden.** (dF= Freiheitsgrade; ZF= Zeitfenster; Bed= Bedingung.)

| Effekte          | Vergl. aller 4 Bedingungen<br>(mit Bedingung A) |             |              | Vergl. von B, B' und C'<br>(ohne Bedingung A) |              |              | Einzelbedingung |             |             |             |
|------------------|---|-------------|--------------|---|--------------|--------------|-----------------|-------------|-------------|-------------|
|                  | dF  | F-Wert      | p-Wert       | dF  | F-Wert       | p-Wert       | nur F-Werte     |             |             |             |
| <i>Bedingung</i> | 3,45  | .77         | .5179        | 2,30  | 1.34         | .2772        | -               | -           | -           | -           |
| <i>ZF</i>        | 1,15  | <b>4.65</b> | <b>.0478</b> | 1,15  | <b>12.08</b> | <b>.0034</b> | 0.27            | <b>5.20</b> | <b>7.38</b> | <b>9.02</b> |
| <i>Bed x ZF</i>  | 3,45  | <b>5.32</b> | <b>.0033</b> | 2,30  | .46          | .6216        | -               | -           | -           | -           |

### 6.3.2.2 Der Gardenpath in Bedingung C': N400 und P600

Bereits in Abbildung 6.2b war zu erkennen, daß dem zweiten CPS in Bedingung C' relativ zu Bedingung B' ein ähnliches biphasisches N400-P600-Muster aufgelagert war, wie es schon in den ersten beiden Experimenten für Bedingung C gefunden worden war. Dieses ist in Abbildung 6.3a mit schwächerer 5 Hertz-Tiefpassfilterung (analog zu Abb. 5.4) und in Abbildung 6.3b mit verbessertem Signal/Rausch-Verhältnis separat für das kritische Verb2 dargestellt. Die statistischen Analysen der Tabellen 6-2a+b belegen, daß die N400 wiederum im Zeitbereich zwischen 600 und 1000 ms nach Einsetzen des Infinitivmarkers signifikant war, die anschließende P600 dagegen im Zeitbereich von 1000 bis 1800 ms.



**Abbildung 6.3:** EKPs der Bedingungen B'' (hellblau) und C'' (rot),  
(a) über den gesamten Satz, (b) ab Onset des kritischen Verb2.

Insgesamt stellen die EKP-Daten der Bedingungen B'' und C'' damit eine vollständige Replikation derjenigen EKP-Muster dar, die in den Experimenten 1 und 2 für die ursprünglichen Bedingungen B und C gefunden wurden. Das Herauslöschchen der Pause hatte also keinen Einfluß auf die Verarbeitung der Sprachsignale.

**Tabelle 6-2a: N400- und P600-Amplitudeneffekte pro 200 ms Zeitfenster an den Mittellinienelektroden.** EKP-Muster X<Y: Amplituden in Bedingung X sind negativer als jene in Bedingung Y.

| Zeitfenster [ms] | Effekt      | F-Wert |      | p-Wert | EKP Muster |
|------------------|-------------|--------|------|--------|------------|
|                  |             | 1,15   | 2,30 |        |            |
| 1                | 200 - 400   | ---    | ---  | ---    | ---        |
| 2                | 400 - 600   | ---    | ---  | ---    | ---        |
| 3                | 600 - 800   | 4.55   | 2.90 | .0499  | C < B      |
|                  | Bed x Elek  |        |      |        |            |
| 4                | 800 - 1000  | ---    | ---  | ---    | ---        |
| 5                | 1000 - 1200 | 3.91   |      | .0665  | C > B      |
| 6                | 1200 - 1400 | 3.43   | 3.81 | .0836  | C > B      |
|                  | Bed x Elek  |        |      |        |            |
| 7                | 1400 - 1600 | 4.88   |      | .0431  | C > B      |
| 8                | 1600 - 1800 | 4.58   |      | .0493  | C > B      |

**Tabelle 6-2b: N400- und P600-Amplitudeneffekte pro 200 ms Zeitfenster an den lateralen Elektroden.** X<Y: Amplituden in Bedingung X sind negativer als jene in Bedingung Y.

| Zeitfenster [ms] | Effekt      | F-Wert     |      | p-Wert | EKP Muster |       |
|------------------|-------------|------------|------|--------|------------|-------|
|                  |             | 1,15       | 2,30 |        |            |       |
| 1                | 200 - 400   | ---        | ---  | ---    | ---        |       |
| 2                | 400 - 600   | ---        | ---  | ---    | ---        |       |
| 3                | 600 - 800   | Bed        | 8.07 | .0124  | C < B      |       |
| 4                | 800 - 1000  | Bed x Elek |      | 6.13   | .0257      | C < B |
| 5                | 1000 - 1200 | Bed        | 2.46 | .1375  |            |       |
| 6                | 1200 - 1400 | Bed        | 4.10 | .0620  | C > B      |       |
|                  |             | Bed x Elek |      | 6.48   | .0223      |       |
| 7                | 1400 - 1600 | Bed        | 4.62 | .0483  | C > B      |       |
| 8                | 1600 - 1800 | Bed        | 5.10 | .0392  | C > B      |       |

## 6.4 Diskussion

Nachdem die Performanzdaten in Bestätigung von Hypothese 2b gezeigt hatten, daß die prosodische Grenze vom Hörer auch ohne Pauseninsertion wahrgenommen wurde und seine Syntaxanalyse steuerte, konnte die ursprüngliche Frage zur Bedeutung des CPS geklärt werden: Wenn der positive Shift lediglich die Unterbrechung des Sprachsignals durch Pausen reflektierte, hätte er in (B'') und (C'') nicht mehr auftreten dürfen. Sofern der CPS jedoch prosodische Verarbeitung widerspiegelte, sollte er auch nach Pausenentfernung weiterhin im EKP gefunden werden. In Übereinstimmung mit Hypothese 3b[β] belegten die entsprechenden Analysen, daß der frühe Closure Positive Shift an der ersten prosodischen Grenze in (B'') und (C'') weiterhin auftrat. Auch der Gardenpath-Effekt einer N400-P600-Abfolge fand sich erwartungsgemäß in Bedingung C''.

Zum einen bestätigen diese Befunde die bisherige Interpretation, daß es sich bei dem CPS um eine Komponente handelt, die die prosodische Phrasierung unabhängig von den zugrundeliegenden akustischen Markierungen im Sprachsignal reflektiert. Damit werden zugleich Ansätze innerhalb der Psycholinguistik unterstützt, die eine separate phonologische Repräsentation vorschlagen, welche nicht direkt auf einzelne akustische Parameter reduzierbar ist (Beckman, 1996; Schafer, 1997; Warren, 1999). Das Resultat, daß das Herauslösen der Pause weder perceptiv noch bei der syntaktischen Verarbeitung, und auch nicht im EKP zu

wesentlichen Veränderungen führte, gibt zu der Vermutung Anlaß, daß sämtliche erfolgreichen akustischen Realisierungen von prosodischen Grenzen vergleichbare kognitive Konsequenzen haben. Dieser schon zuvor mit dem Begriff *cue trading* belegte Zusammenhang (Streeter, 1978; Beach, 1991) scheint über den CPS als abhängiger Variable nun erstmals auch *online* meßbar zu sein. In zukünftigen Experimenten können damit auch andere prosodische Parameter gezielt manipuliert und auf ihren Beitrag zur Phrasengrenzmarkierung hin untersucht werden. Die Erwartung wäre, daß der CPS immer genau dann auftritt, wenn die Phrasengrenze vom Hörer als solche verarbeitet wird und Parsingprozesse beeinflusst. Dabei könnte sich durchaus herausstellen, daß in *Abwesenheit* anderer Parameter der Pauseninsertion die entscheidende Bedeutung zukommt. Der hier vorgestellte Befund, daß das Löschen der Pause in *Gegenwart* anderer Parameter (Intonationskontur, Dehnung des Verbs *verspricht*) keinen Einfluß auf die Verarbeitung hatte, erlaubt also keinesfalls den Schluß, Pauseninsertion sei generell irrelevant für Grenzmarkierungen.

Während die Vermutung, der CPS sei möglicherweise ein bloßes Korrelat der Sprachsignalunterbrechung durch eine Pause, durch die Daten widerlegt ist, läßt sich ein Zusammenhang zu Positivierungen am Satzende (van Petten & Kutas, 1991) auch weiterhin nicht ausschließen - allerdings unter einer nun veränderten Perspektive. In sämtlichen Bedingungen der ersten drei Experimente kann am jeweiligen Satzende wiederum ein positiver EKP-Verlauf beobachtet werden (vgl. Abb. 5.4 und 6.2). Dies ist insofern mit einer CPS-Interpretation vereinbar, als jedes Satzende zugleich auch den Abschluß einer Intonationsphrase darstellt. In Lesestudien (wie etwa bei van Petten & Kutas, 1991) wird das Satzende in der Regel sowohl durch einen Satzpunkt als auch durch das Ausbleiben weiteren Inputs (also eine Pause) signalisiert. Der Satzpunkt könnte nun in ähnlicher Weise (jedoch subvokal) eine Phrasierung bewirken, wie prosodische Parameter (Grenztöne, Konstituentendehnungen) dies in gesprochener Sprache tun. Die in Lesestudien beobachteten Positivierungen am Satzende ließen sich aus diesem Blickwinkel auch als Korrelate einer verdeckten prosodischen Phrasierung erklären.

Da nach Chafe (1988) Satzzeichen die prosodische Verarbeitung vermutlich selbst beim stillen Lesen beeinflussen können, wird im nächsten Kapitel ein Leseexperiment vorgestellt, in welchem die prosodischen Grenzen durch Satzzeichen markiert sind. Eine zentrale Frage dabei ist, ob Kommas ebenfalls einen CPS auslösen. Um Konfundierungen mit den komplexen und kontrovers diskutierten Verarbeitungsprozessen am Satzende zu vermeiden, wird auf das gleiche Satzmaterial wie in den auditorischen Experimenten zurückgegriffen, wobei die kritische Phrasengrenze innerhalb des Satzes mit einem Komma markiert wird.



## 7 Experiment 4: *Sind Kommas und prosodische Grenzen äquivalent?*

**Zusammenfassung:** Das vierte EKP-Experiment stellt eine Replikation der auditorischen Experimente in der visuellen Domäne dar. Kommas ersetzen prosodische Phrasengrenzen und erweisen sich als ebenso effektiv in ihrem Einfluß auf die Syntaxverarbeitung. Zwar lösen sie ebenfalls eine CPS-ähnliche Positivierung aus, diese wird jedoch von einer großen Negativierung gefolgt. Sowohl Syntaxeinflüsse als auch EKP-Effekte treten vor allem bei solchen Probanden auf, die sich auch beim Schreiben strikt an Zeichensetzungsregeln halten. Kommaverarbeitung scheint damit von individuellen Interpunktionsgewohnheiten abzuhängen.

### 7.1 Fragestellungen, ein Exkurs und die Hypothesen

#### 7.1.1 Fragestellungen

Nachdem die ersten drei Experimente deutliche Evidenz für die sofortige Nutzung prosodischer Information bei der syntaktischen Satzanalyse geliefert hatten, stellte sich die Frage, ob Zeichensetzung in der Schriftsprache ähnliche Effizienz zeigen würde. Von den meisten Autoren wird angenommen, daß insbesondere Kommas eine vergleichbare Segmentierungsfunktion ausüben wie prosodische Phrasengrenzen in der gesprochenen Sprache (z.B. Van Petten & Bloom, 1999). Mitchell und Holmes (1985) konnten in einer der wenigen psycholinguistischen Studien zur Verarbeitung von Satzzeichen zeigen, daß Kommas tatsächlich frühzeitig zur Auflösung struktureller Satzambiguitäten beitragen können. Direktvergleiche zwischen der auditiven und der visuellen Modalität mit identischem Sprachmaterial existieren jedoch in der bisherigen Literatur nicht. Darüber hinaus herrscht weitgehende Uneinigkeit darüber, ob Satzzeichen in erster Linie prosodische Muster oder syntaktische Relationen widerspiegeln - bzw. widerspiegeln sollten (Chafe, 1988; Bruthiaux, 1993), wobei sich die normative Seite dieses Disputes nicht zuletzt in der Kritik an und im Wandel von Zeichensetzungsregeln niederschlägt (Böhme, 1995).

In den meisten Fällen sind diese sprachspezifischen Interpunktionsregeln weder sehr strikt formuliert noch werden sie - selbst von Muttersprachlern - sonderlich verlässlich beherrscht (Bruthiaux, 1993). Folglich bleibt es häufig den Vorlieben bzw. der Intuition eines Schreibenden überlassen, ob und wo ein Komma gesetzt wird. Ungeklärt ist, ob es ähnliche inter-individuelle Differenzen auch bei der Komma-Verarbeitung gibt und inwieweit diese wiederum mit der Beherrschung von Kommaregeln zusammenhängen. In psycholinguistischen Perzeptions-Experimenten wird nicht selten vollständig auf Interpunktion verzichtet. Aber selbst in Lesestudien, die wie die oben erwähnte von Mitchell und Holmes (1985) explizit den Einfluß von Kommas untersuchten, wurden individuelle Unterschiede bislang nicht berücksichtigt. Ein entsprechender Versuch wird daher im folgenden Leseexperiment unternommen, wobei zur Erfassung individueller Zeichensetzungsgewohnheiten zusätzlich ein Test zur Kommasetzung durchgeführt wurde. Im Vordergrund der Untersuchung stehen drei Fragestellungen:

1. Sind Kommas ebenso effizient in der Steuerung syntaktischer Satzanalysen wie prosodische Grenzen in gesprochener Sprache?
2. Wird der Einfluß von Kommas auf die Satzverarbeitung durch die individuellen Zeichensetzungsgewohnheiten des Lesers beeinflusst?
3. Gibt es im EKP Anzeichen dafür, daß der Verarbeitung von Kommas beim stillen Lesen die (subvokale) Aktivierung von prosodischen Repräsentationen zugrunde liegt?

Der dritte Punkt läßt sich vor dem Hintergrund der vorhergehenden Experimente auch so umformulieren: Lösen Kommas ebenfalls einen CPS aus? In diesem Kontext sei daran erinnert, daß die Aktivierung von phonologischen Wortrepräsentationen beim stillen Lesen - zumindest in Normalgesunden - völlig unumstritten ist (Bradley & Bryant, 1978; Patterson & Coltheart, 1987; Perfetti, 1994). Auf dieses Phänomen wird häufig mit den Begriffen der *phonologischen (Re-)Kodierung* bzw. der *Subvokalisation* Bezug genommen, wobei Subvokalisation der weitergehende Begriff ist, der nach Auffassung einiger Autoren bereits kritisch die Aktivierung von Muskeln des artikulatorischen Apparates impliziert (Bader, 1998). Anschaulicher werden beide mit dem Terminus der *"inneren Stimme"* umschrieben, die beim stillen Lesen introspektiv erfahrbar ist (Chafe, 1988). Die phonologische Kodierung läßt sich damit erklären, daß die sekundär erlernte Lesefähigkeit auf Ressourcen des phylo- und ontogenetisch ursprünglicheren

auditorischen Sprachverarbeitungssystem zurückgreift.<sup>17</sup> Übertragen auf die nicht-lexikalische Information von Satzzeichen, könnte man analog eine subvokale Aktivierung phrasaler Prosodie erwarten, die auf dieselben Ressourcen zurückgreift wie die Verarbeitung gehörter Prosodie. Die Tatsache, daß mit dem CPS erstmalig ein Maß zur Verfügung steht, das ohne Störung der Sprachverarbeitung die zugrundeliegende prosodische Phrasierung online abbildet, eröffnet zugleich die Möglichkeit, die Verarbeitung von Kommas beim stillen Lesen gezielt auf eine mögliche phonologische bzw. prosodische (Um-)Kodierung hin zu untersuchen.

Hierzu wurde das identische Satzmaterial wie in den auditorischen Experimenten 1-3 verwendet und visuell am Bildschirm dargeboten. Korrekte wie inkorrekte prosodische Grenzen nach Verb1 (*verspricht*) wurden durch Einfügung von Kommata markiert und führten zur vollständigen Kreuzung der Variablen *Satztyp* (A versus B) und *Kommapräsenz* (mit versus ohne Komma). Damit kommt als vierte Bedingung der Satztyp B *ohne* Komma hinzu, für den es in den auditorischen Experimenten keine Entsprechung gab. Die 4 Bedingungen sind in Tabelle 7-1 mit Satzbeispielen aufgeführt. In Abgrenzung zum auditiven Material werden die visuellen Satzbedingungen als 1a, 1a', 1b und 1b' bezeichnet, wobei das Hochkomma jeweils die Sätze markiert, die ein Komma nach dem Verb1 enthalten. In Spalte 3 der Tabelle sind zum Vergleich außerdem die analogen Bedingungsbezeichnungen der auditiven Studie angegeben.

**Tabelle 7-1: Experimentalsätze des Leseexperimentes 4** (\* = Gardenpath-Satz)

| <b>Satztyp</b> | <b>Bezeichnung<br/>(Leseexp.)</b> | <b>Äquivalent im<br/>audit. Exp.</b> | <b>Beispielsatz</b>  |
|----------------|-----------------------------------|--------------------------------------|--|
| <b>A</b>       | <b>1a</b>                         | <b>A</b>                             | <i>Peter verspricht Anna zu arbeiten und das Büro zu putzen</i>    |
| <b>A</b>       | <b>1a'</b>                        | <b>C</b>                             | <i>* Peter verspricht, Anna zu arbeiten und das Büro zu putzen</i> |
| <b>B</b>       | <b>1b</b>                         | -                                    | <i>* Peter verspricht Anna zu entlasten und das Büro zu putzen</i> |
| <b>B</b>       | <b>1b'</b>                        | <b>B</b>                             | <i>Peter verspricht, Anna zu entlasten und das Büro zu putzen</i>  |

<sup>17</sup> Selbst für Piktogrammschriften wie dem Chinesischen wird neuerdings eine streng phonetische Basis angenommen. Diese Auffassung wurde erst im Oktober 1999 von Prof. Michael Studdert-Kennedy in seinem Vortrag "From word to gesture to segment: Emergence of the phoneme" im Rahmen der Konferenz *Basic mechanisms of language and language disorders* in Leipzig vertreten.

Um eine direkte Vergleichbarkeit zwischen den Performanzdaten der auditiven und der Lesestudie zu erlauben, wurde in größtmöglicher Annäherung an die prosodische Akzeptanzbeurteilung eine Aufgabe vorgesehen, in der die Probanden zu entscheiden hatten, ob ein Satz sich einfach lesen ließ oder nicht. Ähnlich Bedingung C der auditiven Experimente, sollte Satz 1a' beim Lesen erhebliche Verarbeitungsprobleme auslösen, falls das inkompatible Komma dazu führte, daß NP2 *Anna* initial als Objekt des darauffolgenden - aber intransitiven - Verbs *arbeiten* interpretiert wurde. In diesem Fall läßt sich Bedingung 1a' wiederum als *reverser* Gardenpath-Satz beschreiben, da die übliche Verarbeitungspräferenz einer Verb1-Anbindung zuerst durch das Komma aufgehoben wird und anschließend diese Analyse ihrerseits wieder korrigiert werden muß.

Umgekehrt sollte für Satztyp B die neu hinzugekommene Bedingung 1b *ohne* Komma schwieriger zu verarbeiten sein als 1b' mit dem Komma. Tatsächlich stellt diese Bedingung 1b (ohne Komma) ein Beispiel für einen *klassischen* Gardenpath-Satz dar, da hier sowohl das Late Closure-Prinzip als auch das Minimal Attachment-Prinzip des Gardenpath-Modells eine präferierte Anbindung der NP2 *Anna* an das erste Verb voraussagen würden, die dann aufgrund der Transitivität des zweiten Verbs *entlasten* revidiert werden muß. Ein Vergleich des reversen Gardenpaths in 1a' und des klassischen Gardenpaths in 1b sollte Aufschluß darüber geben können, ob beide gleich schwierig zu verarbeiten sind. Auf Basis der früheren auditorischen Befunde von Höhle et al. (1995) wäre allerdings zu erwarten, daß der klassische Gardenpath weniger Verarbeitungsprobleme bereitet.

Im Kontext der zu erwarteten Verarbeitungsprobleme spielen außerdem die offiziellen Regeln der Zeichensetzung im Deutschen eine Rolle, da man Bedingung 1a' unter Umständen eher als Regelverstoß bezeichnen kann als Bedingung 1b. Weil Interpunktionsregeln auch im Hinblick auf die Bewertung des Zeichensetzungstests relevant werden, an dem die Probanden der Lesestudie zusätzlich teilnahmen, werden die für das Satzmaterial relevanten Regeln im folgenden Exkurs aufgeführt.

### 7.1.2 Exkurs zu den Zeichensetzungsregeln im Deutschen

Im Gegensatz zu den meisten anderen Sprachen, insbesondere des Englischen, pflegten die Vorschriften der traditionellen Zeichensetzungsregeln des Deutschen eher strikt und obligatorisch zu sein, obwohl es auch hier inter-regionale Kontroversen gab (Böhme, 1995). Die Eigenschaft besonderer Strenge ist durch die im August 1998 in Kraft getretene Rechtsschreibreform teilweise zugunsten liberalerer Bestimmungen aufgehoben worden. Im

Hinblick auf die unten nochmals wiederholten Experimentalsätze A und B muß daher zwischen traditionellen und neuen Regeln unterschieden werden. Dabei werden ausschließlich die drei markierten potentiellen Kommapositionen [1] bis [3] berücksichtigt.

- A** Peter verspricht [1] Anna [2] zu arbeiten [3] und das Büro zu putzen  
**B** Peter verspricht [1] Anna [2] zu entlasten [3] und das Büro zu putzen

Gemäß den **alten Regeln** (Dudenredaktion, 1973) handelt es sich bei Satz B wegen der Einbettung von NP2 *Anna* in die nachfolgende Infinitivkonstruktion um einen erweiterten Infinitivsatz, dem grundsätzlich ein Komma in Position [1] vorauszugehen hat.<sup>18</sup> Aufgrund der Verb1-Anbindung von *Anna* trifft dies auf A nicht zu, so daß in dieser Position kein Komma zu setzen wäre. In Einzelfällen wäre auch in Satz A ein Komma erlaubt, allerdings ausschließlich in Position [2]. In Position [3] wird in beiden Sätzen *kein* Komma gesetzt.

Gemäß den liberaleren **neuen Regeln** (Dudenredaktion, 1996), die dem Schreibenden deutlich mehr Freiheiten zur Hervorhebung eigener Intentionen zugestehen, lassen sich zunehmend Beispiele konstruieren, die sowohl das Weglassen des Kommas in Position [1] von Satz B erlauben, als auch das Setzen eines Kommas in Position [2] von Satz A zum Normalfall werden lassen. Zur Hervorhebung der gewünschten Gliederung darf darüber hinaus in A und B nach Belieben ein Komma in Position [3] gesetzt werden.

Insgesamt scheint sich in der Rechtsschreibreform damit eine stärkere Berücksichtigung von prosodischen Variationen durchgesetzt zu haben, während die Gebundenheit von Kommaregeln an syntaktische Relationen eher in an Gewicht verliert. Den alten wie den neuen Regeln ist gemeinsam, daß das Setzen von Kommas in Positionen [1] und [2] den Satz strukturell eindeutig entweder als A oder B disambiguiert, während einem Komma in Position [3] dieses Differenzierungsvermögen nicht zukommt.

---

<sup>18</sup> Auch für diese strikte Regel läßt sich jedoch eine Ausnahme finden, die von der Mehrdeutigkeit des Verbs *versprechen* herrührt, welches nicht notwendig den Akt des Versprechen-Ablegens beschreibt. So erfordert der Satz *Das Wetter verspricht wieder besser zu werden* auch nach den alten Regeln kein Komma.

### 7.1.3 Hypothesen

1. Für den Zeichensetzungstest wurde erwartet, daß zwischen den Probanden **Unterschiede in der Art der Kommasetzung** auftreten würden. Da es sich bei den Probanden um eine relativ homogene, schulisch überdurchschnittlich gebildete Stichprobe (Studenten) handelte, die Kommaregeln im wesentlichen vor Inkrafttreten der Rechtsschreibreform erworben hatte, war zugleich eine deutliche **Dominanz für die Befolgung der alten Regeln** zu erwarten.
2. Für die Urteile zur Leseschwierigkeit der Sätze wurde ein ähnliches Datenmuster vorhergesagt wie zuvor in der prosodischen Beurteilung der auditiven Experimente. Die Sätze **1a und 1b' sollten als einfach bewertet werden, die Sätze 1a' und 1b als schwierig**, wobei der reverse Gardenpath-Satz 1a' vermutlich am schwierigsten sein würde.
3. In Bezug auf die Fragen zum Satzverständnis wurde erwartet, daß die Probanden - unabhängig von ihren Verarbeitungspräferenzen - jeweils bei denjenigen Sätzen Fehler machen würden, die sie selbst als schwierig zu lesen beurteilten.
4. Es wurde ein **Zusammenhang zwischen Kommasetzungsgewohnheiten und Kommaperzeption** vermutet: Je stärker Probanden ihre eigene Zeichensetzung an den traditionellen Regeln ausrichteten, umso stärker sollten Probleme bei Sätzen mit regelwidriger Kommasetzung in 1a' und 1b auftreten.
5. Auf Basis von Hypothese 2 und der Annahme einer subvokalen Umkodierung der Kommainformation in phonologisch-prosodische Repräsentationen wurde im EKP mit einem **durch Kommas ausgelösten CPS-Muster in den Sätzen 1a' und 1b' gerechnet**. Sofern diese Umkodierung wesentlich für die Bedeutung des Kommas bei der Satzverarbeitung war, wären inter-individuelle Unterschiede in der CPS-Amplitude oder -Dauer in Abhängigkeit von den Performanzdaten zu erwarten.

6. In Bedingung 1a' sollte sich - im Anschluß an den CPS - auf dem inkompatiblen intransitiven Verb2 ein ähnliches **N400-P600-Muster** zeigen wie zuvor in der auditorischen Bedingung C. Für die klassische Gardenpath-Bedingung 2b war ein ähnlicher, wenngleich schwächerer, Effekt auf dem transitiven Verb zu erwarten.

## 7.2 Methoden

An Experiment 4 nahmen 24 Probanden teil. Die Experimentalsätze (48 pro Bedingung) wurden mit 144 Füllersätzen (davon 48 mit Kommaverstößen) auf 8 Blöcke verteilt, und randomisiert in 2 Sitzungen à 4 Blöcken dargeboten. Die Trialpräsentation orientierte sich weitgehend am Schema der auditiven Experimente (vgl. Abb. 3.1). An die Stelle der auditiven Präsentation der Sprachsignale trat jetzt die visuelle Wort-für-Wort-Präsentation der Sätze am Computermonitor. Die Wörter wurden ohne Interstimulusintervall dargeboten, d.h. jedes Wort wurde am Bildschirm ohne Verzögerung vom nächsten ersetzt. Diese Art der Präsentation vermindert das Auftreten exogener EKP-Komponenten wie der N100 und der P200, die normalerweise bei jedem Wortonset und -offset ausgelöst werden. Die Darbietungsdauer des einzelnen Wortes hing von der Art des Satzes (Experimental- oder Füllersatz) und von der Position im Satz ab und wurde von den Dauerwerten der Sprachsignale aus der auditiven Studie abgeleitet. Für die Experimentalsätze wurde sie aus der durchschnittlichen akustischen Sprachsignaldauer aller Wörter in der betreffenden Wortposition, gemittelt über Satztyp A und B, berechnet und dann aufgerundet. Das bedeutet, daß für alle 4 Bedingungen der Experimentalsätze (vgl. Tab. 7-1) ein einheitliches Präsentationsschema mit identischen Darbietungszeiten existierte und die akustischen Dauerunterschiede zwischen den Bedingungen des auditorischen Experiments *nicht* übernommen wurden. Die Markierung der Phrasengrenze war also *ausschließlich durch die Präsenz des Kommas* realisiert, welches in einer Einheit zusammen mit Verb1 präsentiert wurde ("*verspricht,*" versus "*verspricht*"). Für dieses Verb1 wurde eine Darbietungsdauer von 450 ms gewählt, die als kompatibel mit beiden Lesarten (mit und ohne Phrasengrenze) beurteilt wurde. Das vollständige Präsentationsschema ist für die Experimentalsätze in Tabelle 7-2 und für die Füllsätze in Tabelle 7-3 dargestellt.

**Tabelle 7-2: Trialpräsentation für Experimentalsätze des Typs 1a+b.** (\*: Die Dauer der Verb1-Präsentation wurde in Experiment 5 gegenüber Experiment 4 geändert.)

| Frame                                   | Beispiel                                    | Dauer [ms]             | Kumulative Dauer [ms]<br>(relativ zum Onset der EKP Basislinie) |
|---|---|------------------------|---|
| Fixationskreuz                          | +   | 2000                   | -2000-0   |
| NP1                                     | <i>Peter</i>                                | 450                    | 0-450 (=Basislinie!)  |
| Verb1                                   | <i>verspricht<sub>(s)</sub></i>             | 450 (650)*             | 450-900   |
| NP2                                     | <i>Anna</i>                                 | 450                    | 900-1350  |
| Infinitivmarker                         | <i>zu</i>                                   | 300                    | 1350-1650   |
| Verb2                                   | <i>arbeiten / entlasten</i>                 | 800                    | 1650-2450   |
| Konjunktion                             | <i>und</i>                                  | 300                    | 2450-2750   |
| Artikel                                 | <i>das</i>                                  | 300                    | 2750-3050   |
| Nomen                                   | <i>Büro</i>                                 | 450                    | 3050-3500   |
| Infinitivmarker                         | <i>zu</i>                                   | 300                    | 3500-3800   |
| Verb3                                   | <i>putzen</i>                               | 600                    | 3800-4400   |
| Pause                                   |   | 100                    | 4400-4500   |
| Leseurteil                              | <i>"Korrekt?"</i>                           | Antwortzeit<br>Ø = 700 | 4500-5200   |
| Verständnisfrage<br>(in 20% der Trials) | <i>"?" +<br/>auditiv präsentierte Frage</i> | Antwortzeit<br>Ø = 750 | 5950  |
| Lidschlag-Intervall                     | <i>"!!!"</i>                                | 2500                   | 7700 / 8450   |

Im Anschluß an die zweite Experimentalsitzung nahmen alle Probanden zusätzlich an einem Zeichensetzungstest teil, der zur Erfassung der individuellen Gewohnheiten bei der Kommasetzung diente. Der Test bestand aus insgesamt 40 gedruckten Sätzen ohne jede Interpunktion, wovon je 5 den beiden Grundtypen A und B der Experimentalsätze entsprachen. Die Probanden wurden darüber instruiert, daß es nicht um die Abfragung offiziellen Regelwissens ging, sondern daß sie die Kommas gemäß ihren üblichen Gewohnheiten so setzen sollten wie etwa in einem Brief an einen Freund.



**Tabelle 7-3: Trialpräsentation für Füllsätze des Typs 2a+b.** Wegen Unterschieden in der Satzlänge ist das vollständige Trialschema lediglich für Satztyp 2a dargestellt.

| Frame               | Beispiel                             | Dauer [ms]             | Kumulative Dauer [ms]<br>(relativ zum Onset der EKP-Basislinie) |
|---------------------|--------------------------------------|------------------------|---|
| Fixationskreuz      | +                                    | 2000                   |   |
| Artikel             | <i>Der</i>                           | 300                    |   |
| Nomen1              | <i>Mann</i>                          | 450                    |   |
| Verb1               | <i>sah</i>                           | 450                    |   |
| Artikel             | <i>den</i>                           | 400                    |   |
| Noun2               | <i>Jungen,</i>                       | 700                    |   |
| Artikel             | <i>das</i>                           | 300                    | -100-200 (Basislinie: 0-200 ms)                                 |
| Nomen3              | <b><i>Mädchen</i></b> <sub>(f)</sub> | 620                    | 200-820   |
| Verb2 / Konjunktion | <i>sah / und</i>                     | 450                    | 820-1270  |
| Artikel             | <i>den</i>                           | 300                    | 1270-1570   |
| Nomen4              | <i>Großvater,</i>                    | 620                    | 1570-2190   |
| Konjunktion         | <i>und / während</i>                 | 300                    | 2190-2490   |
| Artikel             | <i>der "</i>                         | 300                    |   |
| Nomen5              | <i>Neffe "</i>                       | 450                    |   |
| Verb3               | <i>sah "</i>                         | 450                    |   |
| Artikel             | <i>den "</i>                         | 330                    |   |
| Nomen6              | <i>Onkel "</i>                       | 650                    |   |
| Pause               |                                      | 100                    |   |
| Leseurteil          | <i>"Korrekt?"</i>                    | Antwortzeit<br>∅ = 700 |   |
| Lidschlag-Intervall | <b><i>"!!!"</i></b>                  | 2500                   |   |

## 7.3 Ergebnisse

### 7.3.1 Der Zeichensetzungstest

Die Ergebnisse des Zeichensetzungstests faßt Tabelle 7-4 zusammen. Die 24 teilnehmenden Studenten wurden gemäß ihrer Strategien (s.u.) in drei Gruppen eingeteilt. Unterschiede zwischen den Gruppen und Effekte innerhalb jeder Gruppe wurden statistisch über ANOVAs mit den Faktoren *Satztyp* (2)  $\times$  *Kommaposition* (3)  $\times$  *Gruppe* (3) getestet.

Die erste Gruppe umfaßt 11 Probanden mit einer einheitlichen Strategie, Kommas gemäß den traditionellen Zeichensetzungsregeln zu verwenden (mit maximal einer Regelabweichung pro Versuchsperson). In Satztyp A wurden äußerst selten Kommas gesetzt, und wenn, beschränkten sich diese fast vollständig auf Position [2]. In ausnahmslos allen Sätzen des Typs B fügte diese Probandengruppe dagegen Kommas in Position [1] ein (*Satztyp*  $\times$  *Kommaposition*:  $F(2,20)=157.55$ ;  $p<.0001$ ). Da dieses Muster den in der Schule erlernten traditionellen Regeln entsprach, ist es nicht überraschend, daß diese Probanden die größte homogene Gruppe bildeten. Die übrigen Versuchspersonen zeigten eine große Variabilität abweichender Muster, aber alle von ihnen setzten oder 'vergaßen' wiederholt Kommas an Positionen, die das alte Regelsystem nicht erlaubt hätte.

Interessanterweise fand sich eine Gruppe von 5 Studenten mit einer offensichtlichen Tendenz, Kommas an den disambiguierenden Positionen [1] und [2] zu vollständig vermeiden. Stattdessen bevorzugten sie entweder sowohl in Satztyp A wie in B eine konsistente Kommasetzung in Position [3] (N=4) oder ließen Kommas überhaupt weg (N=1). Diese Teilnehmer werden durch Gruppe IIa repräsentiert, welche von Gruppe I in jeder Hinsicht signifikant abweicht (vgl. Tabelle 7-5). Innerhalb von Gruppe IIa erreichte lediglich ein Haupteffekt *Kommaposition* die Signifikanzgrenze ( $F(1,4)=13.19$ ;  $p<.03$ ).

- A** Peter verspricht [1] Anna [2] zu arbeiten [3] und das Büro zu putzen  
**B** Peter verspricht [1] Anna [2] zu entlasten [3] und das Büro zu putzen

**Tabelle 7-4: Prozentsätze von Kommasetzungen ( $\pm$  Standardabw.) pro Position in Satztyp A und B für jede der drei Probandengruppen.** Das 'erwartete Muster' in Spalte 3 basiert auf den traditionellen Zeichensetzungsregeln.

| Satztyp  | Komma-<br>position | Erwartetes<br>Muster | Abweichende Zeichensetzung |                        |                        |
|----------|--------------------|----------------------|----------------------------|------------------------|------------------------|
|          |                    |                      | Gruppe I<br>(N=11)         | Gruppe IIa<br>(N=5)    | Gruppe IIb<br>(N=8)    |
| <b>A</b> | [1]                | -                    | -                          | -                      | <b>4.1</b> $\pm$ 11.8  |
|          | [2]                | -                    | <b>13.6</b> $\pm$ 27.7     | -                      | <b>27.1</b> $\pm$ 39.8 |
|          | [3]                | -                    | <b>1.5</b> $\pm$ 5.0       | <b>80.0</b> $\pm$ 44.7 | -                      |
| <b>B</b> | [1]                | 100.0                | <b>100.0</b> $\pm$ 0.0     | <b>10.0</b> $\pm$ 22.4 | <b>71.9</b> $\pm$ 38.8 |
|          | [2]                | -                    | -                          | -                      | <b>3.1</b> $\pm$ 8.8   |
|          | [3]                | -                    | -                          | <b>70.0</b> $\pm$ 44.7 | -                      |

Wie Tabelle 7-4 illustriert, schienen die übrigen acht Probanden in Gruppe IIb prinzipiell ähnliche Präferenzen zu haben wie jene in Gruppe I. Wieder wurden die meisten Kommas in Bedingung A an Position [1] eingefügt. Dennoch erwiesen sich die Probanden im Vergleich zu Gruppe I als weniger regeltreu und zeigten sowohl intra- als auch interindividuell stärkere Variabilität. Der deutlichste Unterschied zu Gruppe I besteht darin, daß die Kommasetzung weniger klar auf Satztyp B beschränkt blieb (*Satztyp*  $\times$  *Gruppe*:  $F(1,18)=9.52$ ;  $p<.01$ ).

**Tabelle 7-5: Statistische Analysen für den Zeichensetzungstest.**  
(Komma: Kommaposition; Grp: Gruppe. \*: In Gruppe IIa wurde keine Variabilität über den Satztyp gefunden)

| <b>Analyse</b>                                | <b>Effekt</b>                | <b>F - Wert</b> | <b>p-Wert</b> |
|---|------------------------------|-----------------|---------------|
| Global  | <i>Satztyp x Grp</i>         | 19.46           | .0001         |
|   | <i>Komma x Grp</i>           | 30.42           | .0001         |
|   | <i>Satztyp x Komma x Grp</i> | 7.52            | .0004         |
| Grp I vs IIa                                  | <i>Satztyp x Grp</i>         | 46.35           | .0001         |
|   | <i>Komma x Grp</i>           | 53.32           | .0001         |
|   | <i>Satztyp x Komma x Grp</i> | 30.38           | .0001         |
| Grp I vs IIb                                  | <i>Satztyp x Grp</i>         | 9.52            | .0101         |
|   | <i>Komma x Grp</i>           | 3.49            | .0627         |
|   | <i>Satztyp x Komma x Grp</i> | 1.79            | .2935         |
| Grp IIa vs IIb                                | <i>Satztyp x Grp</i>         | 9.98            | .0136         |
|   | <i>Komma x Grp</i>           | 26.3            | .0001         |
|   | <i>Satztyp x Komma x Grp</i> | 4.66            | .0427         |
| <b>Effekte innerhalb der Probandengruppen</b> |                              |                 |               |
| Gruppe I                                      | <i>Satztyp</i>               | 105.95          | .0001         |
|   | <i>Komma</i>                 | 116.69          | .0001         |
|   | <i>Satztyp x Komma</i>       | 157.55          | .0001         |
| Gruppe IIa                                    | <i>Satztyp</i>               | _*              | -             |
|   | <i>Komma</i>                 | 13.19           | .0221         |
|   | <i>Satztyp x Komma</i>       | 1.0             | .5608         |
| Gruppe IIb                                    | <i>Satztyp</i>               | 16.51           | .0072         |
|   | <i>Komma</i>                 | 12.47           | .0012         |
|   | <i>Satztyp x Komma</i>       | 12.37           | .0097         |

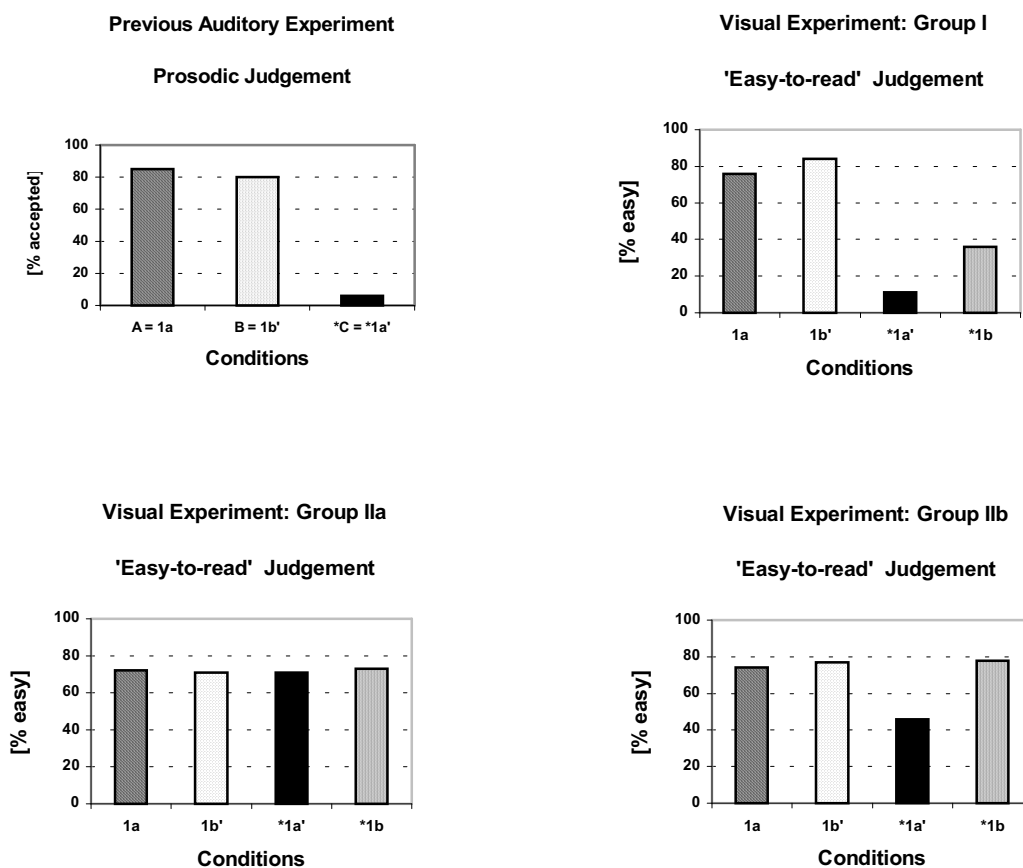
### 7.3.2 Daten des Leseurteils

Die im EKP-Experiment erhobenen Urteile darüber, welche Satzbedingungen leicht bzw. schwierig zu lesen waren, konnten einen ersten Hinweis darauf liefern, ob Kommaverarbeitung beim Lesen mit den eben beschriebenen individuellen Zeichensetzungsgewohnheiten korrespondierten. Die entsprechenden Daten sind in Tabelle 7-6 aufgelistet. Resultate der Varianzanalysen mit den Faktoren *Satztyp* (2)  $\times$  *Komma*präsenz (2)  $\times$  *Gruppe* (3) folgen in Tabelle 7-7.

**Tabelle 7-6: Prozentsätze der als "Leicht zu lesen" bewerteten Experimentalsätze und entsprechende Reaktionszeiten, getrennt nach Satztyp und Probandengruppe.**

| Satz<br>Typ | Abweichende Zeichensetzung |        |            |       |            |       |
|-------------|----------------------------|--------|------------|-------|------------|-------|
|             | Gruppe I                   |        | Gruppe IIa |       | Gruppe IIb |       |
|             | % Leicht                   | (RT)   | % Leicht   | (RT)  | %          | (RT)  |
| 1a          | 76.0                       | (797)  | 72.1       | (694) | 74.2       | (488) |
| 1a'         | 11.4                       | (1004) | 70.8       | (701) | 45.8       | (614) |
| 1b          | 36.0                       | (1025) | 72.5       | (763) | 77.6       | (493) |
| 1b'         | 84.1                       | (701)  | 70.8       | (685) | 76.6       | (513) |

Die Beurteilungen in Gruppe I entsprachen im wesentlichen den prosodischen Urteilen der *auditiven* Studie (Experiment 2), deren Daten zum Vergleich in Abbildung 7.1 nochmals wiederholt werden. Sätze, die im Einklang mit den traditionellen Kommaregeln standen



**Abbildung 7.1:** Leserurteile für die Satzbedingungen 1a, 1b', 1a' und 1b, dargestellt pro Gruppe im Vergleich zum Prosodie-Urteil im auditorischen Experiment (links oben).

**Tabelle 7-7: Statistische Varianzanalysen für die Leseurteile.**  
(Grp: Probanden-Gruppe)

| <b>Analyse</b>                                | <b>Effekte</b>               | <b>F- Wert</b> | <b>p-Wert</b> |
|---|------------------------------|----------------|---------------|
| Global  | <i>Satztyp x Grp</i>         | 2.08           | .1497         |
|   | <i>Komma x Grp</i>           | 0.63           | .5435         |
|   | <i>Satztyp x Komma x Grp</i> | 26.11          | .0001         |
| Grp I vs IIa                                  | <i>Satztyp x Grp</i>         | 4.26           | .087          |
|   | <i>Komma x Grp</i>           | 0.70           | .6247         |
|   | <i>Satztyp x Komma x Grp</i> | 40.51          | .0001         |
| Grp I vs IIb                                  | <i>Satztyp x Grp</i>         | 0.01           | .9999         |
|   | <i>Komma x Grp</i>           | 0.36           | .8350         |
|   | <i>Satztyp x Komma x Grp</i> | 24.97          | .0001         |
| Grp IIa vs IIb                                | <i>Satztyp x Grp</i>         | 3.72           | .12           |
|   | <i>Komma x Grp</i>           | 0.96           | .5235         |
|   | <i>Satztyp x Komma x Grp</i> | 3.29           | .1456         |
| <b>Effekte innerhalb der Probandengruppen</b> |                              |                |               |
| Gruppe I                                      | <i>Satztyp</i>               | 10.41          | .0136         |
|   | <i>Komma</i>                 | 2.48           | .2197         |
|   | <i>Satztyp x Komma</i>       | 92.41          | .0001         |
| Gruppe IIa                                    | <i>Satztyp</i>               | 0.01           | .9999         |
|   | <i>Komma</i>                 | 0.30           | .9165         |
|   | <i>Satztyp x Komma</i>       | 0.04           | .9998         |
| Gruppe IIb                                    | <i>Satztyp</i>               | 6.60           | .0555         |
|   | <i>Komma</i>                 | 2.00           | .3009         |
|   | <i>Satztyp x Komma</i>       | 5.33           | .0813         |

(Bedingung 1a ohne Komma und 1b' mit Komma) wurden gleichermaßen zu etwa 80 % als leicht lesbar eingeschätzt und unterschieden sich nicht von einander ( $p > .2$ ). Die klassische Gardenpath-Bedingung 1b (ohne Komma) wurde dagegen in weniger als 40 % der Trials als einfach bewertet, und der reverse Gardenpath 1a' (mit dem überflüssigen Komma) sogar nur in 11.4 %, was auf noch stärkere Verarbeitungsprobleme hinweist.

Ein völlig anderes Bewertungsmuster wurde hingegen in Gruppe IIa beobachtet. Diese Studenten, die im Zeichensetzungstest kaum ein einziges struktur-disambiguierendes Komma gesetzt hatten, schienen den Kommas auch beim Lesen wenig Beachtung zu schenken. Unabhängig von der Präsenz oder Abwesenheit des Kommas wurden alle vier Satzbedingungen gleichermaßen in etwa 70 % der Fälle als leicht lesbar eingestuft.

Wie im Zeichensetzungstest nahm Gruppe IIb schließlich wieder eine Mittelposition ein. Während drei Bedingungen in annähernd 75 % der Trials als leicht lesbar bewertet wurden, zeigte sich lediglich in der reversen Gardenpath-Bedingung 1a' eine gewisse Abnahme der Akzeptanz auf 45.8 % (*Satztyp x Kommapräsenz*:  $F(1,7)=5.33$ ;  $p<.1$ ).

Statistisch gesehen, wurden nur die Probanden in Gruppe I in ihren Leseurteilen zweifelsfrei von den Kommas beeinflusst und unterschieden sich darin sowohl von Gruppe IIa ( $p<.0001$ ) als auch von Gruppe IIb ( $p<.0001$ ), die wiederum nicht signifikant von einander abwichen ( $p>.1$ ). Dieses Muster unterstützt die vierte Hypothese, wonach die gewohnheitsmäßige Anwendung bestimmter Kommaeregeln mit einer größeren Sensibilität für Kommas beim Lesen einhergeht, wobei regelwidrige Kommasetzung zunächst zu Verarbeitungsproblemen führt.

### 7.3.3 Satzverständnis

Verständnisfragen waren wieder in etwa 20 % der Trials nach Abgabe des Leseurteils auditiv gestellt worden. Die Fragen waren aus der auditorischen Studie übernommen worden und beschränkten sich daher auf die Bedingungen 1a, 1a' und 1b'. Ähnlich wie bei den Leseurteilen, wich Gruppe I auch bei der Beantwortung dieser Verständnisfragen (ca. 10 % Fehler) von den anderen beiden Gruppen ab, die untereinander wieder ein vergleichbares Muster zeigten (26 bzw. 30 % Fehler). Das heißt, die Probanden mit strikten Kommaeregeln in Gruppe I machten signifikant weniger Fehler als die übrigen Versuchspersonen, und zwar in allen Bedingungen (Haupteffekt *Gruppe*:  $F(2,42)=10.02$ ;  $p<.0009$ ).

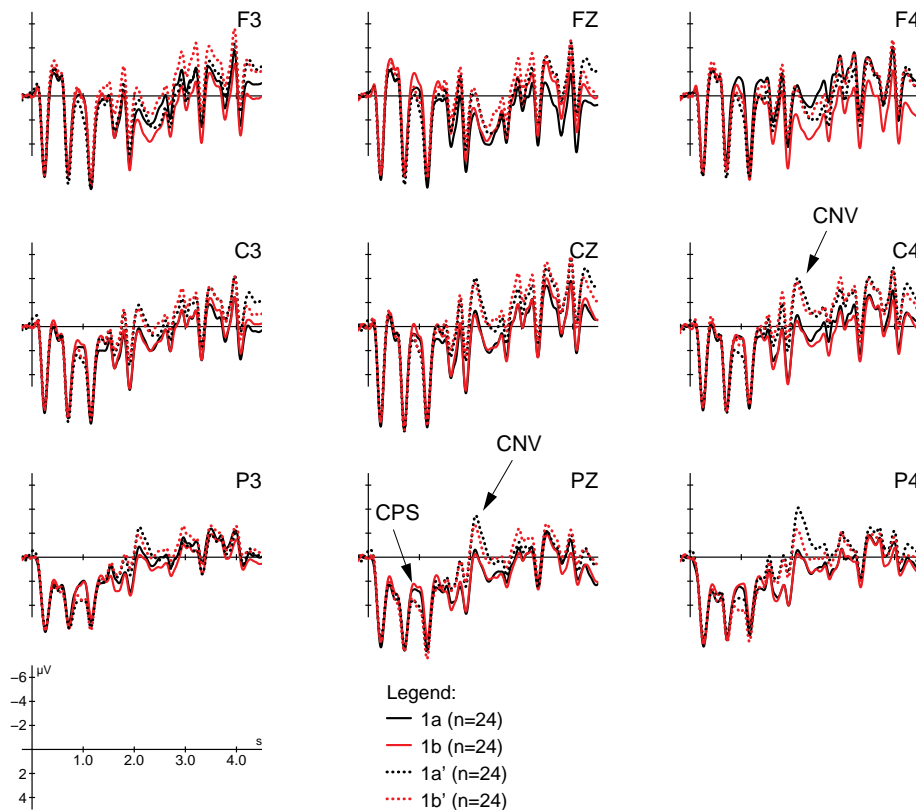
⇒ Zusammenfassend belegen die Performanzdaten einerseits, daß Kommas in geschriebener Sprache eine vergleichbar disambiguierende Rolle bei der Verarbeitung von struktur-ambigen Sätzen zukommen kann wie prosodischen Grenzen in gesprochener Sprache. Andererseits hängt der Grad der Nutzung von Kommainformation beim Lesen jedoch auch von den individuellen Zeichensetzungsgewohnheiten beim Schreiben ab.

### 7.3.4 EKP-Daten

Um in den EKPs das Signal/Rausch-Verhältnis zu verbessern, wurde aufgrund der Übereinstimmungen von Gruppe IIa und Gruppe IIb in den Performanzdaten entschieden, die insgesamt 13 Probanden bei den EKPs zusammen auszuwerten. Auf sie wird im Folgenden als Gruppe II Bezug genommen, die gegen die ursprüngliche Gruppe I (N=11) kontrastiert wird.

#### 7.3.4.1 Komma-Effekte

In Abbildung 7.2 ist zunächst ein Grand average aller 24 Probanden für die vier Hauptbedingungen bis 4.5 Sekunden nach Satzbeginn dargestellt. Als Basislinie diente die Präsentationszeit des in allen Bedingungen identischen ersten Wortes (*Peter*), also die ersten



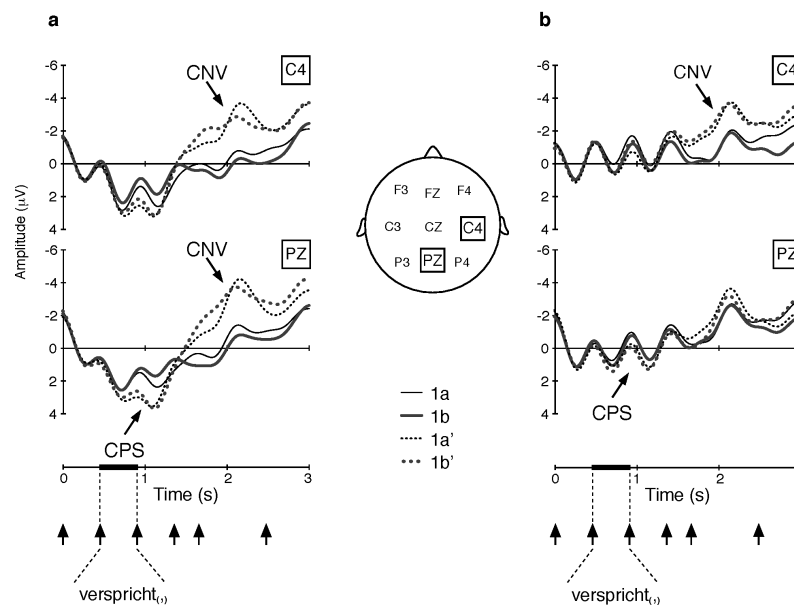
**Abbildung 7.2:** EKPs über den gesamten Satz für alle VPn in Experiment 4 (N=24). Nach Darbietung des zweiten Wortes (*verspricht*) treten in den Kommabedingungen 1a' und 1b' (punktiert) erst eine CPS-ähnliche Positivierung und dann eine langsame Negativierung (CNV) auf.



450 ms. Die Bedingungen 1a' und 1b' mit dem Komma nach Verb1 *verspricht* sind als gepunktete Kurven geplottet, die Bedingungen 1a und 1b ohne Komma hingegen als durchgezogenen Linien. Im Gegensatz zu den EKPs der auditorischen Experimente, die nur am Satzanfang deutliche P200-Komponenten aufwiesen, findet sich bei visueller Präsentation für jeden Wortbeginn eine typische großamplitudige P200 mit fronto-centralem Maximum.

Vor allem an posterioren Elektroden (z.B. PZ) erkennt man im Anschluß an die P200 des zweiten Wortes (*verspricht*) eine bedingungsabhängige Differenz: Die beiden Kommabedingungen zeigen einen positiveren Verlauf als die Bedingungen ohne Komma (etwa zwischen 800 und 1100 ms der Zeitskala). Da das Verb zwischen 450 und 900 ms präsentiert wurde (vgl. Tabelle 7-2), tritt dieser Unterschied also mit einer Latenz von ca. 350 ms zum Präsentationsbeginn des kritischen Wortes auf. Nach weiteren 300 ms, also etwa bei 1400 ms nach Satzbeginn, kehrt sich dieses Muster qualitativ um, das heißt, nun zeigen die Kommabedingungen einen negativeren Verlauf als die kommafreen Bedingungen. Dieser zweite Effekt (CNV in Abb. 7.2) ist am deutlichsten an centralen Elektroden ausgeprägt (besonders rechtshemisphärisch an C4) und hält länger als 1 Sekunde an.

Das biphasische Muster für die Kommabedingungen (erst eine Positivierung, dann eine langanhaltende Negativierung) ließ sich statistisch absichern. In einer Anova wurden repräsentative Zeitfenster beider Effekte (900-1100 ms für die Positivierung und 1500-2500 ms für die Negativierung) auf den Kommaeinfluß hin verglichen. An den Mittellinienelektroden fand sich eine hochsignifikante Interaktion *Zeitfenster x Komma* ( $F(1,22) = 42.80$ ;  $p < .0001$ ). Darüber hinaus zeigte sich, daß das biphasische Muster sich zwischen den Probandengruppen I und II unterschied (*Zeitfenster x Komma x Gruppe*:  $F(1,22) = 4.82$ ;  $p < .04$ ; *Zeitfenster x Komma x Elektrode x Gruppe*:  $F(2,44) = 4.19$ ;  $p < .03$ ). Separate Analysen innerhalb jeder Gruppe ergaben, daß der Kommaeinfluß vor allem in Gruppe I auftrat (*Zeitfenster x Komma* ( $F(1,10) = 40.69$ ;  $p < .0001$ ) und nur abgeschwächt in Gruppe II zu finden war (*Zeitfenster x Komma* ( $F(1,12) = 9.27$ ;  $p < .01$ ). Gleichläufige Unterschiede ließen sich auch an lateralen Elektroden zeigen.



**Abbildung 7.3:** EKPs der vier Bedingungen in Experiment 4 an zwei repräsentativen Elektroden (C4 und PZ), getrennt für beide Hauptgruppen. **(a)** Gruppe I, **(b)** Gruppe II. Nach dem kritischen Wort *verspricht* (schwarzer Balken) treten in den Kommabedingungen (punktiert) sowohl die frühe Positivierung (CPS) als auch die nachfolgende langsame Negativierung (CNV) in Gruppe I deutlicher als in Gruppe II auf.

Die zugrundeliegenden EKP-Verläufe innerhalb jeder Gruppe sind getrennt nochmals in Abbildung 7.3a+b an den repräsentativen Elektroden C4 und PZ dargestellt. Um die eigentlich interessierenden Effekte gegenüber den dominierenden großamplitudigen P200-Komponenten (vgl. Abb. 7.2) hervorzuheben, wurden die Signale für diese Darstellung mit 1 Hertz tiefpaßgefiltert. Sämtliche Statistiken beruhen jedoch auf den ungefilterten Daten. Für die Probanden der Gruppe I, welche sich in den Performanzdaten als besonders sensibel bei der Kommaverarbeitung herausgestellt hatten, lassen sich sowohl die frühe parietale Positivierung als auch die spätere langsame Negativierung deutlich in beiden Kommabedingungen 1a' und 1b' erkennen (Fig. 7.3a). In Gruppe II fallen beide Komponenten schwächer aus (Fig. 7.3b), und lediglich die langsame Negativierung tritt an der C4-Elektrode klar hervor. Die beiden Komponenten wurden getrennten statistischen Analysen unterzogen, deren Ergebnisse in den Tabellen 7-8 und 7-9 zusammengefaßt sind. Der zuvor erwähnte 200 ms-Zeitbereich der Positivierung (900-1100 ms nach Satzbeginn bzw. 450-650 ms nach Beginn des kritischen

Verb1) wurde dabei zur besseren zeitlichen Auflösung nochmals in zwei Intervalle zu je 100 ms unterteilt, während der 900 ms-Zeitbereich für die Negativierung in drei Intervalle à 300 ms aufgetrennt wurde. Die globalen ANOVAs umfaßten damit die Faktoren *Komma*präsenz (2) x *Satztyp* (2) x *Elektrode* (3) x *Zeitfenster* (2 bzw. 3) x *Gruppe* (2).

Im Hinblick auf die frühe Positivierung (vgl. Tab. 7-8) ergab sich eine deutlich stärkere Prominenz der Komponente in Gruppe I. Ein Haupteffekt *Komma* ließ sich bei getrennten Gruppenanalysen nur innerhalb Gruppe I nachweisen ( $p < .05$ ), nicht aber in Gruppe II ( $F < 1$ ). Statt der erwarteten globalen Interaktion *Komma* x *Gruppe* fand sich eine Vierfach-Interaktion *Komma* x *Elektrode* x *Zeitfenster* x *Gruppe* ( $p < .01$ ), die sowohl die zeitliche Charakteristik (stärkere Effekte im späten Zeitfenster, also zwischen 1000 und 1100 ms nach Satzbeginn;  $p < .02$ ) als auch die Skalpverteilung der Komponente (posterior stärker als anterior;  $p < .02$ ) in Gruppe I reflektierten. Diese topographische Verteilung entspricht genau derjenigen des CPS in den auditorischen Experimenten. In Gruppe II erreichte der Einfluß der Kommapräsenz auch in keinem der (parallel zu Gruppe I durchgeführten) Einzelvergleiche das Signifikanzniveau.

Bezüglich der späten Negativierung ergaben sich keine Unterschiede zwischen den drei Zeitfenstern. Tabelle 7-9 belegt, daß auch diese Komponente vor allem in Gruppe I auftrat (Haupteffekt *Komma*:  $p < .007$ ). Interaktionen mit dem Faktor *Elektrode* und - an lateralen Ableitorten - mit dem Faktor *Hemisphäre* konnten in weiteren Analysen darauf zurückgeführt werden, daß die Negativierung vor allem central ( $p < .002$ ) und leicht rechts-lateralisiert ( $p < .07$ ) fokussiert war. In Gruppe II erreichte der Kommaeffekt nur knapp das Signifikanzniveau ( $p < .05$ ) und war insgesamt etwas stärker frontal ausgeprägt als in Gruppe I. Die in beiden Gruppen insgesamt fronto-centrale Skalpverteilung der Negativierung mit leichter Rechtsdominanz entspricht derjenigen einer Contingent Negative Variation (CNV), welche normalerweise Erwartungsprozesse hinsichtlich eines zeitlich vorhersagbaren Reizes abbildet (Tecce & Cattanach, 1989).

Neben den repräsentativen Zeitbereichen der Komponenten wurden zur Kontrolle je 100 ms-Zeitintervalle unmittelbar vor bzw. nach der Positivierung (800-900 ms bzw. 1100-1200 ms nach Satzbeginn) sowie ein 500 ms-Zeitfenster im Anschluß an die Negativierung statistisch untersucht, um das Einsetzen bzw. Ausklingen der Komponenten einschätzen zu können. Abgesehen von einem abgeschwächten Komma-Effekt im späten Zeitfenster von Gruppe I ( $p < .04$ ), der die anhaltende Negativierung reflektierte, fanden sich keinerlei Effekte.

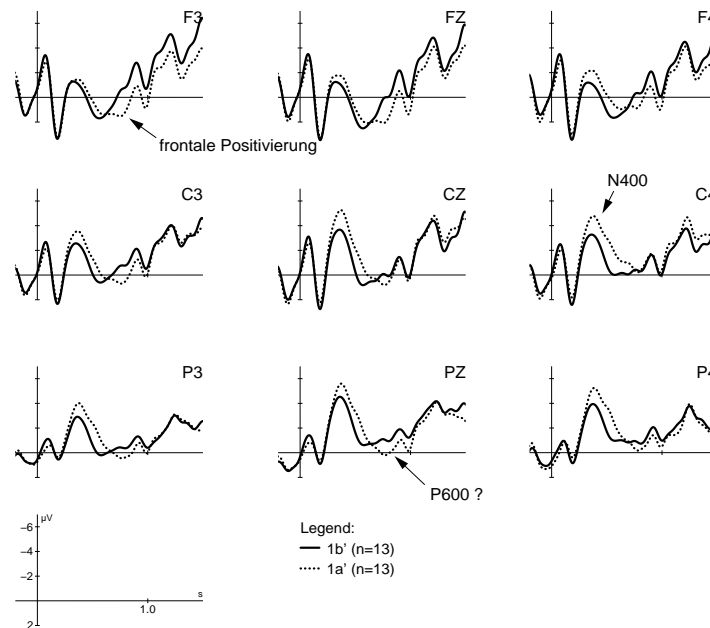
**Tabelle 7-8: Analysen für die Positivierung an Mittellinien- und lateralen Elektroden.**  
 (Komma= Kommapräsenz; Elek = Elektrode; ZF=Zeitfenster; \*= Latenzen [ms] ab Verb1 Onset; ns=nicht signifikant; grau markierte Zeilen markieren die wichtigsten Befunde)

| Effekt                           | Global   |        | Gruppe I |        | Gruppe II |        |
|----------------------------------|----------|--------|----------|--------|-----------|--------|
|                                  | F - Wert | p-Wert | F - Wert | p-Wert | F - Wert  | p-Wert |
| <b>Mittellinien-Elektroden</b>   |          |        |          |        |           |        |
| Komma                            | 4.84     | .04    | 4.87     | .05    | 0.5       | n.s.   |
| Komma x<br>Gruppe                | 1.68     | n.s.   |          |        |           |        |
| Elek x ZF x<br>Komma x<br>Gruppe | 5.35     | .01    |          |        |           |        |
| Elek x ZF x<br>Komma             |          |        | 4.42     | .03    | 1.4       | n.s.   |
| ZF x Komma                       | 3.12     | .09    | 3.84     | .08    | 0.5       | n.s.   |
| Komma (450-550)*                 | 3.32     | .08    | 3.71     | .08    | 0.3       | n.s.   |
| Komma (550-650)                  | 6.32     | .02    | 5.92     | .03    | 0.8       | n.s.   |
| Komma (FZ)                       |          |        | 3.41     | .09    | 0.3       | n.s.   |
| Komma (CZ)                       |          |        | 4.57     | .05    | 0.4       | n.s.   |
| Komma (PZ)                       |          |        | 6.93     | .02    | 1.8       | n.s.   |
| <b>Laterale Elektroden</b>       |          |        |          |        |           |        |
| Komma                            | 4.65     | .04    | 3.67     | .08    | 0.9       | n.s.   |
| Komma x<br>Gruppe                |          | n.s.   |          |        |           |        |
| Elek x ZF x<br>Komma x<br>Gruppe | 5.35     | .01    |          |        |           |        |
| Komma (450-550)                  |          |        | 1.80     | n.s.   | 0.8       | n.s.   |
| Komma (550-650)                  |          |        | 6.83     | .02    | 0.9       | n.s.   |
| Komma (F3/4)                     | 3.93     | .06    | 2.92     | n.s.   | 0.7       | n.s.   |
| Komma (C3/4)                     | 3.99     | .06    | 6.58     | .03    | 0.0       | n.s.   |
| Komma (P3/4)                     | 7.23     | .01    | 6.32     | .03    | 1.9       | n.s.   |

**Tabelle 7-9: Analysen für die Negativierung an Mittellinien- und lateralen Elektroden.** (Komma= Kommapräsenz; Elek = Elektrode; ZF=Zeitfenster; ns=nicht signifikant; grau markierte Zeilen markieren die wichtigsten Befunde)

| Effekt                         | Global   |        | Gruppe 1 |        | Gruppe 2 |        |
|--------------------------------|----------|--------|----------|--------|----------|--------|
|                                | F - Wert | p-Wert | F - Wert | p-Wert | F - Wert | p-Wert |
| <b>Mittellinien-Elektroden</b> |          |        |          |        |          |        |
| Komma                          | 15.35    | .0007  | 11.19    | .007   | 4.99     | .05    |
| Komma x Gruppe                 | 2.67     | n.s.   |          |        |          |        |
| Elek x Komma x Gruppe          | 3.27     | .06    |          |        |          |        |
| Komma (FZ)                     | 6.43     | .02    | 4.54     | .03    | 5.50     | .04    |
| Komma (CZ)                     | 15.75    | .0007  | 14.03    | .004   | 4.51     | .06    |
| Komma (PZ)                     | 13.47    | .002   | 13.55    | .004   | 1.97     | n.s.   |
| <b>Laterale Elektroden</b>     |          |        |          |        |          |        |
| Komma                          | 7.78     | .01    | 4.38     | .07    | 3.49     | .09    |
| Komma x Gruppe                 |          | n.s.   |          |        |          |        |
| Elek x Komma                   | 4.63     | .02    | 8.57     | .005   |          |        |
| Elek x Komma x Gruppe          | 6.60     | .004   |          |        |          |        |
| Elek x Komma x hemisphere      | 2.64     | .09    | 3.42     | .07    |          |        |
| Komma (F3/4)                   | 0.4      | n.s.   | 0.21     | n.s.   | 2.55     | n.s.   |
| Komma (C3/4)                   | 16.06    | .0006  | 19.15    | .002   | 4.40     | .06    |
| Komma (P3/4)                   | 10.08    | .005   | 9.53     | .01    | 1.38     | n.s.   |

⇒ Trotz vergleichbarer Topografie handelte es sich bei der an Kommapositionen gefundenen frühen Positivierung - im Gegensatz zum CPS der auditiven Experimente - um einen relativ kleinamplitudigen (1-1.5  $\mu\text{V}$ ) und zeitlich eng beschränkten Effekt (100-200 ms). Die zusätzlich beobachtete, CNV-ähnliche langsame Negativierung, für die im EKP der auditorischen Experimente keine Entsprechung nachweisbar war, zeichnete sich dagegen durch eine größere Amplitude (bis zu 3  $\mu\text{V}$ ) und eine erhebliche Dauer (> 1500 ms) aus.

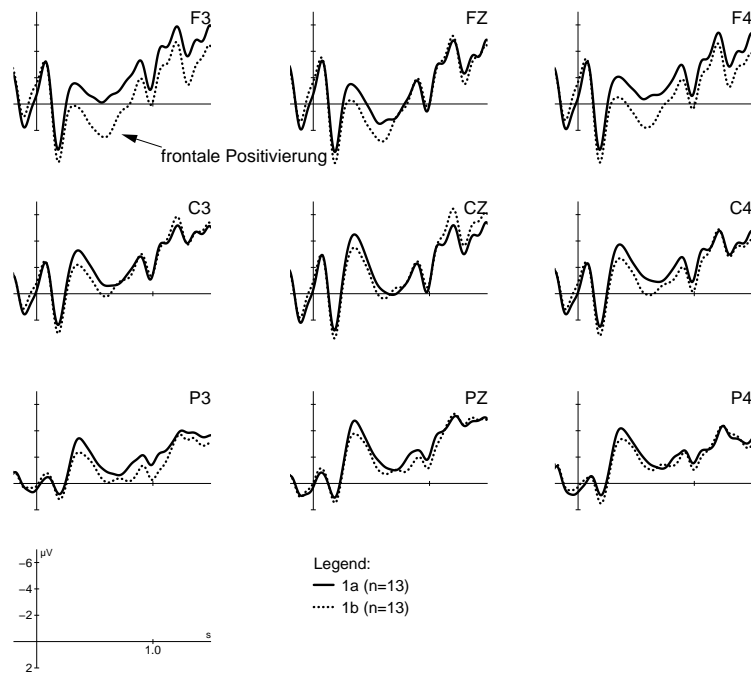


**Abbildung 7. 4:** EKP-Vergleich der Kommabedingungen 1b' : 1a' in Gruppe I

#### 7.3.4.2 Gardenpath-Effekte

Neben den EKP-Korrelaten für die Verarbeitung der Kommata war auch von Interesse, inwieweit die in den Performanzdaten gefundenen Gardenpath-Effekte online vom EEG reflektiert wurden. Hierzu wurden zusätzliche Epochen für das kritische Verb2 (*arbeiten* versus *entlasten*) berechnet und statistische Bereichsmittelwert-Vergleiche über beide Probandengruppen sowie innerhalb jeder Gruppe durchgeführt.

In Anlehnung an die Daten der auditorischen Studien zeigt Abbildung 7.4 an 9 Elektroden einen Vergleich der beiden Kommabedingungen 1b' (korrekt) und 1a' (inkorrekt) in Gruppe I. Dieser Vergleich entspricht damit den früheren Bedingungen B (korrekt) und C (inkorrekt) (vgl. Abb. 5.2). Etwa zwischen 350 und 650 ms nach Verbbeginn weist die Gardenpath-Bedingung 1a' (*Peter verspricht, Anna zu arbeiten ...*) eine größere centro-parietale Negativierung (N400-Komponente) auf als die korrekte Bedingung 1b' (*Peter verspricht, Anna zu entlasten ...*). Ihr schließen sich sowohl frontal als auch parietal kleinamplitudige Positivierungen an. Statistisch erwies sich lediglich die N400 als bedeutsam (Haupteffekt *Satztyp*:  $p < .03$ ; vgl. Tabelle 7-10). In Gruppe II (ohne Abbildung) erreichte kein einziger Effekt das Signifikanzniveau.



**Abbildung 7.5:** EKP-Vergleich der Komma-freien Bedingungen 1a : 1b in Gruppe I

**Tabelle 7-10: Analysen für den Bedingungsvergleich 1a' versus 1b' an Mittellinien- und lateralen Elektroden.** ( Elek = Elektrode; ZF=Zeitfenster; ns=nicht signifikant; grau markierte Zeilen markieren die wichtigsten Befunde.)

| Zeitbereich (relativ zum Verb2-Onset) | Effekt                         | Global  |        | Gruppe I    |            | Gruppe II |        |
|---------------------------------------|--------------------------------|---------|--------|-------------|------------|-----------|--------|
|                                       |                                | F- Wert | p-Wert | F- Wert     | p-Wert     | F- Wert   | p-Wert |
| <b>Mittellinien-Elektroden</b>        |                                |         |        |             |            |           |        |
| <b>450-650 ms (N400)</b>              | <i>Satztyp x Gruppe</i>        | 3.16    | .08    |             |            |           |        |
|                                       | <i>Satztyp</i>                 |         |        | <b>6.19</b> | <b>.03</b> | 0.07      | n.s    |
| <b>650-850 ms (Positivierungen)</b>   | <i>Satztyp x Elek x Gruppe</i> | 3.27    | .05    |             |            |           |        |
|                                       | <i>Satztyp x Elek</i>          |         |        | 2.15        | n.s.       | 1.69      | n.s.   |
| <b>Laterale Elektroden</b>            |                                |         |        |             |            |           |        |
| <b>450-650 ms (N400)</b>              | <i>Satztyp x Gruppe</i>        | 4.07    | .05    |             |            |           |        |
|                                       | <i>Satztyp</i>                 | 3.36    | .08    | <b>6.61</b> | <b>.03</b> | 0.02      | n.s    |
| <b>650-850 ms (Positivierungen)</b>   | <i>Satztyp x Elek x Gruppe</i> | 0.72    | n.s.   |             |            |           |        |
|                                       | <i>Satztyp x Elek</i>          |         |        | 0.46        | n.s.       | 1.21      | n.s.   |

Analog zu den beiden Kommabedingungen wurden auch die Bedingungen 1a und 1b, die kein Komma nach dem ersten Verb enthielten, miteinander verglichen. Die entsprechenden EKPs für Gruppe I sind in Abbildung 7.5 dargestellt. Im Gegensatz zur centro-parietalen N400 läßt sich in diesem Vergleich für den Gardenpath-Satz 1b eine vor allem frontal ausgeprägte Positivierung erkennen, die etwa bei 350 ms nach Verbbeginn einsetzt und mehrere Hundert Millisekunden andauert. Wie in Tabelle 7-11 aufgeführt, konnte der Effekt vor allem an lateralen Elektroden bereits im frühen Zeitbereich zwischen 350 und 650 ms statistisch abgesichert werden (Haupteffekt *Satztyp*;  $p < .03$ ). Nachfolgend, zwischen 650 und 850 ms, unterstrich die zusätzliche marginale Interaktion mit den Faktoren *Elektrode* und *Hemisphäre* ( $p < .08$ ), daß die Bedingungsdivergenz hauptsächlich linksfrontal auftrat. In den späten Zeitintervallen zeichnete sich eine vergleichbare Negativierung auch in Gruppe II ab und führte zum globalen Haupteffekt *Satztyp* ( $p < .03$ ).

**Tabelle 7-11: Analysen für den Bedingungsvergleich 1a versus 1b an Mittellinien- und lateralen Elektroden.** ( Elek = Elektrode; ZF=Zeitfenster; ns=nicht signifikant; grau markierte Zeilen markieren die wichtigsten Befunde)

| Zeitbereich (relativ zum Verb2-Onset) | Effekt                       | Global      |            | Gruppe I    |            | Gruppe II |        |
|---------------------------------------|------------------------------|-------------|------------|-------------|------------|-----------|--------|
|                                       |                              | F- Wert     | p-Wert     | F- Wert     | p-Wert     | F- Wert   | p-Wert |
| <b>Mittellinien-Elektroden</b>        |                              |             |            |             |            |           |        |
| <b>350-650 ms</b>                     | <i>Satztyp x Gruppe</i>      | 2.78        | .1         |             |            |           |        |
|                                       | <i>Satztyp</i>               | 1.74        | n.s.       | <b>4.80</b> | <b>.05</b> | .06       | n.s.   |
| <b>650-850 ms</b>                     | <i>Satztyp x Gruppe</i>      | 1.07        | n.s.       |             |            |           |        |
|                                       | <i>Satztyp</i>               | 1.34        | n.s.       | 1.51        | n.s.       | .01       | n.s.   |
| <b>Laterale Elektroden</b>            |                              |             |            |             |            |           |        |
| <b>350-650 ms</b>                     | <i>Satztyp x Gruppe</i>      | 3.16        | .08        |             |            |           |        |
|                                       | <i>Satztyp</i>               | 1.78        | n.s.       | <b>5.69</b> | <b>.03</b> | .09       | n.s.   |
| <b>650-850 ms</b>                     | <i>Satztyp x Gruppe</i>      | 0.90        | n.s.       |             |            |           |        |
|                                       | <i>Satztyp</i>               | <b>5.25</b> | <b>.03</b> | 3.14        | .1         | 1.8       | n.s.   |
|                                       | <i>Satztyp x Elek x Hemi</i> |             |            | 2.89        | .07        |           |        |



⇒ Die EKP-Daten der Gardenpath-Bedingungen decken sich nur zum Teil mit den Hypothesen. Erstens wurde für den schweren Gardenpath-Satz 1a' in Gruppe I lediglich eine N400, nicht aber eine P600-Komponente beobachtet (Hypothese 6). Zweitens fand sich in der leichteren Gardenpath-Bedingung 1b eine für syntaktische Verarbeitungsprobleme unerwartete frontale Positivierung. Daß die jeweiligen Effekte in Gruppe II insgesamt schwächer ausgeprägt waren, steht hingegen in Einklang mit den Performanzdaten und deckt sich mit den Voraussagen der fünften Hypothese.

## **7.4 Diskussion**

Das vierte Experiment lieferte für eine Reihe von Fragen bezüglich der Verarbeitung von Satzzeichen aufschlußreiche Daten.

### **7.4.1 Performanzdaten**

#### *7.4.1.1 Der Zeichensetzungstest*

Im Interpunktionstest stellte sich zunächst in Übereinstimmung mit Hypothese 1 heraus, daß selbst eine ausbildungsmäßig relativ homogene Gruppe von Versuchspersonen (Studenten der Universität Leipzig) große Differenzen in den Kommasetzungsgewohnheiten aufweist. Während knapp die Hälfte der Probanden in den Experimentalsätzen die Kommas erwartungsgemäß entsprechend den traditionellen Dudenregeln einfügte (nur nach *verspricht* in Satztyp B), wich die Kommasetzung der übrigen Versuchspersonen mit erheblicher intra- und interindividueller Variabilität von diesen Regeln ab. Dabei wurden sowohl Kommas in Satztyp B (an Position [1]) ausgelassen als auch in allen Satztypen Kommas an verschiedenen Positionen eingefügt. Interessanterweise ist die weitaus größte Anzahl dieser Abweichungen mit einer prinzipiell zulässigen prosodischen Phrasierung kompatibel: In weniger als 6% aller Fälle wurden Kommas so plazierte, daß sie zu einer unsinnigen Phrasierung führten (*Peter verspricht, Anna zu arbeiten ...* bzw., *Peter verspricht Anna, zu entlasten ...*) und damit auch gegen die neuen Zeichensetzungsregeln des Deutschen verstießen. Zusätzliche Kommainsertionen traten vor allem im nicht-erweiterten Infinitivsatz (*Peter verspricht Anna, zu arbeiten ...*) sowie an der zweiten Intonationsphrasengrenze (*Peter verspricht Anna zu Verb2, und das Büro zu putzen*) auf und waren daher mit den neuen Regeln vereinbar. Da die Versuchspersonen angaben, ihre Zeichensetzung nicht in Folge der Rechtschreibreform geändert zu haben, kann davon ausgegangen werden, daß die größere Liberalität des neuen Regelwerks im wesentlichen der

faktischen individuellen Variabilität Rechnung trägt. Die Tatsache, daß auch abweichende Interpunktion bis auf wenige Ausnahmen phonologische Phrasierungsgrenzen respektierte, könnte als Indiz für eine generelle Beteiligung prosodisch-phonologischer Prozesse bei der Zeichensetzung im Sinne Chafes (1988) gewertet werden. Das würde bedeuten, daß diejenigen Probanden, die ihre Kommas gemäß der traditionellen Regeln setzten (Gruppe I), die syntaktisch kritische Phrasengrenze nach dem ersten Verb in Satz B möglicherweise phonologisch deutlicher als Grenze markierten als die übrigen Versuchspersonen. Auffällig waren in dieser Hinsicht vor allem die 5 Probanden der Untergruppe IIa, welche an der kritischen Position generell keine Kommas plazierten und dem potentiellen Leser damit auch keine frühzeitige disambiguierende Information zur Verfügung stellten. Als Ursache für das Auslassen des entsprechenden Kommas in Satztyp B konnte mangelnde Kooperation ausgeschlossen werden: Selbst derjenige Proband, der in beiden Satztypen A und B grundsätzlich keine Satzzeichen einfügte, setzte - wie fast alle Probanden - in Füllsätzen die Kommas konsistent im Einklang mit den alten Regeln (*Der Mann sah die Frau, das Mädchen und den Großvater ...*) und unterschied hierbei außerdem zwischen verschiedenen Formen der Aufzählung (NP versus Satz; vgl. Abschnitt 3.2).

#### 7.4.1.2 Leseurteile und Satzverständnis

Eines der bemerkenswertesten Resultate des Experiments war die hohe Übereinstimmung zwischen den individuellen Zeichensetzungsgewohnheiten einerseits und der Beachtung von Kommas beim Lesen andererseits. Probanden mit starker Ausrichtung an den alten Zeichensetzungsregeln (Gruppe I) beurteilten auch die Lesbarkeit der Sätze entscheidend danach, ob die Kommas regelgetreu gesetzt waren. Probanden der Gruppe IIa, die keine disambiguierenden Kommas gesetzt hatten, beurteilten die Sätze dagegen völlig unabhängig von der Zeichensetzung in ca 70 % der Trials als gut lesbar. Gruppe IIb zeigte wie schon im Zeichensetzungstest ein intermediäres Muster. Damit wurde Hypothese 4 völlig bestätigt.

Im Hinblick auf die Frage, ob prosodische Grenzen und Kommas ähnlich effektiv syntaktische Parsingentscheidungen beeinflussen können, fällt die Antwort entsprechend komplex aus: Kommas *können* offenbar ebenso effektiv auf das Satzverständnis einwirken wie prosodische Information, womit die Befunde von Mitchell und Holmes (1985) bestätigt zu werden scheinen. Dies ist aber nur dann der Fall, wenn der Leser die Kommmainformation adäquat verarbeitet, was möglicherweise gleichbedeutend ist mit: wenn der Leser an entsprechender Satzposition selbst zur Disambiguierung Kommas einsetzen würde (wie in Gruppe I). Tatsächlich replizieren die

Leseurteile in Gruppe I nahezu exakt die prosodischen Urteile der auditiven Experimente und bestätigen für diese Probanden Hypothese 2: hohe Akzeptanz für Sätze 1a und 1b', geringe für die Gardenpath-Sätze 1a' und 1b. Das heißt, daß die Kommainsertion ähnlichen Einfluß auf die Syntaxanalyse hatte wie die prosodische Phrasengrenze bei auditiver Satzpräsentation. Dies gilt ebenso für die Verhinderung von Gardenpath-Effekten (in 1b') wie für deren Auslösung (in 1a'). Bei den anderen Probanden war dieses Muster gar nicht (Gruppe IIa) oder nur reduziert (Gruppe IIb) zu beobachten. Da dieselben Probanden in anderen Satzstrukturen sehr wohl konsistent und regelhaft Kommas setzten, bleibt zunächst ungeklärt, ob die Kommaperzeption lediglich individuell variiert, oder ob die individuellen Differenzen zusätzlich noch durch die Art des syntaktischen Kontextes und die damit einhergehende (subjektive) Salienz moduliert wird. So wäre sowohl vorstellbar, daß bei fehlenden Kommas innerhalb von Aufzählungssätzen auch Probanden der Gruppe IIa in ihren Leseurteilen beeinflusst werden. Alternativ könnte es sich in dieser Gruppe aber auch um eine generell reduzierte Beeinflußbarkeit der Satzverarbeitung durch Zeichensetzung handeln. Vor allem im ersten Fall stellt sich darüber hinaus die Frage, ob die Empfindlichkeit für Kommas beim Lesen direkt an das Beherrschen entsprechender (grammatischer) Regeln gebunden ist und inwieweit deren Anwendung wiederum prosodisch vermittelt wird. Diese Frage wird im Kontext des nächsten Experimentes nochmals aufgegriffen.

Die deutlich geringere Akzeptanz für den reversen Gardenpath-Satz 1a' gegenüber dem klassischen Gardenpath-Satz 1b sowohl in Gruppe I (11.4 vs. 36.0 %) als auch in Gruppe IIb (45.8 vs. 76.6 %) untermauern ähnliche Befunde eines auditiven Experiments von Höhle et al. (1995). Da es sich bei den Leseurteilen um Offline-Daten handelt, dürften sich hier insbesondere Unterschiede in der *Schwere* des Gardenpaths (also des für die Korrektur nötigen Aufwandes) niederschlagen. Die unterschiedlichen Bewertungen lassen sich sowohl rein strukturell (syntaktisch) als auch über prosodische Verarbeitungsprozesse erklären. Psycholinguistisch gesehen, handelt es sich bei Satz 1b um die Reanalyse einer initialen *Late Closure/Minimal Attachment* Struktur zur nicht-präferierten *Early Closure/ Non-Minimal Attachment* Struktur (Frazier, 1987), also LC/MA → EC/NMA. Der reverse Gardenpath-Satz 1a' verlangt dagegen die umgekehrte Reanalyse (EC/NMA → LC/MA). Mit Gorrell (1995) könnte man nun argumentieren, daß Satz 1a' deshalb schwieriger ist, weil die notwendige Reanalyse eine *Strukturänderung* (structure alteration), Satz 1b dagegen nur eine *Strukturaddition* hinsichtlich der initial etablierten Dominanzverhältnisse erfordert. Seinem Modell zufolge könnte

der Input "*Peter verspricht, Anna*" bereits ausreichen, um eine CP/VP (bzw. IP)<sup>19</sup> zu projizieren und damit einen zweiten Satz vorauszusagen, in den *Anna* eingebettet ist. Das heißt, die NP *Anna* wäre bereits vor dem lexikalischen Auftreten des nachfolgenden Verbs vom projizierten CP/VP- bzw. IP-Knoten dominiert. Diese Dominanzrelation muß im Gardenpath-Satz 1a' (*Peter verspricht, Anna zu arbeiten ...*) wieder aufgegeben werden. Im klassischen Gardenpath-Satz 1b (*Peter verspricht Anna zu entlasten ...*) hingegen wird *Anna* vom VP-Knoten des ersten Verbs *verspricht* dominiert, und diese Dominanzbeziehung wird auch durch das Einschleiben eines zusätzlichen VP oder CP-Knotens nicht aufgehoben, da die VP bzw. CP nun als Gesamtheit weiterhin vom ersten Verb dominiert wird. Ein Problem ergäbe sich erst, wenn die Dominanzrelation tatsächlich unhaltbar wird, wie etwa im Falle einer Aufzählung, in der *Anna* als Subjekt-NP nur noch vom IP-Knoten des zweiten Verbs (hier: *fordert*) dominiert wird:

(7.1) *Peter verspricht Anna fordert und Fred bezweifelt daß die Steuern gesenkt werden*

(7.2) *Peter verspricht, Anna fordert(,) und Fred bezweifelt, daß die Steuern gesenkt werden*

Die phonologisch bzw. prosodisch motivierte Erklärung für Unterschiede in der Schwere des Gardenpaths in den Sätzen 1a' und 1b würde dagegen davon ausgehen, daß es grundsätzlich schwerer sein sollte, eine bereits etablierte Phrasengrenze rückwirkend wieder aufzuheben als eine neue Phrasengrenze rückwirkend einzufügen. Aus dieser Sicht rückt also eher die Gruppierung (engl. *chunking*) der Wörter zu (Intonations-) Einheiten in den Vordergrund (vgl. Schafer, 1995, und Watt & Murray, 1996; für verwandte Vorschläge), während die syntaktischen Konsequenzen sekundärer Natur sind.

Ein interessanter Aspekt der behavioralen Daten war eine gewisse Diskrepanz zwischen den Urteilen zur Lesbarkeit und den Fehlerraten im Verständnistest. Wenn sich gemäß Hypothese 3 im Urteil über die Lesbarkeit unmittelbar die Schwierigkeiten beim Satzverstehen niederschlagen würden, hätten sich stark bedingungsabhängige Gruppenunterschiede im Satzverständnis zeigen müssen. Wie die folgenden Überlegungen zeigen, war dies jedoch nicht der Fall. Während Probanden in Gruppe I starke Beeinträchtigungen der Lesbarkeit bei falscher

---

<sup>19</sup> IP bedeutet *Inflectional Phrase* und entspricht in der syntaktischen Hierarchie dem Satzknotten (S). Auf dieser Ebene wird u.a. die Übereinstimmung zwischen Subjekt und Verb hinsichtlich Numerus (Singular/Plural) und Person sichergestellt (Bsp: *ich gähne* vs. *\*ich gähnst*).

Kommasetzung anzeigen, schienen Probanden der Gruppen IIa und IIb sich dadurch weit weniger irritieren zu lassen und beurteilten die Gardenpath-Bedingungen relativ häufig als 'leicht lesbar'. Allein vor dem Hintergrund der Leseurteile schien die Beherrschung strikter Kommaregeln also kaum Vorteile bei regelgetreuer Kommasetzung, sehr wohl aber Nachteile bei regelwidriger Kommasetzung zu bringen. Berücksichtigt man dagegen die Daten zum Satzverständnis, stellt sich diese Vermutung als falsch heraus: Obwohl die Probanden in Gruppe I angaben, Probleme mit den Gardenpath-Sätzen zu haben, verstanden sie die Sätze dennoch besser als die Probanden der anderen Gruppen, die nach eigener Einschätzung allerdings selbst kaum Probleme bemerkten.

Ähnliche Gruppenunterschiede waren bereits von Friederici et al. (1998) berichtet worden. Dort zeigten Versuchspersonen mit großer sprachlicher Arbeitsgedächtniskapazität (gemäß Lesespannentest; Daneman & Carpenter, 1980) online im EKP stärkere Gardenpath-Effekte, waren zugleich aber in der Lage, die Sätze angemessen zu reanalysieren. Probanden mit geringer Kapazität zeigten hingegen keine online-Effekte, schnitten im Satzverständnis aber ebenfalls wesentlich schlechter ab. Daraus wurde geschlossen, daß eine hohe Gedächtniskapazität offenbar auch komplexere Online-Reanalysen (und damit den Luxus eines folgenlosen initialen Parsingirrtums) gestattet, während Personen mit geringer Kapazität versuchen, verschiedene Lesarten von vorn herein parallel aktiv zu halten und sich damit insgesamt überfordern. Tatsächlich ergab sich auch im vorliegenden Kommaexperiment eine signifikante positive Korrelation zwischen Lesespanne (Gedächtniskapazität) und Satzverständnis ( $p < .01$ ).

## **7.4.2 EKP-Daten**

### *7.4.2.1 Komma-Effekte*

Die bisherige Auswertung der behavioralen Daten zeigte, daß die Kommainsertion ähnlichen Einfluß auf die Syntax-Analyse haben konnte wie Intonationsphrasen bei auditiver Satzpräsentation, wobei jedoch interindividuelle Zeichensetzungsgewohnheiten eine entscheidende Rolle spielten. Die Komma-Effekte im EKP unterstreichen diesen Eindruck. Einerseits fand sich für die Probanden mit strikten Kommaregeln (Gruppe I) unmittelbar nach dem Komma ein deutliches biphasisches Muster einer frühen CPS-ähnlichen, jedoch kleinamplitudigen Positivierung, welche gefolgt wurde von einer centralen und leicht rechts-lateralisierten langsamen Negativierung. In Gruppe II, für die das Satzzeichen weder im

Zeichensetzungstest noch beim Lesen von vergleichbar starker Relevanz war, traten beide Komponenten dagegen stark reduziert auf. Das heißt, sowohl der Einfluß des Kommas auf die Satzverarbeitung per se als auch die hierbei auftretenden inter-individuellen Unterschiede wurden online im EKP abgebildet.

Die Unterschiede zwischen dem biphasischen EKP-Muster in Gruppe I und dem großamplitudigen monophasischen CPS-Muster der auditiven Experimente deuten jedoch darauf hin, daß trotz der Ähnlichkeiten in den behavioralen Daten unterschiedliche neuronale Prozesse für den Einfluß prosodischer Grenzen einerseits und von Kommas andererseits verantwortlich sind. Während eine (gegenüber den auditiven Experimenten) reduzierte CPS-Komponente an Phrasengrenzen dadurch erklärbar wäre, daß prosodische Verarbeitung beim stillen Lesen nur partiell aktiviert wird, spricht die anschließende langsame Negativierung gegen die Arbeitshypothese, daß Kommaverarbeitung grundsätzlich die gleichen Prozesse involviert wie die von prosodischen Grenzen. Wegen ihrer erheblichen Dauer schien die langsame Negativierung allerdings eher einen kontrollierten Prozeß widerzuspiegeln als die Kommaverarbeitung per se. Es bestand also die Möglichkeit, daß den offensichtlichen Unterschieden zwischen auditiver und visueller Verarbeitung ein bislang nicht identifizierter Prozeß zugrundelag. In ihrem Profil erinnerte die Komponente an eine erwartungsrelatierte Contingent Negative Variation (CNV; Tecce & Cattanach, 1989). Inwieweit die Kommainformation zu einer solchen Komponente führen konnte, wird im Kontext des Folgeexperimentes ausführlich dargestellt.

#### 7.4.2.2 Gardenpath-Effekte

Im Hinblick auf die schwierigere Gardenpath-Bedingung 1a' war auf dem disambiguierenden zweiten Verb ein ähnliches N400-P600-Muster erwartet worden in den auditiven Experimenten. Stattdessen fand sich in Gruppe I lediglich eine N400, in Gruppe II dagegen überhaupt kein Effekt. Das Ausbleiben der P600 in Gruppe I ist möglicherweise wiederum eine Konsequenz der beim Lesen nur partiell aktivierten prosodischen Kodierung. Wenn man mit Bader (1994, 1998) annimmt, daß die Reanalyse eines Gardenpaths umso schwieriger wird, je stärker auch das prosodische Muster einer Revision unterzogen werden muß, wären entsprechende Modalitätsunterschiede tatsächlich zu erwarten. Dieser Ansatz hätte erhebliche Konsequenzen für die funktionale Interpretation der P600-Komponente. Bislang war die P600 als *syntactic positive shift* angesehen worden. Wenn die P600-Amplitude dagegen sämtliche Subprozesse reflektiert, die zur Schwere eines Gardenpaths beitragen, sollten auch die prosodischen Revisionen unmittelbaren Einfluß auf die Komponente haben.

Für die leichtere Komma-freie Gardenpath-Bedingung 1b war weder eine N400 noch eine P600, sondern überraschenderweise eine relativ früh einsetzende frontale Positivierung gefunden worden, die in späteren Zeitintervallen auch in Gruppe II auftrat. Eine ähnliche Komponente war zuvor auch für selten (d.h. zu 25 %) auftretende Gardenpath-Sätze bei einer Majorität präferierter Sätze (75 %) gefunden worden, allerdings nur für Versuchspersonen, die instruktionsbedingt frühzeitig strukturelle Erwartungen aufbauen konnten (Steinhauer et al, 1998). Der Effekt war als Überraschungspositivierung interpretiert worden. Im vorliegenden Fall ließe sich diese Interpretation auch auf Gruppe I anwenden. Aus dieser Perspektive hätte der relativ leichte Gardenpath lediglich eine Überraschungsreaktion ausgelöst, ohne daß eine aufwendige strukturelle Reanalyse nötig wurde. Diese Interpretation stünde im Einklang mit dem Modell von Gorrell (1995), der für Satz 1b lediglich eine einfache Strukturaddition annimmt, für den schwierigen Gardenpath 1a' dagegen eine aufwendige Strukturänderung. Unklar bleibt allerdings, warum ein ähnlicher (wenngleich verzögerter) Effekt auch in Gruppe II auftrat, während hier für die an sich schwierigere Bedingung 1a' keinerlei Effekte gefunden wurden. Da (links-) frontale Positivierungen in Sprachstudien bislang nur selten berichtet wurden, bedarf es für die genauere Aufklärung entsprechender Effekte allerdings weiterer Forschung.





## 8 Experiment 5: *Kommas als Trigger prosodischer Phrasierung*

**Zusammenfassung:** Das fünfte EKP-Experiment versucht der Frage nachzugehen, zu welchem Grad das bi-phasische EKP-Muster bei der Kommaverarbeitung generalisierbar ist. Insbesondere wird überprüft, ob es sich bei der langsamen Negativierung um eine erwartungsbezogene Contingent Negative Variation (CNV) handelte. Die Ergebnisse bestätigen dies: Während sich die Negativierung durch Änderung des Versuchsdesigns eliminieren läßt, tritt die CPS-ähnliche Positivierung nach wie vor systematisch an Kommapositionen auf. Damit erhält die Hypothese einer prosodischen Vermittlung der Kommaverarbeitung erneute Unterstützung.

### 8.1 *Fragestellungen und Hypothesen*

Trotz der Vielzahl neuer Befunde zur Kommaverarbeitung im letzten Experiment konnte eine der entscheidenden Fragen nicht beantwortet werden: Beruht die potentiell vergleichbare syntaktische Relevanz von Kommas in geschriebener und von prosodischen Grenzen in gesprochener Sprache auf einem gemeinsamen Mechanismus, oder handelt es sich lediglich um konvergente, aber modalitätsspezifische Prozesse? Obwohl sich auf Basis eines Einzelexperimentes grundsätzlich keine endgültigen Schlußfolgerungen bezüglich der beteiligten kognitiven Operationen ziehen lassen, können doch umgekehrt identische Prozesse ausgeschlossen werden, wenn systematisch völlig unterschiedliche EKP-Muster beobachtet wurden. Wenn sich also der CPS als Korrelat für prosodische Phrasierungsprozesse herausstellt, Kommas dagegen regelmäßig ein bi-phasisches Muster hervorrufen sollten, spräche dies zweifelsfrei für zumindest partiell unterschiedliche Verarbeitungsprozesse.

Allerdings ist zu berücksichtigen, daß bei Kommas - sofern sie als *visueller* Auslöser für subvokale *prosodische* Phrasierung im Leser wirken - zumindest ein zusätzlicher Verarbeitungsschritt, nämlich die phonologische Umkodierung, anfällt. Aus diesem Grund ist auch die Abfolge der für Kommas beobachteten EKP-Komponenten von Bedeutung: Alle derartigen Umkodierungsprozesse wären zeitlich *vor* dem sekundären prosodischen Verarbeitungsschritt zu erwarten. Falls im biphasischen EKP-Muster aber die CPS-ähnliche Positivierung tatsächlich die Phrasierung reflektierte, heißt dies, daß die zeitlich *nachfolgende*

Negativierung mit Umkodierungsprozessen nichts mehr zu tun haben konnte. Mit anderen Worten: Falls sich die langanhaltende Negativierung als obligatorisches Korrelat für erfolgreiche Kommaverarbeitung herausstellt, handelt es sich bei der vorausgehenden Positivierung mit hoher Wahrscheinlichkeit ebenfalls *nicht* um eine Komponente, die dem CPS auditorischer Verarbeitung funktional entspricht und mit prosodischer Phrasierung in Zusammenhang steht. In diesem Fall würden die EKP-Daten daher eher *gegen* eine phonologische Vermittlung der Kommaverarbeitung sprechen.

Die zeitliche Charakteristik der Negativierung mit einer Dauer von mehreren Hundert Millisekunden spricht allerdings nicht dafür, daß der zugrundeliegende kognitive Prozeß obligatorischer Natur sein könnte. Die Komponente ähnelt vielmehr den Verarbeitungsnegativierungen kontrollierter Operationen, wobei ihr leicht rechtslateralisiertes Maximum an centralen Ableitorten nahe des Vertex (C4-Elektrode) stark an eine *Contingent Negative Variation* (CNV) erinnert (Rugg & Coles, 1995; Tecce & Cattanach, 1987). Die CNV-Komponente wird üblicherweise ausgelöst, wenn Probanden auf einen für die Aufgabenausführung relevanten kritischen Stimulus warten, dessen Präsentationszeitpunkt prediktierbar ist. Dabei kann sich die Negativierung über mehrere Sekunden hinweg aufbauen und auch noch nach Stimulusdarbietung andauern.

Im vorliegenden Fall ist eine entsprechende Stimuluspräsentation im Trialschema jedoch nicht offensichtlich.<sup>20</sup> Insbesondere ist auf den ersten Blick nicht erkennbar, warum gerade in den Komma-Bedingungen eine CNV ausgelöst werden sollte. Eine potentielle Erklärungsmöglichkeit eröffnet sich jedoch, wenn die Performanzdaten des vierten Experimentes berücksichtigt werden: Die Kommabedingung 1a' (*Peter verspricht, Anna zu arbeiten ...*) hatte sich als besonders schwerer Gardenpath herausgestellt, der bei Gruppe I in nahezu 90 % und bei Gruppe IIb immerhin noch in über 50 % der Trials als schwer lesbar beurteilt wurde. Die kommalose Gardenpath-Bedingung 1b (*Peter verspricht Anna zu entlasten...*) war dagegen von Gruppe I dreimal häufiger als leicht lesbar beurteilt worden und unterschied sich in Gruppe IIb überhaupt nicht von den völlig korrekten Sätzen. Ob ein Satz völlig korrekt oder aber ein Gardenpath-Satz war, stellte sich erst auf dem zweiten Verb heraus. Ob ein Satz *potentiell* ein schwerer oder ein leichter Gardenpath-Satz sein würde, entschied sich jedoch bereits auf dem

---

<sup>20</sup> Für seine Frage vom 15. Mai 1999, die mich explizit zu einer Stellungnahme bezüglich der CNV-Interpretation der Negativierung aufforderte und letztlich zu Experiment 5 führte, bin ich Martin Meyer daher zu besonderem Dank verpflichtet.

Komma. Damit konnte das Komma als Hinweisreiz auf einen potentiell schwierigen Gardenpath-Satz gelten und eine Erwartung auf das disambiguierende Verb2 auslösen. Das Verb übernahm entsprechend die Funktion des Aufgaben-relevanten Stimulus und war aufgrund des fixen Trialschemas auch hinsichtlich seines Präsentationszeitpunktes vollständig prädiktierbar. Aus dieser Perspektive erfüllten die Kommabedingungen tatsächlich sämtliche Voraussetzungen zur Auslösung einer CNV.

Um diese Interpretation der langsamen Negativierung zu überprüfen, war es notwendig, die Komponente durch Änderungen im Versuchsdesign 'CNV-gerecht' zu manipulieren. Die übliche Methode der Wahl zum Nachweis einer CNV liegt in der Variation des Präsentationszeitpunktes für den erwarteten Stimulus: Wird dieser in für die Probanden prädiktierbarer Weise verzögert dargeboten, setzt auch die Erwartungsnegativierung später ein. Die CNV-Latenz hängt also nicht allein von vorhergehenden Stimuli, sondern auch von der erwarteten Latenz des nachfolgenden Stimulus ab. Derartige Latenzmanipulationen, etwa durch Vergrößerung der Interstimulusintervalle zwischen den Wörtern, schieden bei dem vorliegenden Material aus, da sie eine natürliche Satzverarbeitung auf multiple Weise beeinträchtigt hätten. Eine weitere Möglichkeit, nämlich der Einbau zusätzlicher Satzkonstituenten zwischen *Anna* und dem zweiten Verb, hätte - abgesehen von der unvermeidbar höheren Gedächtnisbeanspruchung - je nach Wahl der eingefügten Konstituente(n) unterschiedliche Probleme aufgeworfen: a) frühzeitige Disambiguierung durch Kasusmarkierungen, b) Kasustransfer durch intervenierende Nomen und Pronomen (vgl. Saddy, Schlesewsky & Fanselow, 1998), und c) potentielle intervenierende Kommpositionen.

Aus diesem Grund wurde ein völlig anderer Weg gewählt und die implizite Ursache für die Erwartungsgenerierung aus dem Design genommen. Das heißt, die Experimentalsätze wurden nur noch in ihrer korrekten Form im Design belassen: Satz 1a ohne Komma und Satz 1b' mit Komma. Die vollständige Herausnahme der Gardenpathsätze sollte verhindern, daß an der Kommposition überhaupt Erwartungen an die Schwierigkeit der Satzstruktur ausgelöst wurden, die zur Generierung einer CNV führen konnten. War die Negativierung im biphasischen EKP-Muster dagegen unabhängig von Erwartungen direkt an die Kommaverarbeitung gebunden, sollte sie auch weiterhin auftreten.

Um das Fehlen schwieriger Gardenpath-Sätze im Design zu kompensieren, wurden Kommaverletzungen in einen Teil der Füllsätze eingebaut, die nun als relevante

Satzbedingungen 2a, 2a', 2b und 2b' in das Design eingingen. Zugleich bot sich damit die Gelegenheit, die Generalisierbarkeit von Kommaeffekten im EKP auch an diesen Syntaxstrukturen zu testen. Beispiele für die verwendeten Satzbedingungen finden sich in Tabelle 8-1:

**Tabelle 8-1: Satzbedingungen in Experiment 5**

| Bedingung | Satzbeispiel  |
|-----------|---|
| 1a        | <i>Peter verspricht Anna zu arbeiten und das Büro zu putzen</i>                   |
| 1b'       | <i>Peter verspricht, Anna zu entlasten und das Büro zu putzen</i>                 |
| 2a        | <i>Der Mann sah den Jungen, das Mädchen <u>sah</u> den Großvater, und ....</i>    |
| 2a'       | <i>* Der Mann sah den Jungen, das Mädchen, <u>sah</u> den Großvater, und ....</i> |
| 2b        | <i>Der Mann sah den Jungen, das Mädchen <u>und</u> den Großvater jeden ...</i>    |
| 2b'       | <i>? Der Mann sah den Jungen, das Mädchen, <u>und</u> den Großvater jeden ...</i> |

Wie bereits im Methodenteil (vgl. Abschnitt 3.2) dargestellt, handelte es sich bei den Füllsätzen um Aufzählungen entweder von Nominalphrasen (2b, 2b') oder von vollständigen Sätzen (2a, 2a'). Die Einfügung eines Kommas nach der dritten Nominalphrase *das Mädchen* in 2a' steht im Widerspruch zu den Zeichensetzungsregeln im Deutschen. Aus phonologischer Sicht wäre eine entsprechende Phrasierung ebenfalls unzulässig, da sie in Konflikt mit der syntaktischen Struktur steht (Shattuck-Hufnagel & Turk, 1996). Auf dem Verb *sah* wäre daher ein prosodisch bedingter Gardenpath-Effekt zu erwarten. Auch in Bedingung 2b' entspricht die Kommainsertion vor der Konjunktion '*und*' nicht den Zeichensetzungsregeln des Deutschen. Phonologisch handelt es sich dagegen um eine lizenzierte Position für eine Phrasengrenze.<sup>21</sup> Falls bereits der formale Verstoß von Kommaregeln *per se* als syntaktische Verletzung wahrgenommen wird, sollte auch Satz 2b' zu Gardenpath-Effekten auf der Konjunktion führen. Falls dagegen lediglich die Inkompatibilität zwischen syntaktischer und phonologischer Phrasierung als Verletzung wahrgenommen wird, wäre in Satz 2b' - anders als in Satz 2a' - *kein* Gardenpath-Effekt zu erwarten. Insgesamt ließen sich damit für das fünfte Experiment eine Reihe starker, d.h. leicht falsifizierbarer, Voraussagen formulieren.

<sup>21</sup> Im Englischen würde die analoge Satzkonstruktion an dieser Position übrigens ein Komma vorsehen: *The man saw the boy, the girl, and the grandfather ...*

## Hypothesen

1. Unter der Annahme einer prosodischen Vermittlung der Kommaverarbeitung wurde davon ausgegangen, daß die **frühe Positivierung eine CPS-Komponente darstellt und daher generell an Kommapositionen gefunden** werden sollte: in Bedingung 1b' nach Verb1 *verspricht*, in den Bedingungen 2a' und 2b' nach der dritten NP *das Mädchen*.
2. Für die langsame Negativierung des biphasischen Musters aus Experiment 4 wurde von einer erwartungsabhängigen CNV ausgegangen. Die Herausnahme der Gardenpath-Bedingungen 1a' und 1b sollte entsprechende Erwartungen an das zweite Verb verhindern und damit zugleich die **Auslösung der CNV unterbinden**.
3. Da in den Füllsätzen 2a' und 2b' das disambiguierende Element (Verb bzw. Konjunktion) *unmittelbar* auf das Komma folgte, war auch in diesen Bedingungen **nicht mit einer Erwartungs-CNV zu rechnen**.
4. Sofern nicht in erster Linie der formale Verstoß von Kommaregeln, sondern vielmehr erst der Konflikt zwischen Komma-induzierter prosodischer Phrasierung einerseits und syntaktischer Phrasierung andererseits zu Verarbeitungsproblemen führt, sollte **lediglich in Bedingung 2a' auf dem Verb 'sah', nicht jedoch in Bedingung 2b' auf der Konjunktion 'und' ein Gardenpath-Effekt auftreten**. Da die hierfür zu erwartende Reanalyse rein struktureller Natur ist und keinen erneuten lexikalischen Zugriff erfordern sollte, wäre als EKP-Korrelat eine **P600-Komponente** zu erwarten.

## 8.2 Methoden

An dem Experiment nahmen 10 Probanden teil. Von den Experimentalbedingungen 1a und 1b' gingen je 48 Sätze, von den Filler-Bedingungen 2a, 2a', 2b und 2b' jeweils 24 Sätze in das Experiment ein. Da gemäß Hypothese 4 lediglich für Bedingung 2a' mit Komma-bedingten Verarbeitungsproblemen gerechnet wurde (also in nur 12.5 % der Trials), wurden weitere Kommaverletzungen in je 12 Sätzen der Bedingungen 2b und 2b' eingeführt. Diese Verletzungen fanden sich am Ende der Sätze und spielen für die nachfolgenden EKP-

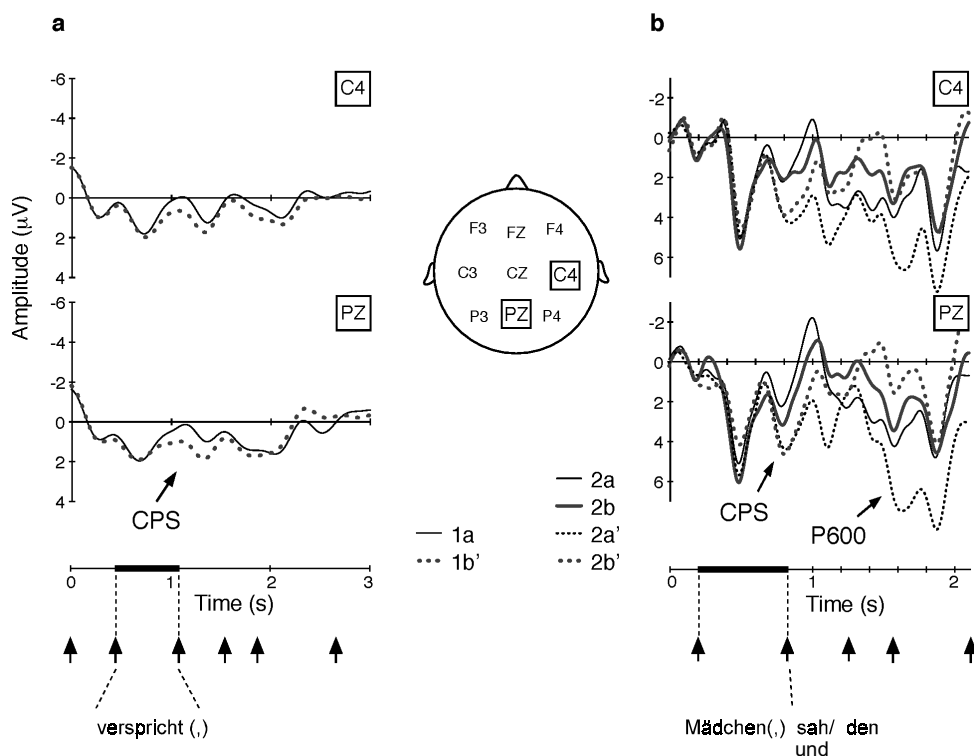
Auswertungen keine Rolle (Beispiel: *"Der Mann sah den Jungen, das Mädchen und den Großvater jeden, Sommer im Urlaub"*). Die Sätze wurden auf 6 Blöcke à 32 Trials verteilt und in einer Sitzung präsentiert. Die Trialverläufe unterschieden sich bis auf eine Ausnahme nicht von denjenigen in Experiment 4: In den Experimentalsätzen 1a und 1b' wurde die Darbietungszeit des ersten Verbs um 200 ms auf 650 ms erhöht (vgl. Tabelle 7-2). Der Grund hierfür lag in einer Angleichung der Darbietungszeiten an das im gleichen Zeitraum durchgeführte Experiment 6 und wird in Kapitel 9 dargelegt. Mit der Verlängerung der Darbietung war die Erwartung einer größeren bzw. länger anhaltenden CPS-Komponente in Bedingung 1b' verbunden.

## **8.3 Ergebnisse**

### **8.3.1 EKPs der Experimental-Sätze 1a und 1b'**

In Abbildung 8.1a sind die 1 Hz tiefpaß-gefilterten EKPs der Bedingungen 1a und 1b' wiederum für die ersten 3 Sekunden an den repräsentativen Elektroden C4 und PZ dargestellt. Es ist deutlich zu erkennen, daß - im Gegensatz zu Experiment 4 (vgl. Abb. 7.3) - diesmal lediglich eine CPS-ähnliche Positivierung, nicht jedoch die langsame Negativierung in der Komma-Bedingung 1b' ausgelöst wurde. Diese Beobachtung steht im Einklang mit den ersten beiden Hypothesen und konnte statistisch abgesichert werden. Tabelle 8-2 faßt die Resultate der Anovas über fünf 100 ms Zeitfenster von 450 bis 950 ms nach Verb1-Onset zusammen. Die gegenüber Experiment 4 erhöhte Anzahl von Analyseintervallen trägt der verlängerten Präsentationsdauer von Verb1 Rechnung. Es zeigt sich, daß die Positivierung im Zeitbereich zwischen 550 und 850 ms vor allem an centro-parietalen Elektroden auftrat. Dieser Effekt war sowohl an der Mittellinie als auch an lateralen Ableitorten nachweisbar. Für spätere Intervalle, in denen bei Experiment 4 die langsame Negativierung aufgetreten war (zwischen 950 und 2000 ms nach Verb1-Onset), fanden sich keinerlei Bedingungsunterschiede (jeweils  $F < 1$ ). Dies galt sowohl für Mittellinien- als auch für laterale Ableitorte (selbst für Einzelelektroden wie C4), und zwar in allen Zeitbereichen.

⇒ Die Daten der Experimentalsätze belegen, daß die CPS-ähnliche Positivierung eine vergleichbare centro-parietale Verteilung aufwies wie zuvor bereits in Gruppe I des vierten Experimentes. Allerdings dauerte sie im vorliegenden Experiment etwas länger an. Die in Experiment 4 dominierende langsame Negativierung war hingegen nach Herausnahme der Gardenpathsätze 1a' und 1b hypothesengemäß völlig verschwunden. Sie kann daher nicht als Korrelat eines obligatorischen Prozesses bei der Kommaverarbeitung gelten, sondern entspricht in Profil und Designabhängigkeit einer Contingent Negative Variation (CNV).



**Abbildung 8.1:** EKPs in Experiment 5 an zwei repräsentativen Elektroden **(a)** In den Experimentalsätzen findet sich nach Herausnahme der Gardenpathbedingungen an der Kommamposition nur noch ein CPS, aber keine langsame Negativierung (CNV). **(b)** Die Fillersätze 2a' und 2b' weisen an der Kommamposition ebenfalls einen CPS auf. Das inkompatible Verb *sah* in 2a' löst, anders als die Konjunktion *und* in 2b', außerdem eine P600 aus.

**Tabelle 8-2: EKP-Analysen der Bedingungen 1a und 1b' in Experiment 5.** Dargestellt sind die Komma-Effekte in 5 Zeitfenstern für die Mittellinie (linke Spalten) und laterale Elektroden (rechte Spalten). (Komma= Kommapräsenz; Elek = Elektrode)

| Zeitbereich<br>(relativ zum<br>Verb1-Onset) | Mittellinien-Elektroden |          |             | Laterale Elektroden |          |            |
|---|-------------------------|----------|-------------|---------------------|----------|------------|
|   | Effekt                  | F - Wert | p-Wert      | Effekt              | F - Wert | p-Wert     |
| <b>(450-550ms)</b>                          | Komma                   | 3.07     | n.s         | Komma               | 3.74     | .09        |
|   | Komma x Elek            | 2.27     | n.s.        | Komma (P3/4)        | 0.9      | n.s.       |
|   | Komma (PZ)              | 6.21     | <b>.03.</b> |                     |          |            |
| <b>(550-650ms)</b>                          | Komma                   | 3.82     | .08         | Komma               | 4.84     | <b>.05</b> |
|   | Komma x Elek            | 3.84     | <b>.04</b>  | Komma (C3/4)        | 4.51     | .06        |
|   | Komma (PZ)              | 7.16     | <b>.03</b>  |                     |          |            |
| <b>(650-750ms)</b>                          | Komma                   | 4.43     | .06         | Komma               | 5.45     | <b>.04</b> |
|   | Komma x Elek            | 1.80     | n.s.        | Komma (C3/4)        | 5.62     | <b>.04</b> |
|   | Komma (PZ)              | 5.99     | <b>.04</b>  |                     |          |            |
| <b>(750-850ms)</b>                          | Komma                   | 3.16     | .1          | Komma               | 4.37     | .07        |
|   | Komma x Elek            | 2.05     | n.s.        | Komma (P3/4)        | 5.59     | <b>.04</b> |
|   | Komma (PZ)              | 6.37     | <b>.03</b>  |                     |          |            |
| <b>(850-950ms)</b>                          | Komma                   | 1.36     | n.s.        | Komma               | 2.40     | n.s.       |
|   | Komma x Elek            | 4.04     | <b>.04</b>  | Komma (P3/4)        | 2.73     | n.s.       |
|   | Komma (PZ)              | 4.00     | .08         |                     |          |            |

### 8.3.2 EKPs der 'Füll'-Sätze 2a, 2a', 2b und 2b'

Abbildung 8.1b zeigt die 5 Hz tiefpaß-gefilterten EKPs der Bedingungen 2a, 2a', 2b und 2b' an den Elektroden C4 und PZ. (Eine 1 Hz-Filterung hätte bei diesen EKPs die Effekte verzerrt; s.u.) Dargestellt sind die Potentialverläufe ab 200 ms vor bis 2000 ms nach Präsentationsbeginn des dritten Nomens 'Mädchen', dem in den Kommabedingungen das Komma angefügt war. Analog zu Abbildung 8.1a werden auch hier die Kommabedingungen 2a' und 2b' durch punktierte Linien repräsentiert. Etwa 600 ms nach Beginn des Nomens (d.h. bei 800 ms auf der Zeitskala) läßt sich für diese Bedingungen eine deutliche CPS-ähnliche Positivierung relativ zu den Komma-losen Bedingungen 2a und 2b erkennen, die etwa 300 ms lang anhält. Anschließend (zwischen 1100 und 1500 ms auf der Zeitskala) liegen die EKPs der Bedingungen 2b und 2b' vorübergehend negativer als in den Bedingungen 2a und 2a' (besonders an C4). In dieser Differenz scheinen sich lexikalische Unterschiede niederzuschlagen: Der Effekt setzt ein, nachdem ca. 300 ms zuvor das Verbs *sah* (2b und 2b') bzw. die Konjunktion *und* (2a und 2a') präsentiert wurde. Im späten Bereich zwischen 1500 und 2000 ms (d.h. 1300-1800 ms nach Onset des dritten Nomens) folgt schließlich der erwartete parietale P600-Effekt in Bedingung 2a', deren EKP stark positiv von den anderen drei Bedingungskurven abweicht. Der vor allem an PZ deutlichen Positivierung scheint bereits bei 1100 ms eine ähnliche, aber kurzandauernde Positivierung vorauszugehen. Über ANOVAs mit den Faktoren *Kommapräsenz* x *Satztyp* x



**Tabelle 8-3: EKP-Analysen der Füllsätze 2a, 2a', 2b und 2b' in Experiment 5.** Dargestellt sind die Komma-Effekte in 8 Zeitfenstern für die Mittellinienelektroden. (Komma= Kommapräsenz)

| Zeitfenster<br>(relativ zum<br>Nomen3-Onset) | Effekt                 | CPS         |            | Lex. Wortklasseneffekt |            | P600        |            |
|--|------------------------|-------------|------------|------------------------|------------|-------------|------------|
|  |                        | p-Wert      | F-Wert     | p-Wert                 | F-Wert     | p-Wert      | F-Wert     |
|  |                        |             |            |                        |            |             |            |
| 500-600 ms                                   | <i>Komma</i>           | 1.87        | n.s.       |                        |            |             |            |
| 600-700 ms                                   | <i>Komma</i>           | <b>4.30</b> | <b>.07</b> |                        |            |             |            |
| 700-800 ms                                   | <i>Komma</i>           | <b>8.63</b> | <b>.02</b> |                        |            |             |            |
| 800-900 ms                                   | <i>Komma</i>           | <b>7.04</b> | <b>.03</b> |                        |            |             |            |
| 900-1100 ms                                  | <i>Komma</i>           | .09         | n.s.       |                        |            |             |            |
|  | <i>Satztyp</i>         |             |            | 2.40                   | n.s.       |             |            |
| 1100-1300 ms                                 | <i>Satztyp</i>         |             |            | <b>8.88</b>            | <b>.02</b> |             |            |
|  | <i>Satztyp x Komma</i> |             |            |                        |            | 4.41        | .07        |
| 1300-1500 ms                                 | <i>Satztyp</i>         |             |            | <b>5.04</b>            | <b>.05</b> |             |            |
|  | <i>Satztyp x Komma</i> |             |            |                        |            | <b>9.28</b> | <b>.02</b> |
| 1500-1700 ms                                 | <i>Satztyp</i>         |             |            | 3.16                   | n.s.       |             |            |
|  | <i>Satztyp x Komma</i> |             |            |                        |            | <b>4.91</b> | <b>.05</b> |

*Elektrodenposition* konnten alle beschriebenen Differenzen sowohl an der Mittellinie wie auch an lateralen Ableitorten statistisch abgesichert werden. Tabelle 8-3 faßt die entsprechenden Daten für die Mittellinienelektroden zusammen.

⇒ In völliger Übereinstimmung mit den Hypothesen fand sich im EKP-Muster der Füllsätze zunächst eine CPS-ähnliche Positivierung für die Kommabedingungen und ein später P600-Effekt für Bedingung 2a'. Ebenfalls Hypothesen-konform wurden dagegen keine Hinweise auf eine langsame Negativierung in den Kommabedingungen oder auf eine P600 in Bedingung 2b' gefunden. Zusätzlich trat jedoch ein Effekt des Satztyps auf, der vermutlich die lexikalischen Differenzen zwischen Bedingungen 2a/2a' (Konjunktion) und 2b/2b' (Verb) reflektiert.

## 8.4 Diskussion

Im fünften Experiment konnten ausnahmslos alle Hypothesen bestätigt werden. Wie erwartet (Hypothese 1), wurde eine kleinamplitudige CPS-ähnliche Positivierung an allen Kommapositionen gefunden, sowohl in der Experimentalbedingung 1b' als auch in den Füllersätzen 2a' und 2b'. Zugleich fand sich nach Herausnahme der Gardenpath-Sätze 1a' und 1b in den Experimentalbedingungen für die korrekte Kommabedingung 1b' im Anschluß an die Positivierung keine langsame Negativierung mehr (Hypothese 2). Damit kann als erwiesen angesehen werden, daß es sich bei der in Experiment 4 gefundenen langsamen Negativierung tatsächlich um eine CNV und damit um ein Artefakt des experimentellen Designs gehandelt hatte. Nach Herausnahme der Bedingungen 1a' und 1b brauchten sich die Probanden bei

Erreichen des Kommas in Satz 1b' nicht mehr auf den schwierigen Gardenpath-Satz 1a' vorzubereiten, so daß eine Erwartung für das disambiguierende zweite Verb ausblieb und die an diese Erwartung gebundene CNV nicht aufgebaut wurde. Auch in den Füllsätzen 2a' und 2b' wurde bei Verarbeitung des Kommas zunächst nur eine Positivierung, nicht jedoch eine langsame Negativierung beobachtet (Hypothese 3). Die Positivierung konnte also unabhängig vom Satztyp verlässlich an allen Kommampositionen repliziert werden. Mit anderen Worten, die Verarbeitung von Kommas scheint, ähnlich wie die Verarbeitung prosodischer Grenzen in gesprochener Sprache, eine relativ stabile Positivierung im EKP auszulösen. Nachfolgende Effekte wie die CNV sind dagegen nicht direkt an die Kommaverarbeitung als solche gebunden, sondern gehen auf andere Prozesse zurück.

Aus diesem Datenmuster resultiert eine weitgehende Äquivalenz von prosodischen Grenzen und Kommas nicht nur in Bezug auf die Verhaltensdaten (Experiment 5 und Gruppe 1 in Experiment 4), sondern auch im Hinblick auf die mit der Verarbeitung korrelierten EKPs: Beide Arten der Phrasenmarkierung scheinen qualitativ vergleichbare hirnelektrische Antworten hervorzurufen, wobei sich die geringere Amplitude des CPS beim Lesen generell über die vermutlich nur partiell aktivierte phonologische Kodierung erklären läßt. Die Annahme, daß Kommas als visuelle Auslöser für prosodische Phrasierung fungieren, erhält hierdurch erneut starke Unterstützung.

Schließlich wurde auch Hypothese 5 bestätigt, wonach nur im Füllersatz 2a' auf dem inkompatiblen Verb *sah* eine P600-Komponente erwartet wurde (\* *Peter sah den Jungen, das Mädchen, sah den Großvater ...*). Das Ausbleiben eines entsprechenden P600-Effektes auf der Konjunktion *und* in Bedingung 1b' (? *Peter sah den Jungen, das Mädchen, und den Großvater ...*) zeigt zudem, daß nicht in erster Linie die Verletzung einer Kommaregel, sondern vielmehr die Verletzung der phonologisch zulässigen Phrasierung für den Effekt verantwortlich ist. Es sei daran erinnert, daß schon im Zeichensetzungstest des vierten Experiments für die Füllsätze kaum Variabilität zwischen den Versuchspersonen herrschte. Ausnahmslos wurde in Übereinstimmung mit den traditionellen Dudenregeln ein Komma lediglich nach der zweiten NP (*den Jungen*) gesetzt, nicht aber nach der dritten NP (*das Mädchen*). Obwohl im vorliegenden Experiment kein solcher Zeichensetzungstest durchgeführt wurde, ist es daher sehr unwahrscheinlich, daß gerade hier die Probanden (in völligem Kontrast zum vorigen Experiment) ein Komma nach der dritten NP eingefügt hätten. Unter dieser Perspektive läßt sich die Schlußfolgerung ziehen, daß überflüssige (und regelwidrige) Kommasetzung nicht automatisch zu Verarbeitungsproblemen führt. Entscheidend scheint vielmehr zu sein, ob die durch das Satzzeichen hervorgerufene Phrasierung im Einklang mit der sonstigen Satzstruktur steht.

## 9 Experiment 6: **Die Universalität des CPS als Korrelat prosodischer Phrasierung**

***Zusammenfassung:** Das sechste Experiment stellt kurz die vorläufigen Daten einer abschließenden Zusatzstudie vor, welche sich einer kombinierten auditiven und visuellen Stimuluspräsentation bedient. Die Daten belegen, daß der CPS auch ohne lexikalische Wortinformation an prosodischen Grenzen ausgelöst wird und unterstreichen so die phonologische Natur der zugrundeliegenden Prozesse. Beim Replizieren von vorgegebenen prosodischen Grenzen während des stillen Lesens wird ebenfalls ein CPS hervorgerufen, der nochmals nahelegt, daß die Verarbeitung von Kommas auf einem ähnlichen Prozeß beruht.*

### 9.1 **Fragestellungen und Hypothesen**

Das sechste und letzte Experiment sollte zwei Fragen klären: 1. Kann ein CPS auch ohne lexikalische Wortinformation ausgelöst werden? 2. Wird beim stillen Lesen durch subvokale prosodische Phrasierung ein CPS auch ohne Kommmainformation hervorgerufen?

Die erste Frage versucht die Alternative auszuschließen, daß die vom CPS reflektierten Prozesse nicht prosodischer Natur sind, sondern die sekundären syntaktischen Verarbeitungskonsequenzen abbilden. Die zweite Frage soll weitere Klarheit darüber bringen, inwieweit die bei der Kommverarbeitung beteiligten Prozesse auf subvokale Aktivierung phonologischer Phrasierung zurückgehen.

Zu diesem Zweck wurde ein Design entwickelt, in welchem die Versuchspersonen zunächst nur die delexikalisierte Satzmelodie des Satztyps A (ohne frühe Phrasengrenze) oder des Satztyps B (mit dieser Grenze) über Lautsprecher hörten. Die Satzmelodie erlaubte zwar die Erkennung von Rhythmus und Intonationskontur, nicht jedoch das Erkennen der Wortinformation, die für die Generierung semantischer und syntaktischer Repräsentationen nötig ist. Anschließend wurde den Probanden ein Satz des Typs A oder B wortweise und ohne Satzzeichen am Bildschirm präsentiert, den sie still lesen sollten. Beim Lesen sollte die zuvor gehörte

Satzmelodie subvokal reproduziert werden. Die Präsentationszeiten unterschieden sich genau wie in den Leseexperimenten 4 und 5 nicht zwischen den Bedingungen, so daß weder der visuelle Präsentationsrhythmus noch Satzzeichen Hinweise auf die erforderliche Strukturierung lieferten. Die Sätze wurden lediglich lexikalisch durch das zweite Verb (*arbeiten/entlasten*) disambiguiert. Aufgabe der Probanden war es zu entscheiden, ob der geschriebene Satz sich mit der zuvor gehörten Satzmelodie gut lesen ließ oder nicht. Dabei kamen zur Hälfte kompatible Kombinationen von Satzmelodie und geschriebenem Satz vor (A-A bzw. B-B), zur Hälfte dagegen inkompatible (A-B, B-A). Für inkompatible Trials wurden bei Erreichen des disambiguierenden Verbs Gardenpath-Effekte erwartet.

## Hypothesen

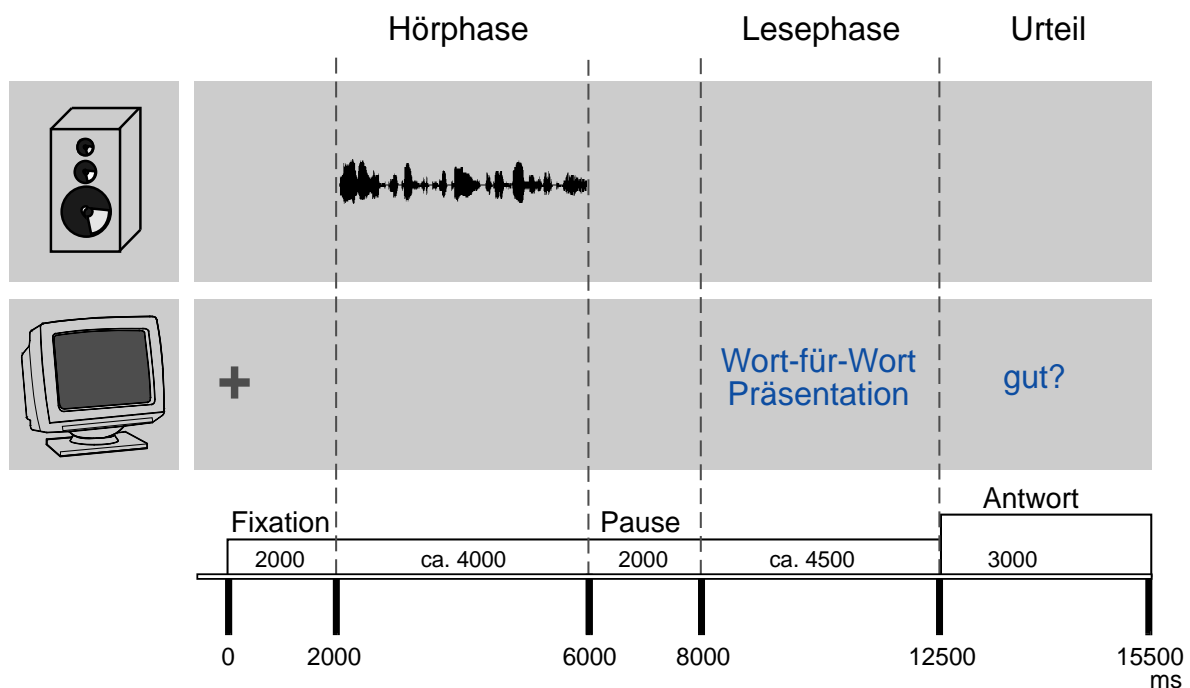
1. Für die **Hörphase** (auditive Darbietung der Satzmelodie) wurde ein **CPS in Bedingung B** (relativ zu A) an der prosodischen Phrasengrenze erwartet.
2. Für die **Lesephase** (visuelle Darbietung der lexikalischen Information) wurde ein **CPS nach dem ersten Verb** (*verspricht*) immer dann erwartet, wenn zuvor die Prosodie von Bedingung B gehört worden war (d.h., in B-A und B-B).
3. Für inkompatible Bedingungen wurden auf dem disambiguierenden **Verb2** (*arbeiten, entlasten*) **Gardenpath-Effekte** im EKP erwartet, die in der Bedingung 'B-A' (B-Prosodie + A-Satz) stärker ausfallen sollten, da diese Bedingung der schwierigen Gardenpath-Bedingung 1a' des 4. Experimentes entsprach.

## 9.2 Methoden

19 Probanden nahmen an dem Experiment teil, von denen bislang 16 in die vorläufige Auswertung gelangten. Die Delexikalisierung der Sprachsignale für die Hörphase erfolgte über eine speziell für diese Zwecke entwickelte Filtertechnik (PURR; Sonntag & Portele, 1998) direkt an den ursprünglich eingesprochenen 48 Sätzen der Bedingungen A und B. Silbenanzahl und Wortbetonungen wurden in jedem Trial so kontrolliert, daß auch in inkompatiblen Trials (z.B. B-Prosodie in der Hörphase und A-Satz in der Lesephase) eine Abbildung der Satzmelodie auf den visuellen Wortinput problemlos möglich war. Das Präsentationsschema für die Trials ist in

Abbildung 9.1 dargestellt. Vor dem Hauptexperiment gab es 3 Übungsblöcke zu je 20 Trials, während derer die Versuchspersonen sich mit der ungewohnten Aufgabenstellung vertraut machen sollten. Während des ersten Blocks wurde der Proband gebeten, den Satz *laut* in der zuvor gehörten Melodie vorzulesen. Dieser Block diente dem Versuchsleiter als Kontrolle, ob der Proband in der Lage war, die gehörte prosodische Struktur beim Lesen zu reproduzieren. Erst wenn dies in etwa 80 % der Fälle gelang, wurde der zweite Übungsblock gestartet, bei dem nun bereits *leise* gelesen werden sollte, allerdings noch mit einem reduzierten Präsentationstempo. Die letzte der drei Übungen wies bereits dieselben Präsentationsraten auf wie das eigentliche Experiment. Hier entsprachen die Darbietungszeiten exakt denjenigen des Komma-Experiments 5. Die Darbietungszeit des ersten Verbs (*verspricht*) war so gewählt worden, daß sie (nach Beurteilung von 3 Fachkollegen) sowohl mit als auch ohne subvokale Replikation einer Phrasengrenze bestmöglich lesbar war. Hierin lag der Grund für eine Erhöhung der Darbietungsdauer des Verbs auf 650 ms in den Experimenten 5 und 6 (von ursprünglich 450 ms in Experiment 4.)

## Trial Präsentation

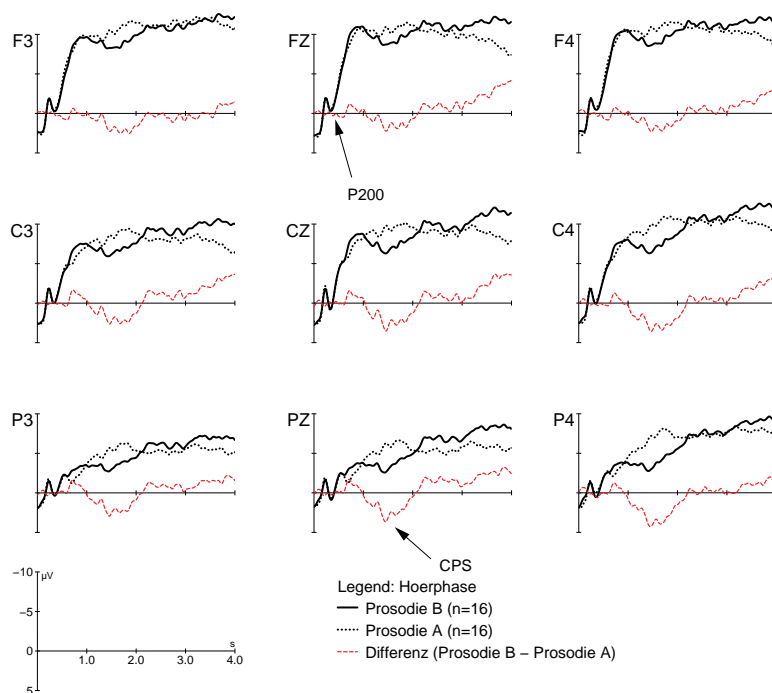


**Abbildung 9.1:** Trial-Präsentationsschema in Experiment 6. Nach dem Hören einer delexikalisierten Satzmelodie sollte deren prosodisches Muster beim stillen Lesen reproduziert werden.

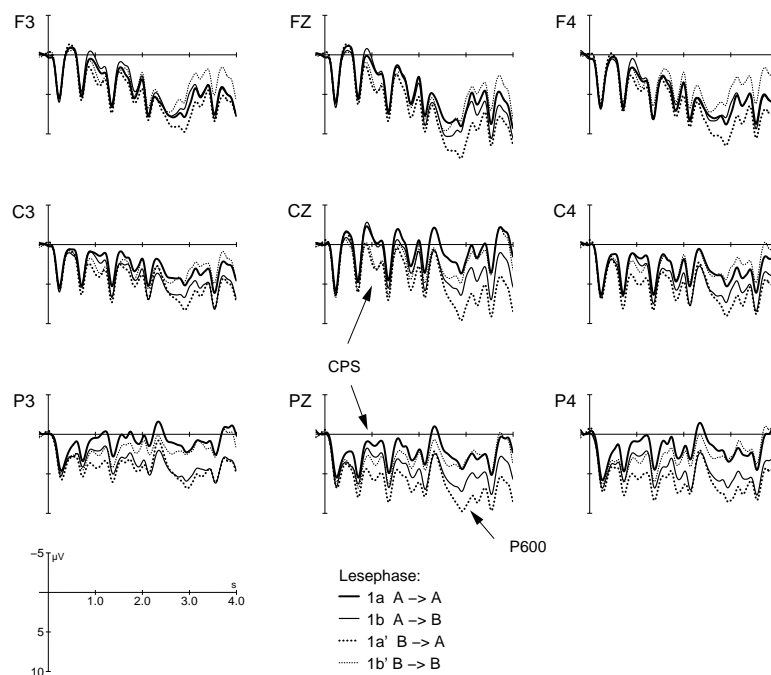
### 9.3 Ergebnisse

Abbildung 9.2 stellt die EKPs während der Hörphase dar. Wie erwartet, findet sich in der B-Bedingung relativ zur A-Bedingung ein positiver Shift (CPS) im Zeitbereich der ersten Phrasengrenze (zwischen 1000 und 2000 ms). Diese Differenz konnte statistisch abgesichert werden ( $F(1,15)=4.86$ ;  $p<.04$ ; Mittellinie). Ein CPS wurde also auch in Abwesenheit lexikalischer Information durch das reine prosodische Muster einer Phrasengrenze in der Satzmelodie von Bedingung B ausgelöst. Im Gegensatz zu diesem ersten CPS in Bedingung B waren die EKP-Ergebnisse an der zweiten Phrasengrenze nach Verb2 weniger deutlich und verfehlten die Signifikanzgrenze in beiden Bedingungen.

Abbildung 9.3 illustriert die entsprechenden EKPs während der Lesephase. In Übereinstimmung mit Hypothese 2 findet sich nach Verb1 ein CPS, wenn zuvor die B-Bedingung gehört worden war und daher an dieser Position eine Phrasengrenze reproduziert werden sollte. Die



**Abbildung 9.2:** EKPs während der Hörphase in Experiment 6. Dargestellt ist ein Grand Average über den gesamten Satz für die Prosodie A, die Prosodie B und deren Differenz (B - A). In B ist relativ zu A eine Positivierung (CPS) an der ursprünglichen Phrasengrenze zu erkennen.



**Abbildung 9.3:** EKGs für die Lese- und Hörphase in allen 4 Bedingungen. Wenn nach dem ersten Verb eine Phrasengrenze reproduziert werden sollte (Bedingungen B-A und B-B), wurde wiederum ein positiver Shift (CPS) an dieser Position ausgelöst, der demjenigen der Kommaexperimente auffallend ähnelt.

hervorgerufene signifikante Positivierung ( $F(1,15)=7.12$ ;  $p<.02$ ; Mittellinie) ähnelt weitgehend den Komma-Effekten der Leseexperimente 4 und 5, setzt jedoch etwas früher ein und dauert länger, wenngleich nicht so lange wie der CPS in der Hörphase. In den inkompatiblen Bedingungen A-B und B-A läßt sich in Übereinstimmung mit Hypothese 3 eine P600 als Korrelat des Gardenpath-Effekts erkennen ( $p<.03$ ; Mittellinie), die insbesondere in Bedingung B-A eine große Amplitude erreicht ( $p<.01$ ).

## 9.4 Diskussion

Die Daten für die Hörphase zeigen, daß der CPS auch ohne lexikalische Wortinformation an prosodischen Grenzen ausgelöst wird. Syntaktische Prozesse sind aber definitionsgemäß Operationen, die lediglich an linguistischem Wortinput ausgeführt werden können. Das

bedeutet, daß die Positivierung mit hoher Wahrscheinlichkeit nicht an syntaktische Prozesse gebunden ist, sondern (in Entsprechung der bisherigen Interpretation) primär die phonologische bzw. prosodische Segmentierung des Inputs reflektiert. Diese Interpretation, die als Hinweis auf ein basales prosodisches Parsing unabhängig von lexikalischer Information gedeutet werden kann (vgl. Beckman, 1996), wird lediglich durch die Möglichkeit in Frage gestellt, daß die Probanden beim Hören der Satzmelodie lexikalische Information vorheriger Sätze aktivierten. Hierfür fand sich bei Befragten der Probanden allerdings kein Hinweis.

Ein unerwarteter Befund während der Hörphase war das Ausbleiben des CPS nach Verb2 in beiden Bedingungen. In allen drei auditiven Experimenten, in denen die *nicht*-delexikalisierten Sprachsignale präsentiert worden waren (Experimente 1-3) war jedoch ein entsprechender CPS beobachtet worden. Für diesen Unterschied lassen sich zwei mögliche Erklärungen anführen. Einerseits könnte die Delexikalisierungsfilterung doch Einfluß auf die Grenzmarkierung gehabt haben. Dies würde implizieren, daß die erste Phrasengrenze in B von vorn herein deutlicher markiert war. Zweitens könnte die Auslösung des CPS stärker als bisher angenommen von der *aufmerksamen* Verarbeitung der Phrasengrenze abhängen. Im Fall der delexikalisierten Sätze ist durchaus denkbar, daß die Probanden in erster Linie auf die aufgabenrelevante erste Phrasengrenze fokussierten.

Im Hinblick auf die EKPs während der Lesephase ist insbesondere die Ähnlichkeit des CPS mit der entsprechenden Komponente im Komma-Experiment bemerkenswert. Beim Replizieren von vorgegebenen prosodischen Grenzen während des stillen Lesens wird also offenbar ebenfalls ein CPS hervorgerufen, der nochmals nahelegt, daß die Verarbeitung von Kommas auf einem ähnlichen Prozeß beruht. Wie in den vorherigen Leseexperimenten war der CPS relativ zu demjenigen bei auditiven Stimulusdarbietung (Hörphase) von kleinerer Amplitude und kürzerer Dauer. Während die Dauerdifferenzen auf größere Latenzvariabilitäten im auditiven Material zurückgeführt werden können, scheint die geringere Amplitude des subvokal ausgelösten CPS wiederum auf die bloß partielle Aktivierung prosodischer Repräsentationen hinzuweisen.



## 10 Abschließende Diskussion

Ausgangspunkt dieser Arbeit war der Versuch, die Einsetzbarkeit ereignis-korrelierter Hirnpotentiale (EKPs) für die Untersuchung prosodischer Verarbeitung, insbesondere in ihrem Einfluß auf syntaktische Satzanalysen, zu prüfen. Noch immer wird die psycholinguistische Forschung wesentlich von Lesestudien dominiert, obwohl gesprochene Sprache sowohl phylo- wie auch ontogenetisch die ursprünglichere Art menschlicher Kommunikation darstellt. Ursachen für diese Vernachlässigung ihrer Erforschung sind die wesentlich höhere Komplexität akustischer Sprachsignale gegenüber geschriebenem Text sowie die daraus resultierenden gesteigerten Anforderungen an die experimentelle Herangehensweise. Insbesondere fehlte in der Prosodieforschung bislang eine befriedigende Online-Methode (Cutler et al., 1997; Warren, 1999), während die zeitlich hochauflösenden EKPs in anderen Teilbereichen der empirischen Psycholinguistik seit den frühen 80er Jahren erfolgreich eingesetzt werden.

In einer Serie von sechs Experimenten konnte die vorliegende Studie nicht nur demonstrieren, daß die EKP-Methode auf die Untersuchung prosodischer Satzverarbeitung verläßlich anwendbar ist. Vielmehr war es darüber hinaus mit Hilfe einer neu entdeckten EKP-Komponente möglich zu zeigen, wie prosodische Information unmittelbar steuernden Einfluß auf die syntaktische Satzanalyse ausüben kann. Desweiteren wurde erstmalig ein Direktvergleich zwischen der Verarbeitung prosodischer Information bei auditiver Sprachpräsentation und korrespondierender Interpunktion (Kommas) bei visueller Satzdarbietung vorgenommen, dessen Daten auf einen gemeinsamen Verarbeitungsmechanismus hinweisen. Insgesamt liefern die Experimente eine Reihe wichtiger Erkenntnisse, welche nachfolgend getrennt für die psycholinguistische Modellbildung, für die psycholinguistische EKP-Forschung und für die Forschungsmethodik diskutiert werden. Abschließend wird ein Ausblick auf denkbare Konsequenzen und Folgestudien gegeben.

### 10.1 Psycholinguistische Modelle

Für die psycholinguistische Modellbildung sind sowohl die akustischen Sprachsignalanalysen als auch sämtliche sechs EKP-Experimente zur Perzeption ambiger Satzstrukturen von Interesse.

### 10.1.1 Syntax-Prosody-Mapping durch den Sprecher

Die akustischen Signalanalysen des auditiven Satzmaterials ergaben systematische und hochsignifikante prosodische Differenzen zwischen den syntaktisch unterschiedlichen Satztypen A und B (Kapitel 4; siehe auch Alter et al., 1998; Schirmer, 1999). Die Daten stehen im Einklang mit den theoretischen Voraussagen phonologischer Modelle (Jacobs, 1993; Reyelt et al., 1996). Zusammen mit konvergierender Evidenz anderer Autoren (Schafer et al., 2000) belegen sie, daß normal-gesunde Sprecher syntaktische Strukturinformation verläßlich prosodisch kodieren, wobei allerdings individuell Unterschiede in der Wahl der Parameter auftreten können. Diese interindividuelle Variabilität mag ursächlich für widersprüchliche Ergebnisse anderer Autoren sein (Allbritton et al., 1996). Sowohl die Variabilität als auch der Befund aus Experiment 3, daß in Präsenz anderer Grenzmarker das Herausslöchen einer signifikanten Pauseninsertion die Wahrnehmung einer prosodischen Grenze nicht entscheidend beeinflussen muß, steht im Einklang mit der Hypothese des *cue trading* (Streeter, 1978; Beach, 1991), d.h. verschiedene akustische Ereignisse können gemeinsam zu einem prosodischen Effekt (hier der Grenzmarkierung) beitragen und sich partiell vertreten. Im vorliegenden Stimulusmaterial (Experiment 3) kam der Pause infolge einer hinreichenden Grenzmarkierung durch andere Parameter offenbar kaum noch eine Bedeutung zu, während andere Sprecher sich jedoch nahezu ausschließlich der Pauseninsertion als Parameter bedienen (Alter et al., 1998).<sup>22</sup> Das *cue trading* veranschaulicht, daß prosodische Phänomene sich nicht auf einzelne akustische Parameter reduzieren lassen, sondern gerade verschiedene Realisierungen durch den Sprecher zulassen. Aus diesem Grund unterstützen die Daten indirekt Forderungen nach der Etablierung einer distinkten phonologischen Repräsentationsebene innerhalb psycholinguistischer Modelle (Beckman; 1996; Schafer, 1997; Warren; 1999), die den gängigen phonologischen Notationsmodellen (z.B. ToBI) nachgebildet werden könnte. Bei entsprechender neurophysiologischer Bestätigung (s.u.) wäre auf neuronaler Ebene ein integrativer Verarbeitungsmechanismus zu fordern, der die Verrechnung der zunächst getrennt kodierten Informationen (Dauer, Frequenz und Intensität) vornimmt.

---

<sup>22</sup> Die Resultate des dritten Experimentes erlauben also keineswegs den Umkehrschluß, Pausen wären generell irrelevant für die Markierung von prosodischen Phrasengrenzen. In *Abwesenheit* anderer Parameter kann einer Pauseninsertion vielmehr die alles-entscheidende Markierungsfunktion zukommen.

### 10.1.2 Prosody-Syntax-Mapping durch den Hörer

Andererseits beantworten die Daten der ersten drei EKP-Perzeptionsexperimente eindeutig die zentrale und noch bis vor kurzem heftig diskutierte Frage (z.B. Stirling & Wales, 1996; Pynte & Prieur, 1996), wann prosodische Information die syntaktische Strukturbildung im Hörer beeinflusst. Die Antwort lautet, daß Prosodie einen sofortigen Einfluß hat (bzw. haben kann) und initiale Präferenzen des syntaktischen Parsers völlig überschreiben und sogar umkehren kann. Damit wird zugleich ein Großteil bisheriger psycholinguistischer Parsingtheorie relativiert, die in überwältigendem Maße auf Lesedaten beruhte, welche an Satzmaterial ohne Interpunktion erhoben wurden. Die dort beobachteten initialen Fehlanalysen in ambigen Satzstrukturen, die als Folge von Parsingpräferenzen wie dem *Minimal Attachment* oder dem *Late Closure Prinzip* auftreten (vgl. Frazier, 1978, 1987), werden bei auditorischer Satzverarbeitung vermutlich in einer Vielzahl von Fällen so frühzeitig durch prosodische Disambiguierung unterbunden, daß Gardenpath-Effekte schlichtweg nicht auftreten (vgl. auch Kjelgaard & Speer, 1999).

Interaktive Verarbeitungsmodelle (z.B. MacDonald, 1994) sind mit diesem Befund zwar prinzipiell kompatibel, müßten aber erklären, warum z.B. semantische Information diesen frühen Einfluß in der Regel nicht hat (z.B. Mecklinger et al., 1995). Tatsächlich scheint bisher *allein* prosodische Information in der Lage, die etablierten Parsingprinzipien nicht nur zu kompensieren, sondern vollständig umzukehren (reverser Gardenpath in Bedingung C der Experimente 1-3). Sogenannte Syntax-First-Modelle wie das Gardenpath-Modell (Frazier, 1978, 1987) lassen sich mit diesem Befund nur vereinbaren, wenn der als "autonom" geltende Syntaxparser explizit als empfänglich für prosodische Information ausgelegt wird. Diese Modifikation erscheint allerdings als marginal, wenn die Art der prosodisch kodierten Information bereits auf Sprecherseite als syntax-strukturell definiert wird (vgl. Abschnitt 10.1.1). In diesem Fall bliebe die Grundannahme modularer Parsingmodelle, wonach in der initialen Parsingphase ausschließlich syntaktische Information berücksichtigt wird, weiterhin unangetastet. Die einzige offensichtliche Änderung von wirklicher Relevanz im Gardenpath-Modell (und in verwandten Modellen, z.B. Friederici, 1995) würde daher den Sonderstatus der Wortkategorie-Information betreffen, die bisher mit exklusivem Vorrang gegenüber anderer Information verarbeitet wurde, um initiale Phrasenstruktur-Repräsentationen generieren zu können. In einem zweiten Schritt müßte allerdings außerdem ein Mechanismus überlegt (und empirisch überprüft) werden, wie (und in welcher Prozeßabfolge) die Integration von prosodischer und lexikalischer Information vom Parser bewältigt wird.

Tatsächlich wird diese Zusatzforderung dadurch verkompliziert, daß (a) prosodische Information nicht notwendig syntaktischer Natur ist und (b) von verschiedenen Autoren die Notwendigkeit eines separaten prosodischen Parsers diskutiert wird (z.B. Beckman, 1996). Das hierbei thematisierte Problem besteht darin, daß phonologische Wortgruppierungen (Phrasen) sowohl syntaktisch als auch nicht-syntaktisch (z.B. informations-strukturell) motiviert sein können, wobei die Abbildung aufeinander nicht notwendig eindeutig sein muß. Ein initiales phonologisches Chunking, d.h. die Bildung vorläufiger Wortgruppen nicht auf Basis syntaktischer, sondern phonologischer Information (vgl. auch Schafer, 1997; Watt & Murray, 1996), würde ein zentrales Prinzip der meisten Syntax-First-Modelle, nämlich die sofortige (inkrementelle) syntaktische Phrasenstrukturbildung, zumindest teilweise unterminieren. Bei Aufrechterhaltung eines strikt seriellen Verarbeitungsmodells müßte einem prosodischen Parser aber generelle Priorität eingeräumt werden. Eine Lösung könnte möglicherweise darin liegen, phonologische Phrasen als Domänen initialer Phrasenstrukturbildung anzunehmen, deren übergeordnete Verkettung in einem zweiten Schritt erfolgt. Ein solcher Ansatz (vgl. auch Schafer, 1997; Watt & Murray, 1996) ähnelt in seiner Zweistufigkeit der legendären "Wurstmaschine" (Fodor & Frazier, 1978), also dem Vorläufer des Gardenpathmodells. Infolge der weitgehenden Konfundierung von phonologischen und syntaktischen Phrasengrenzen im Material der vorliegenden Arbeit kann diese Frage nur durch Folgeexperimente geklärt werden.

Nachdem die Unmittelbarkeit des prosodischen Einflusses auf das syntaktische Parsing zumindest im Einzelfall eindeutig erwiesen ist, könnte es sich als eine der wichtigsten psycholinguistischen Fragestellungen der nächsten Jahre herausstellen, die in den letzten Jahrzehnten nahezu völlig vernachlässigte Schnittstelle zwischen suprasegmentaler Phonologie und syntaktischer Struktur genauer zu spezifizieren. Insgesamt zeichnet sich ab, daß wesentliche Aussagen von Parsingmodellen vermutlich nur für die Verarbeitung von Schriftsprache gültig sind. Insbesondere die klassischen Gardenpath-Bedingungen (Early Closure und Non-Minimal Attachment; Frazier, 1978, 1987) dürften in gesprochener Sprache nur dann zu vergleichbaren Mißverständnissen führen, wenn die syntaktische Ambiguität zugleich mit *prosodischer* Ambiguität einhergeht (Beckman, 1996). Wenn Satzzeichen das prosodische Disambiguierungspotential direkt in die Schriftsprache importieren, könnte das vorliegende Wissen über Parsingpräferenzen und potentielle Mißverständnisse zu einer empirisch begründeten Neufassung von Interpunktionsregeln führen.

### 10.1.3 Die Verarbeitung von Satzzeichen

Die Tatsache, daß unmittelbare Einflüsse auf den Parser auch von Kommas ausgeübt werden können, verlangt entsprechend eine zusätzliche Modifizierung serieller Parsingmodelle. Allein auf Basis der behavioralen Daten waren zwei Mechanismen bei der Verarbeitung von Satzzeichen vorstellbar, die jedoch jeweils die Exklusivität von Wortkategorieinformation beim Parsing ausschließen: Entweder wird Kommmainformation zuerst prosodisch umkodiert, oder der Parser ist unabhängig davon auch direkt durch visuelle nicht-lexikalische Information beeinflusbar. Insbesondere die vorliegenden elektrophysiologischen Daten (CPS an Kommmapositionen) unterstützen massiv eine direkte Umkodierung der Satzzeicheninformation in prosodische Repräsentationen. Damit wird zugleich die von Bader (1994, 1999) und Chafe (1988) vertretene Annahme einer regelhaften Aktivierung prosodischer Muster selbst beim stillen Lesen implizit bestätigt. Darüber hinaus liefern die EKP-Muster Anhaltspunkte zur weiteren Spezifizierung dieser Hypothese.

Zunächst zeigen die Daten, daß nicht nur Satzakkente (wie in Baders Studie zum Einfluß von Fokuspartikeln), sondern auch phonologische Phrasierungsinformation beim Lesen aktiviert wird. Zweitens deuten sowohl die reduzierte CPS-Amplitude bei visueller gegenüber auditiver Präsentation (Kommas versus Intonationsphrasengrenzen) als auch die abgeschwächten Gardenpath-Effekte (reduzierte P600 nach inkompatiblen Kommas) darauf hin, daß die phonologischen Repräsentationen beim Lesen nur partiell aktiviert werden. Drittens wurde im vierten Experiment erstmals nachgewiesen, daß die interindividuellen Unterschiede bei Zeichensetzungsgewohnheiten eine direkte Entsprechung in der Perzeption von Satzzeichen haben. Probanden, die im Test an den kritischen Phrasengrenzen systematisch Kommas setzten, wurden auch beim Lesen durch entsprechende Kommas stark in ihren Parsingentscheidungen beeinflusst. Probanden mit weniger regelhaften Zeichensetzungsgewohnheiten orientierten sich dagegen auch beim Lesen weniger stark an Kommas. Eine wichtige Frage für Folgestudien wäre, ob die Sensibilität gegenüber Satzzeichen im einzelnen Individuum konstant ist oder wiederum über verschiedene Kommaregeln hinweg variiert. So ist durchaus vorstellbar, daß die Salienz von Kommmainformation intra-individuell zunimmt, wenn für eine gegebene Satzkonstruktion entsprechendes Regelwissen vorliegt.

In diesem Zusammenhang muß nochmals betont werden, daß die Daten grundsätzlich für eine phonologische Rekodierung der Satzzeicheninformation sprechen, so daß davon auszugehen

ist, daß es inter-individuelle Unterschiede in der Aktivierung phonologischer Repräsentationen gibt. Die enge Verbindung von Kommaverarbeitung und phonologischer Phrasierung wird auch noch durch einen weiteren Befund nahegelegt: Im fünften Experiment konnte klar nachgewiesen werden, daß selbst ein offensichtlicher Regelverstoß nur dann zu Verarbeitungsschwierigkeiten führte, wenn er zugleich mit einer unzulässigen phonologischen Phrasierung einherging. Erkennbar regelwidrige Kommas lösten, wenn sie im Einklang mit der syntaktisch motivierten Phrasierung standen, lediglich einen CPS aus, nicht aber eine P600 auf dem disambiguierenden Element. Eine P600-Komponente wurde erst dann beobachtet, wenn die Komma-induzierte Phrasierung mit den Erfordernissen des Syntax-Prosodie-Mappings unvereinbar war. Die P600 ist also kein Korrelat für einen bloßen Verstoß von Kommaeregeln, sondern reflektiert die erforderliche syntaktische Umstrukturierung im Fall widersprüchlicher Information. Diese Interpretation steht in völligem Einklang mit dem von Friederici (1995) vorgeschlagenen Modell.

Im Hinblick auf die kürzlich erfolgte Liberalisierung der deutschen Zeichensetzungsregeln im Rahmen der Rechtschreibreform (Dudenredaktion, 1996) ist anzumerken, daß die Änderungen vermutlich lediglich der tatsächlichen Variabilität Rechnung tragen, die sich bereits unter Hochschulstudenten (d.h. in einer relativ homogenen Population) feststellen läßt. Da syntaktische Strukturen häufig mehr als eine einzige phonologische Phrasierung zulassen, ist die stärkere Berücksichtigung dieser Freiheitsgrade und die Abkehr von formalen Regeln grundsätzlich zu begrüßen. Gerade der Befund in Experiment 5, daß 'regelwidrige' (aber phonologisch kompatible) Kommas nicht zur Beeinträchtigung des Satzverstehens führen, kann als Unterstützung für die Liberalisierung von Zeichensetzungsregeln interpretiert werden. Die Beobachtung, daß Probanden mit starker Orientierung an den strikten traditionellen Regeln insgesamt besseres Satzverständnis zeigten, scheint jedoch auf einen weiteren Aspekt hinzudeuten. Wenn Zeichensetzung das orthographische Korrelat prosodischer Phrasierung darstellt und Eindeutigkeit (d.h. Regelwissen) die Verständlichkeit signifikant erhöht, sollte möglicherweise die Schulung phonologischer Ausdrucksmöglichkeiten und ihre gezielte Umsetzung in die Schriftsprache die bloße Vermittlung von Zeichensetzungsregeln ergänzen. Eine adäquate Übertragung der scheinbar relativ verlässlichen Disambiguierung durch Prosodie (Alter et al., 1998 und Experimente 1-3) in die Interpunktion sollte grundsätzlich ähnlich positive

Auswirkungen auf die Verhinderung von initialen Mißverständnissen (d.h. Gardenpath-Effekten) haben. Zielsetzung aus dieser Perspektive wäre dann eher die Vermittlung allgemeingültiger Korrespondenzregeln zwischen Prosodie und Satzzeichen als die Etablierung einheitlicher Interpunktionsregeln. Ob diese Art von Regelwerk letztlich zu einer Erhöhung der Eindeutigkeit geschriebener Sprache führt, ist eine empirische Frage, deren Beantwortung die genauere Kenntnis der Zusammenhänge zwischen Regelwissen und phonologischer Umkodierung voraussetzt. Die Ergebnisse der Leseexperimente zeigen, daß diese Zusammenhänge existieren und einer systematischen Erforschung zugänglich sind. Falls sich die hier vertretene Vermutung bestätigt, daß Gardenpath-Effekte im wesentlichen ein Phänomen *geschriebener* (im Gegensatz zu gesprochener) Sprache sind und auf der Abwesenheit prosodischer Information beruhen, erscheint die (bislang vernachlässigte) Erforschung von Satzzeichen in ihrem Einfluß auf das Leseverhalten als naheliegende Fragestellung innerhalb der bestehenden Parsermodelle. Mit Blick auf die anhaltende Diskussion amtlicher Zeichensetzungsregeln (z.B. Böhme, 1995) würde dieser Forschung unmittelbare praktische Relevanz zukommen.

#### **10.1.4 Die Schwere von Gardenpath-Effekten und von Reanalysen**

In Bezug auf die Schwere von Gardenpath-Effekten lassen die Resultate der vorliegenden Arbeit zwei Schlußfolgerungen zu. Einerseits unterstreichen sie die entscheidende Rolle von prosodischen Repräsentationen bei der Steuerung der syntaktischen Analyse. Sowohl im Hörer als auch im Leser scheint die jeweilige syntaktische Strukturrepräsentation im Einklang mit der phonologischen Struktur stehen zu müssen. Andernfalls wäre der beobachtete Prosodie-induzierte reverse Gardenpath nicht erklärbar. Die Tatsache, daß viele der klassischen Gardenpath-Sätze je nach Lesart *verschiedene* phonologische Phrasierungen erfordern, bestärkt die Hypothese Baders (1994, 1998), daß die Schwere der Reanalyse in starkem Maße eine Funktion der notwendigen phonologischen Umstrukturierung ist (Bsp.: *The horse # raced past the barn # fell*). Dieser Punkt wird in der Diskussion zur Bedeutung der P600-Komponente nochmals aufgegriffen.

Ein zweiter, relatierter Befund betrifft die Unterschiede zwischen klassischem und reversem Gardenpath in den Leseexperimenten 4 und 5. Ähnlich wie schon in der auditiven Pilotstudie

von Höhle et al. (1995), erwiesen sich die Verständnisprobleme nach überflüssigen Phrasengrenzen (*Peter verspricht # Anna zu arbeiten*) als äußerst stark, diejenigen nach fehlender Grenze (*Peter verspricht Anna zu entlasten*) dagegen als vergleichsweise leicht. Im Gegensatz zum Gardenpath-Modell von Frazier (1978, 1987), das den Fall eines reversen Gardenpath-Effekts nicht vorsieht, konnte der beschriebene Unterschied im Rahmen von Gorrell's Parsermodell (Gorrell, 1995) erklärt werden. Danach läßt sich der klassische Gardenpath als *structure addition*, der schwierigere reverse Gardenpath hingegen als *structure alteration* beschreiben, wobei letztere stets als die komplexere Reanalyse angenommen wird. Eine phonologisch motivierte Alternativhypothese würde annehmen, daß es generell schwieriger sein könnte, eine bereits etablierte Phrasengrenze rückgängig zu machen, als eine solche Grenze nachträglich einzuführen. Die generellere Frage im Vergleich der beiden Alternativerklärungen betrifft die Überlegung, ob phonologische Restrukturierungen per se zu Gardenpath-Effekten führen oder ob sie lediglich indirekt zur Erschwerung bestimmter syntaktischer Reanalysen beitragen (z.B. indem sie die initiale Syntaxanalyse durch eine zusätzliche Repräsentationsebene 'verfestigen'). Ein kritisches Experiment zur Untersuchung dieser Frage müßte entweder eine *structure alteration* mit einer korrespondierenden *structure addition* vergleichen, ohne daß prosodische Phrasierung betroffen wäre. Oder es müßte eine phonologische Reanalyse der genannten Art untersuchen (d.h. Insertion versus Löschung von Phrasengrenzen), ohne daß dieser Reanalyse zugleich syntaktische Strukturdifferenzen zugrunde liegen.

## **10.2 Ereignis-korrelierte Potentiale**

Auch für die psycholinguistische EKP-Forschung ergeben sich aus den Daten nicht unerhebliche Konsequenzen. Erstens konnte erstmalig gezeigt werden, daß bereits etablierte sprachrelatierte EKP-Komponenten wie die N400 und die P600 nicht nur durch lexikalische, sondern auch durch rein prosodische Manipulation des Inputs ausgelöst werden können, sofern diese Manipulation entsprechende syntaktische Strukturinformation kodiert. In diesem Kontext wurde außerdem die Hypothese entwickelt, daß die P600 neben syntaktischen möglicherweise



auch phonologische 'Reanalysen' reflektiert (vgl. Abschnitt 10.2.1). Der wichtigste EKP-Befund der vorliegenden Arbeit liegt jedoch zweifelsfrei in der Entdeckung des *Closure Positive Shift* (CPS) als der ersten EKP-Komponente für prosodische Verarbeitung (vgl. Abschnitt 10.2.2).

### 10.2.1 Gardenpath-Effekte und die Bedeutung der P600

Die für den reversen Gardenpath der auditiven Experimente 1-3 gefundenen EKP-Korrelate entsprachen exakt dem vorausgesagten Muster. Die intendierte Verbargumentstruktur-Verletzung in Sätzen wie *'Peter verspricht # Anna zu arbeiten'* rief auf dem inkompatiblen Verb *arbeiten* eine N400-P600-Sequenz relativ zu korrekten Sätzen hervor, wobei rein lexikalische Effekte ausgeschlossen werden konnten. Die Komponentenabfolge stimmt mit früheren Befunden aus Lesestudien mit vergleichbaren Verletzungen überein (Osterhout & Holcomb, 1992; Jacobsen & Friederici, 1998; Friederici & Frisch, 2000). Innerhalb der drei Experimente erwies sich das Muster als robust gegenüber veränderten Aufgaben. Die N400 reflektiert vermutlich semantische Integrationsprobleme und einen erneuten lexikalischen Zugriff nach Detektion der Argumentstruktur-Verletzung (vgl. auch Hopf et al., 1997). Die P600 kann dagegen als Korrelat der Reanalyse bzw. Reparatur dieser Verletzung gelten (Osterhout & Holcomb, 1992; Friederici, 1995).

Die Tatsache, daß die von der P600 reflektierten Strukturreanalysen im vorliegenden Fall notwendigerweise auch prosodische Konsequenzen hatten, haben zu der Hypothese geführt, daß die P600-Komponente vermutlich sowohl syntaktische als auch prosodische Reanalyseprozesse widerspiegelt. Dies entspricht einer Weiterführung von Baders Vorschlag, daß syntaktische Reanalysen durch prosodische Konsequenzen zusätzlich erschwert werden (Bader, 1994, 1998). Die Übertragung dieses Ansatzes auf die P600 bedeutet eine erhebliche Erweiterung der funktionellen Charakteristik dieser von den meisten Autoren bislang rein syntaktisch interpretierten Komponente. Die Hypothese wäre, daß die Amplitude (und möglicherweise die Latenz) der P600 im Fall zusätzlicher phonologischer Reanalysen zunehmen sollte.

Ähnliche Überlegungen waren von Friederici (1998; siehe auch Friederici, Mecklinger, Spencer, Steinhauer & Donchin, 2001) bereits für die Berücksichtigung von Diagnoseprozessen angestellt worden. Ihrem Vorschlag zufolge spiegeln syntaktische Positivierungen in Gardenpath-Sätzen sowohl die Diagnose (vgl. Fodor & Inoue, 1994) als auch die eigentliche Ausführung einer strukturellen Revision wider. Die hier vorgeschlagene Erweiterung auf prosodische Revisionsprozesse steht durchaus im Einklang mit der bisherigen Datenlage. Nahezu alle bisher untersuchten Gardenpath-Phänomene involvieren vermutlich zugleich eine prosodische Umstrukturierung (z.B. Osterhout & Holcomb, 1992, 1993; sämtliche Closure-Ambiguitäten). In der schon erwähnten EKP-Lesestudie von Friederici und Kollegen (1998) wurden denselben Probanden einerseits Objekt-Relativsätze und andererseits Objekt-Komplementsätze als Gardenpath-Sätze präsentiert. Die schwierigeren Objekt-Komplemente lösten eine typische P600 aus, während die Objekt-Relativsätze eine frühere Positivierung um 350 ms mit relativ kurzer Dauer hervorriefen (vgl. auch Mecklinger et al., 1995; Steinhauer et al., 1997). Interessanterweise gilt gerade für die Objekt-Relativsätze (nicht aber für die Objekt-Komplemente), daß die erforderliche Reanalyse keine prosodischen Konsequenzen nach sich zieht (vgl. auch Bader & Meng, 1999).

Die gefundenen Unterschiede sowohl in der Stärke des Gardenpaths als auch im EKP-Muster könnten daher zumindest teilweise mit dem größeren Einfluß der (verdeckt aktivierten) prosodischen Struktur zu tun haben. Auch P600-Komponenten definitiver Syntaxverletzungen könnten prosodisch mitbedingt sein, da das zu korrigierende Wort bzw. Wortfragment informationsstrukturell ins Zentrum der Aufmerksamkeit gelangt (sogenannter Korrekturfokus) und damit in der Regel eine Änderung des Betonungsmusters bewirkt (*nicht "das Kind gehen", sondern "das Kind GEHT"*). Darüber hinaus wurden P600-ähnliche Komponenten auch für strukturelle Verletzungen musikalischer Muster gefunden, wobei sich die Topographie sich nicht von der P600 bei linguistischen Verletzungen unterschied (Patel, Gibson, Ratner, Besson & Holcomb, 1998). Schließlich würde die Hypothese, daß die P600 verschiedene Arten struktureller Reanalysen reflektiert, auch die berichteten Amplitudendifferenzen zwischen den auditiven Experimenten und den Leseexperimenten erklären, da phonologische Repräsentationen beim Lesen vermutlich nur partiell aktiviert werden.

### 10.2.2 Phonologische Phrasierung und der *Closure Positive Shift*

Isoliert betrachtet stellt die Entdeckung des *Closure Positive Shifts* (CPS) als der bislang ersten identifizierten 'prosodischen' EKP-Komponente den bedeutsamsten Einzelbefund der vorliegenden Arbeit dar. Diese inzwischen mehrfach replizierte Positivierung, welche regelmäßig an Intonationsphrasengrenzen auftrat, eröffnet die Möglichkeit, prosodische Segmentierung im Hörer on-line zu registrieren (vgl. auch Abschnitt 10.1.2). Eine kürzlich vorgestellte niederländische EKP-Studie zur prosodischen Verarbeitung belegt zudem, daß der CPS auch in anderen Sprachen systematisch an Intonationsphrasengrenzen hervorgerufen wird (Brown & Hagoort, 2000). Die centro-parietale Komponente zeichnet sich durch große Robustheit aus und war selbst unter wechselnden Aufgabenanforderungen in jeder einzelnen Versuchsperson zu beobachten. Offenbar reflektiert sie Prozesse der phonologischen Phrasenbildung. Einflüsse exogener Komponenten konnten ebenso ausgeschlossen werden (Experimente 1 und 2) wie eine direkte Abhängigkeit von Pausen im Sprachsignal (Experiment 3). Da der Effekt früher auftrat als das Satzakkzent-tragende Element (z.B. ANNA in *Peter verspricht # ANNA zu ...*), scheidet auch Akzentuierung als potentielle Ursache der CPS-Auslösung aus und legt einen direkten Zusammenhang zwischen der Wahrnehmung von Phrasengrenzen einerseits und dem CPS andererseits nahe. Da in den vorliegenden Experimenten die Phrasengrenze eingesetzt wurde, um im Hörer eine veränderte syntaktische Satzanalyse herbeizuführen, bestand die Möglichkeit, daß der CPS eben diesen syntaktischen Verarbeitungsprozeß widerspiegelte. Da syntaktische Struktur aber zumindest an minimalen lexikalischen Input (Wortkategorieinformation) gebunden ist, hätte der CPS bei Darbietung der delexikalisierten 'puren' Satzprosodie in der Hörphase des sechsten Experiment ausbleiben müssen. Dies war nicht der Fall, so daß nur die Beschreibung des CPS als 'prosodische' EKP-Komponente kompatibel mit allen Datenpunkten ist.

Umso interessanter ist der Befund, daß Kommas in geschriebener Sprache offenbar ebenfalls CPS-ähnliche Komponenten hervorrufen können. Ebenso wie der auditiv evozierte CPS, konnte auch der Komma-gebundene CPS in verschiedenen Satztypen repliziert werden. Im Gegensatz zu den auditiven Experimenten wies die Komponente in Leseexperimenten jedoch eine

geringere Amplitude auf. Dies galt auch für die Lesephase des sechsten Experimentes, in welcher die zuvor gehörte Phrasengrenze beim stillen Lesen repliziert werden sollte. Dieser Befund spricht dafür, daß die subvokale Aktivierung prosodischer Phrasengrenzen generell schwächer ist als die Aktivierung durch auditiven Input. Zugleich weist die große Ähnlichkeit der in der Lesephase von Experiment 6 gefundenen Positivierung mit dem Komma-induzierten Effekt darauf hin, daß Kommas als unmittelbare Trigger subvokaler Phrasierung fungieren. Diese bereits von Chafe (1988) vorgeschlagene Interpretation scheint damit erstmals empirisch überprüfbar. Insgesamt eröffnet sich damit die Möglichkeit, prosodische Verarbeitung sowohl bei audiver als auch bei visueller Stimuluspräsentation online zu erfassen.

Unklar bleiben nach wie vor die exakten Randbedingungen zur Auslösung des CPS. Einerseits war in der Hörphase des sechsten Experiments ein CPS nur an der ersten, nicht aber an der zweiten Phrasengrenze gefunden worden. Hierfür lassen sich Filtereinflüsse bei der Delexikalisierung und Aufmerksamkeitseffekte als zwei mögliche Erklärungen anführen (vgl. Experiment 6). Für die Leseexperimente galt, daß Kommas vor allem in jenen Versuchspersonen verlässlich einen CPS hervorriefen, die an entsprechenden Positionen selbst disambiguierende Kommas gesetzt hätten (Experiment 4). Der genauere Zusammenhang zwischen Regelwissen, Salienz und subvokaler Aktivierung von prosodischen Mustern durch Satzzeichen kann nur durch weitere Experimente geklärt werden.

Zuletzt soll nochmals zu der häufig vorgebrachten Frage nach der Relation des CPS zu bereits etablierten EKP-Komponenten Stellung bezogen werden. Ist der CPS möglicherweise eine P600? Oder eine P300? In dem Maße, wie die P600 als Korrelat *syntaktischer* Zusatzverarbeitung angesehen wird, lassen sich gemeinsame zugrunde liegenden Prozesse insbesondere deswegen ausschließen, weil der CPS sowohl in korrekten Satzstrukturen ohne Notwendigkeit zur Reanalyse als auch in delexikalisierten Satzmelodien ausgelöst wird. Da zuvor jedoch für die P600 die Möglichkeit diskutiert wurde, daß auch ihr unter anderem

phonologische Restrukturierungen zugrunde liegen könnten, ist in diesem Sinne eine partielle Gemeinsamkeit nicht auszuschließen. Ähnliche Überlegungen waren bereits für die von van Petten und Kutas (1991) berichteten satzfinalen Positivierungen angestellt worden (vgl. Experimente 3 und 4). Auch hier gilt, daß satzabschließende Interpunktion oder Pausen prinzipiell als Phrasengrenze interpretiert werden können und daher einen CPS-ähnlichen Effekt auslösen könnten.

Eine P300-Interpretation des CPS wird insbesondere durch die vergleichbare Topographie nahegelegt. Die Tatsache, daß nach allgemeiner Auffassung große P300-Komponenten von nahezu jedem bewußten Stimulus ausgelöst wird, der in irgendeiner Weise selten und zugleich relevant ist und daher eine Auffrischung der Inhalte im Arbeitsgedächtnis bewirkt (Donchin & Coles, 1988), ermöglicht es prinzipiell, auch den CPS als P300 zu beschreiben. Zweifelsohne kommen Intonationsphrasengrenzen innerhalb einer Gesamtäußerung *relativ selten* vor und sind zugleich von Relevanz. Die Allgemeinheit der P300-Charakterisierung stellt aber zugleich auch ihre Aussagekraft in Frage. Im vorliegenden Fall käme die Charakterisierung des (relativ spezifischen) CPS als einer (relativ unspezifischen) P300-Komponente seiner Trivialisierung gleich. Dies gilt insbesondere, wenn man bedenkt, daß schon 'die P300-Komponente' längst nicht mehr als monolithisch angesehen wird, sondern aus verschiedenen Subkomponenten besteht und mittlerweile sogar von der "Familie der P300-Komponenten" gesprochen wird (Coulson et al., 1998; Osterhout & Hagoort, 1998). Sinnvoll ist ein entsprechender Vergleich daher bestenfalls zwischen spezifischen Subkomponenten der P300-Familie und des (vermutlich ebenfalls nicht monolithischen) CPS. Für die Beantwortung dieser berechtigten Frage stehen die notwendigen Daten jedoch noch aus.

### **10.3 Experimentelle Methodik**

In Bezug auf die experimentelle Methodik, insbesondere für auditive Sprachexperimente, ergeben sich aus den bisherigen Experimenten ebenfalls einige neue Impulse. Als wichtigster Punkt ist die neue Möglichkeit zur Online-Messung prosodischer Segmentierung ohne besondere Taskanforderungen zu erwähnen, die sich durch den Closure Positive Shift im EKP

eröffnet. Neben einer Einsetzbarkeit bei (nur bedingt kooperationsfähigen) Kindern sowie im diagnostischen Bereich bei Patienten<sup>23</sup> ermöglicht die EKP-Messung auch bei normal-gesunden Erwachsenen eine wesentliche Erweiterung der Untersuchung prosodischer Verarbeitung. Dies gilt vor allem für die Erhebung multipler Meßpunkte, ohne daß die Sprachpräsentation zur Datenerhebung unterbrochen werden müßte. Die bislang eleganteste und fortschrittlichste Methode, prosodische Phrasierungsphänomene (indirekt) on-line zu erfassen, war die von Marslen-Wilson et al. (1992) sowie Warren et al. (1995) verwendete cross-modale Benennungsaufgabe, die aber nicht nur einen artifiziellen Wechsel von auditiver zu visueller Präsentation sowie von Perzeption zu Artikulation (Benennung) erforderte, sondern zugleich mit der Datenerhebung auch die natürliche Verarbeitung unwiderruflich abbrach. Das aufgaben-unabhängige Auftreten des CPS an Phrasengrenzen erlaubt dagegen eine direkte online-Messung ohne diese Einschränkungen.

Dadurch wurde es erstmalig möglich, innerhalb desselben Satzes durch das Auftreten des CPS vorauszusagen, welche syntaktische Verarbeitung später im Satz auftreten würde (und dort - wiederum aufgabenunabhängig – zu anderen EKP-Komponenten wie der N400 und der P600 führen würde; s.o.). Angesichts der wachsenden Erkenntnis, daß isoliert dargebotene Sätze in vieler Hinsicht anders verarbeitet werden als kontextuell eingebettete, wird die Erforschung natürlicher Sprachverarbeitung zukünftig vermehrt auf die Präsentation von Dialog-Situationen und ganzen Textpassagen übergehen. Der CPS ermöglicht, auch hier prosodische Segmentierung abzubilden, ohne daß die Perzeption gestört werden müßte.

Zusätzlich zu den methodischen Vorteilen, die der Einsatz ereignis-korrelierter Hirnpotentiale für die Erforschung prosodischer Verarbeitung bei auditiver Stimuluspräsentation bietet, zeichnen sich außerdem neue Möglichkeiten für Lesestudien ab. Die Aktivierung phonologischer Repräsentationen selbst beim stillen Lesen spielte bislang bestenfalls auf der Ebene einzelner Wörter eine Rolle (z.B. Conolly & Phillips, 1995). EKP-Muster wurden zwar in Abhängigkeit von der Wortposition im Satz (van Petten & Kutas, 1991), nicht aber hinsichtlich ihrer Lage relativ zu

---

<sup>23</sup> Eine modifizierte, Patienten-gerechte Version des ersten Experiments wurde bereits erfolgreich an einem rechtshemisphärisch lädierten Patienten der Tagesklinik (Universität Leipzig) mit Verdacht auf prosodische Verarbeitungsdefizite angewendet (Steinhauer, Kotz & von Cramon; unveröffentlichte Daten). Die EKP-Muster zeigten, daß sowohl die prosodische Phrasierung (CPS) als auch deren Kompatibilität mit lexikalischer Information (N400/P600) weitgehend normal verarbeitet wurden.

(Intonations-) Phrasengrenzen untersucht. Als vielversprechend für das Verständnis der Satzzeichenverarbeitung erwies sich außerdem die gleichzeitige Erfassung von individuellen Zeichensetzungsgewohnheiten.

#### **10.4 Ausblick**

Die vorliegende Arbeit beansprucht, den Nachweis geliefert zu haben, daß ereignis-korrelierte Hirnpotentiale einen adäquaten und ermutigenden Ansatz zur Erforschung prosodischer Sprachverarbeitung darstellen. Wie immer, wenn ein Forschungsgebiet der empirischen Überprüfung durch eine neue Methode zugänglich wird, ergeben sich mehr Fragen als zunächst beantwortet werden konnten. Im Folgenden sollen kurz einige denkbare Perspektiven zukünftiger Forschung und ihre potentiellen Anwendungsbereiche aufgezeigt werden.

Psycholinguistik, in deren Bereich diese Arbeit fällt, ist Grundlagenforschung. Ihre Berechtigung definiert sich nicht über die unmittelbare praktische Anwendbarkeit der Ergebnisse, sondern über das generelle Interesse, menschliche Kognition von Sprache zu verstehen. Potential für praktische Anwendungen besteht jedoch generell im klinischen Bereich, im Verständnis von Sprachstörungen, ihrer Diagnostik und bei der Rehabilitation. Mit der Entdeckung des CPS ist der relativ seltene Fall eingetreten, daß die Ergebnisse einer einzelnen Studie die Chance einer direkten Anwendung eröffnen. Sowohl die Größe der CPS-Amplitude als auch die Robustheit seines Auftretens haben es erlaubt, quasi verzögerungsfrei eine erste Patienten-gerechte Testversion des zweiten Experiments zu erstellen, die versuchsweise für diagnostische Zwecke bei Verdacht auf prosodische Störungen eingesetzt werden kann. Kriterien, die den erfolgreichen Einsatz eines derartigen Diagnoseinstruments mitentscheiden, geben Anhaltspunkte für sinnvolle Anschlußforschung. Angesichts der insgesamt äußerst vagen Spekulationen über die neuroanatomischen Substrate prosodischer Verarbeitung (Baum & Pell, 1999; Gandour, 2000) gehört hierzu etwa eine Quellokalisierung der neuralen CPS-Generatoren, die derzeit am MPI Leipzig bereits in einer MEG-Studie versucht wird. Eine weitere methodische Ergänzung bei der Identifikation anatomischer Strukturen besteht in der Anwendung funktionaler Kernspintomografie (fMRI; vgl. Steinhauer, Alter, Meyer, Friederici & von Cramon, 1999).

Eine weitere besonders naheliegende Fragestellung im direkten Anschluß an die bisherigen Experimente betrifft die genauen Randbedingungen zur Auslösung des CPS, insbesondere vor dem Hintergrund der *cue trading* Hypothese. Die generelle Annahme wäre, daß ein CPS immer genau dann ausgelöst wird, wenn die akustischen Parameter im Sprachsignal ausreichend gewählt werden, um eine Phrasengrenze wahrnehmbar zu markieren. Dabei sollte die exakte akustische Realisierung (präfinale Dehnung, Grenzton, Pauseninsertion) prinzipiell irrelevant sein. Folgeexperimente könnten diese Frage durch weitere gezielte Manipulationen im Sprachsignal (vgl. Experiment 3). untersuchen. Eine hierauf aufbauende Theorie zu den neuronalen Integrationsmechanismen würde langfristig die Möglichkeit differenzdiagnostischer Anwendungen eröffnen. Hierbei stellt sich unter anderem die Frage, in welchem Maße prosodische und musikalische Verarbeitung auf identische Ressourcen zurückgreifen.

Eine relatierte Frage ist diejenige nach individuellen Unterschieden in der Sensibilität für einzelne prosodische Parameter. Ähnlich wie beim Zusammenhang zwischen Zeichensetzungsgewohnheiten und Kommaperzeption könnte es auch bei gesprochener Sprache eine direkte Korrelation zwischen den favorisierten akustischen Parametern in der Sprachproduktion und der –perzeption geben. Eine erste Arbeitshypothese könnte sein, daß Probanden ihre eigenen Sprachsignale von potentiell ambigen Satzstrukturen aufgrund der individuellen prosodischen Kodierung wesentlich sicherer disambiguieren als Sprachsignale anderer. Auch diese Unterschiede sollten im EKP nachweisbar sein.

Darüber hinaus ist für den weiteren Einsatz der EKP-Methode innerhalb der Prosodieforschung von besonderem Interesse, ob neben der Phrasenbildung auch andere Prozesse spezifische EKP-Korrelate hervorrufen. Dies betrifft etwa die Verarbeitung von Satzakzenten oder den Einfluß von Informationsstruktur auf die Satzanalyse. Vorläufige Daten einer ersten EKP-Studie zur Verarbeitung von Fokusinformation deuten etwa darauf hin, daß Phrasengrenzen von Betonungsmustern beeinflußt werden und Verletzungen der Informationsstruktur<sup>24</sup> charakteristische EKP-Komponenten auslösen (Hruska, Steinhauer, Alter & Steube, 2000).

---

<sup>24</sup> Ein Beispiel für eine entsprechende Verletzung wäre das Frage-Antwort-Paar: *“WEM verspricht Peter zu arbeiten?” – “Peter verspricht Anna zu ARBEITEN.”*



## 11 Zusammenfassung

Die vorliegende Studie untersucht in einer Serie von sechs Experimenten die bislang wenig verstandenen Einflüsse prosodischer Verarbeitung auf die syntaktische Satzanalyse. Dabei werden im Kontext dieser Fragestellung neben behavioralen Daten erstmals ereignis-korrelierte Hirnpotentiale (EKPs) als abhängige Variablen erfaßt, um eine Online-Methode mit hoher zeitlicher Auflösung zu etablieren, die in der Prosodieforschung bislang fehlt (vgl. Kapitel 2). Außerdem wird der Frage nachgegangen, inwieweit Kommas in geschriebener Sprache als orthographisches Korrelat prosodischer Phrasierungsinformation gelten können und ihre Verarbeitung daher auf vergleichbaren neuronalen Mechanismen beruht.

Das Stimulusmaterial besteht aus vorübergehend strukturambigen Satzpaaren des folgenden Typs:

- A *Peter verspricht Anna zu arbeiten ...*
- B *Peter verspricht Anna zu entlasten ...*

Typ B erfüllt infolge einer initial präferierten Anbindung der NP2 *Anna* ans erste Verb ‘*verspricht*’ (Minimal Attachment, Late Closure) alle Kriterien eines Gardenpathsatzes und sollte nach allgemeiner Auffassung auf dem disambiguierenden zweiten Verb (*entlasten*) schwerer zu verarbeiten sein. Wie die Majorität psycholinguistischer Modellvorstellungen zur Satzverarbeitung überhaupt, beruht diese Annahme jedoch im wesentlichen auf Befunden aus Lesestudien. Ausgangshypothese für die hier vorgestellten auditorischen Experimente war, daß die theoretisch zu erwartenden, frühen prosodischen Unterschiede zwischen den Satztypen A und B den Hörer sofort zur korrekten Disambiguierung der jeweils erforderlichen Struktur führen. Die aus Lesestudien bekannten syntaktischen Verarbeitungspräferenzen sollten also durch prosodische Information überschrieben werden, so daß initiale Verständnisprobleme (Gardenpath-Effekte) in Bedingung B von vorn herein verhindert würden.

Vor Durchführung der auditorischen EKP-Experimente 1-3 wurde zunächst das verwendete Sprachmaterial eingehenden akustischen Analysen unterzogen (Kapitel 4). Diese belegen, daß sich die Sprachsignale der beiden Satztypen A und B systematisch unterscheiden. In Übereinstimmung mit Modellen des Syntax-Prosody-Mappings tritt in Satz B neben einer

Verschiebung des Satzakkentes insbesondere eine zusätzliche prosodische Grenze (#) nach Verb1 *verspricht* auf (B “*Peter verspricht # Anna zu entlasten ...*”).

In den ersten beiden auditorischen EKP-Perzeptionsexperimenten mit insgesamt 40 Versuchspersonen bestätigt sich, daß diese früh verfügbare prosodische Information die sofortige korrekte Syntaxanalyse in Satz B bewirkt (Kapitel 5). Die in Leseexperimenten regelhaft beobachteten Verarbeitungsschwierigkeiten für Sätze des Typs B wurde verhindert. Daß die prosodische Information die Syntaxanalyse tatsächlich vollständig zugunsten einer Anbindung der NP *Anna* ans zweite Verb determiniert (Non-Minimal Attachment; Early Closure), zeigt sich, wenn durch Cross-Splicing die Phrasengrenze aus Satz B in Satz A eingeführt wird (Bedingung C: “*Peter verspricht # Anna zu arbeiten*”). Der sonst besonders einfache Satz bereitet nun erhebliche Verarbeitungsprobleme, die sich auf dem disambiguierenden Verb *arbeiten* in einer charakteristischen Abfolge von EKP-Komponenten (N400 und P600) manifestieren (“reverser Gardenpath-Effekt”). Zugleich liefern die ereignis-korrelierten Potentiale erstmals Evidenz, daß die prosodische Information quasi verzögerungsfrei verarbeitet wird. Unmittelbar an der Phrasengrenze (# in B und C) wird eine große Positivierung ausgelöst, die als Korrelat für prosodische Phrasierung gelten kann und von mir als *Closure Positive Shift* (CPS) bezeichnet wurde. In einer Reihe von Zusatzanalysen werden potentielle Alternativerklärungen für die Auslösung des CPS ausgeschlossen. Ein Direktvergleich der Experimente 1 (semantische Verständnisfragen) und 2 (Prosodieurteil plus Verständnisfragen) belegt darüber hinaus, daß sich sowohl die N400/P600-Sequenz als auch der CPS robust verhalten und unabhängig von den unterschiedlichen Aufgabenstellungen auftreten.

Das dritte auditorische Experiment überprüft die Hypothese, daß die neuentdeckte CPS-Komponente direkt an das besonders auffällige akustische Korrelat der prosodischen Grenzmarkierung, nämlich die Pauseninsertion, gebunden ist (Kapitel 6). Nach Herausschneiden der Pause in den Sätzen B und C wird aufgrund der verbleibenden Grenzmarker (Intonationsstruktur, Dehnungen) vom Hörer auch weiterhin eine Grenze wahrgenommen und bestimmt unverändert seine syntaktische Satzanalyse. Darüber hinaus findet sich im EKP auch weiterhin das N400-P600 Korrelat in der Gardenpath-Bedingung C sowie der frühe CPS in den Bedingungen B und C. Der CPS ist also nicht an die akustische Unterbrechung des Sprachsignals (Pause) gebunden, sondern an die Verarbeitung einer phonologischen Grenze. Dieser Befund unterstützt zugleich die Auffassung, daß sich verschiedene prosodische Parameter (Dauerstruktur, Frequenzverlauf) bei der Realisierung prosodischer Phänomene

partiell ersetzen können (sog. *cue trading*, Streeter, 1978; Beach, 1991), was für Satzverarbeitungsmodelle eine gesonderte phonologische Repräsentationsebene für diese Phänomene nahelegt (Beckman, 1996; Schafer, 1997; Warren, 1999).

Im 4. und 5. Experiment wird eine Replikation der auditorischen Befunde in der visuellen Domäne geschriebener Sprache unternommen, wobei Kommas die prosodischen Grenzen ersetzen. Zentrale Fragen sind, ob Kommas die Satzverarbeitung ebenso effektiv steuern wie prosodische Grenzen, welche Rolle dabei die Beherrschung von Zeichensetzungsregeln spielt und ob die Verarbeitung von Kommas maßgeblich auf die kovert (subvokale) Aktivierung prosodischer Repräsentationen zurückgeführt werden kann. Das vierte Experiment belegt zunächst erstmalig einen engen intra-individuellen Zusammenhang zwischen Zeichensetzungsgewohnheiten und der Kommaverarbeitung beim stillen Lesen (Kapitel 7). Nur Probanden, die normalerweise verlässlich an der Phrasengrenze ein Komma setzen würden, werden beim Lesen ebenso massiv von der Präsenz eines solchen Kommas beeinflusst wie zuvor die Probanden der auditiven Experimente durch prosodische Grenzen. Im EKP führt dies an Kommapositionen wiederum zu einer CPS-ähnlichen Positivierung, die allerdings von einer langanhaltenden Negativierung gefolgt wird. Das fünfte Experiment weist jedoch nach, daß es sich bei der langsamen Negativierung um eine erwartungsrelatierte *Contingent Negative Variation* (CNV) handelte, die – im Gegensatz zur Positivierung – nicht direkt an die Kommaverarbeitung gebunden war (Kapitel 8). Insofern legen die EKP-Daten der Leseexperimente den Schluß nahe, daß Kommas selbst beim stillen Lesen prosodische Repräsentationen aktivieren und ihre Verarbeitung auf vergleichbaren neuronalen Prozessen beruht wie die Verarbeitung prosodischer Grenzen.

Diese Hypothese wird im sechsten und letzten Experiment der vorliegenden Arbeit bestätigt (Kapitel 9). Wenn Probanden zuerst eine rein prosodische Satzmelodie (ohne lexikalische Wortinformation) hören und diese anschließend beim stillen Lesen eines Satzes reproduzieren sollen, wird sowohl beim Hören als auch beim (stillen) Reproduzieren der Intonationsphrasengrenze ein CPS im EKP hervorgerufen. Der CPS-Befund für die Hörphase bestätigt einerseits, daß die EKP-Komponente auch unabhängig von lexikalischem Input auftritt und daher nicht vorrangig syntaktische, sondern prosodische Phrasierungsprozesse reflektiert. Andererseits gleicht der CPS beim Reproduzieren während der Lesephase dem zuvor durch Kommas ausgelösten CPS fast vollständig und untermauert die Auffassung, daß

---

Kommaverarbeitung auf einer entsprechenden Rekodierung der Satzzeicheninformation in eine phonologische Repräsentation beruht.

Die abschließende Diskussion ordnet die Resultate der vorliegende Studie unter verschiedenen Gesichtspunkten in den bisherigen Stand der Forschung ein und gibt einen Ausblick auf potentielle Anwendungen und künftige Forschungsausrichtungen (Kapitel 10).

Es wird argumentiert, daß mit der Technik ereignis-korrelierter Potentiale nun auch für prosodische Fragestellungen eine angemessene Online-Methodik zur Verfügung steht. Die Entdeckung des CPS als einer spezifischen, aufgabenunabhängigen, reliablen und relativ großamplitudigen EKP-Komponente für prosodische Phrasierungsprozesse eröffnet sowohl Möglichkeiten der klinischen Anwendung als auch neue Experimentalansätze. Für die psycholinguistische Modellbildung zeichnet sich eine differenziertere Integrationsmöglichkeit prosodischer Verarbeitungsprozesse ab, wobei die vorliegenden Daten bereits eindeutige Evidenz für das Primat prosodischer Information bei syntaktischen Parsingentscheidungen liefern. Prosodische Information kann Gardenpath-Effekte sowohl verhindern als auch auslösen. Im Bereich der psycholinguistischen EKP-Forschung konnten entsprechend erstmals Gardenpath-Effekte (N400- und P600-Komponenten) prosodisch ausgelöst werden. In diesem Kontext wird die Frage aufgeworfen, inwieweit die (in den auditorischen Experimenten prominentere) P600-Komponente neben syntaktischen möglicherweise auch prosodische Reanalyseprozesse abbildet. Mit dem neuentdeckten und inzwischen auch international replizierten CPS steht der EKP-Forschung zusätzlich zu den bereits etablierten Komponenten für Syntax und Semantik ([E]LAN, P600 und N400) nun auch ein elektrophysiologischer Indikator prosodischer Prozesse zur Verfügung. Perspektiven, wie eine weiterführende Forschung aussehen könnte, werden am Ende der Arbeit diskutiert.

---

## Literatur

- Abney, S. (1989). A computational model of human parsing. *J Psycholing. Res.*, 18, 129-144.
- Allbritton, D.W., McKoon, G. & Ratcliff, R. (1996). Reliability of Prosodic cues for resolving syntactic ambiguities. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory And Cognition*, 22 (3):714-735.
- Alter, K., Matiassek, J., Steinhauer, K., Pirker, H., & Friederici, A.D. (1998). Exploiting syntactic dependencies for German prosody: Evidence from speech production and perception. In B. Schröder, W. Lenders, W. Hess & T. Portele (eds.) *Computers, Linguistics, and Phonetics between Language and Speech* (141-152). Frankfurt: Peter Lang.
- Alter, K., Steinhauer, K. & Friederici, A.D. (1998). *Proceedings of the 5th International Conference on Spoken Language Processing*. Rundle Mall, South Australia: Causal Productions. (CDROM).
- Altmann, G. T. M., Garnham, A., & Dennis, Y. (1992). Avoiding the garden-path: Eye movements in context. *Journal of Memory and Language*, 31, 685-712.
- Altmann, G. T. M. & Steedman, M. (1988). Interaction with context during human sentence processing. *Cognition*, 30, 191-238.
- Bader, M. (1994). *Sprachverstehen: Syntax und Prosodie beim Lesen*. Dissertation, Universität Stuttgart.
- Bader, M. (1998). Prosodic influences on reading syntactically ambiguous sentences. In *Reanalysis in Sentence Processing* (eds. Fodor J.D. & Ferreira, F.) 1-46. Kluwer, Dordrecht.
- Bader, M. & Meng, M. (1999). Subject-object ambiguities in German embedded clauses: An across-the-board comparison. *Journal of Psycholinguistic Research*, 28 (2), 121-143.
- Baldwin, R. S. & Coady, J. M. (1978). Psycholinguistic approaches to a theory of punctuation. *J. Read. Behav.* 10, 363-375.
- Baum, S. & Pell, M. (1999). The neural basis of speech prosody: Insights from lesion studies and neuroimaging. *Aphasiology*, 13, 581-608.

- Beach, C.M. (1991). The interpretation of prosodic patterns at points of syntactic structure ambiguity: Evidence for cue trading relations. *Journal of Memory and Language*, 30: 644-663.
- Beckman, M.E. (1996). The Parsing of Prosody. *Language and Cognitive Processes*, 11, 17-68.
- Beckman, M.E. & Pierrehumbert, J. (1986). Intonational Structure in Japanese and English. *Phonology Yearbook*, 3, 255-309.
- Bergien, A. (1994). On the historical background of English punctuation. *Z. Anglist. Amer.*, 48, 243-250.
- Beringer, J. (1993). *ERTS: Experimentelles Run Time System*. TH Darmstadt (IfP).
- Besson, M., Faita, F., Czternasty, C. & Kutas, M.(1997). What's in a pause: Event-related potential analysis of temporal disruptions in written and spoken sentences. *Biological Psychology*, 46: 3-23.
- Böcker K.B.E, Bastiaansen, M.C.M, Vroomen, J., Brunia, C.H.M, De Gelder, B. (1999). An ERP correlate of metrical stress in spoken word recognition. *Psychophysiology*, 36, 706-720.
- Böhme, G. (1995). Ist die Dudenregelung zur Interpunktion amtlich? Zur Geschichte der amtlichen Grundlagen der Zeichensetzung, *Sprachwissenschaft* 20, 323-335.
- Boland, J.E. (1993). The role of verb argument structure in sentence processing - distinguishing between syntactic and semantic effects. *J Psycholing Res.*, 22, 133-152.
- Bradley. L. & Bryant, P. E. (1978). Difficulties in auditory organization as a possible cause of reading backwardness, *Nature* 271, 746-747.
- Brown, C.M. & Hagoort, P. (2000). The Interaction of prosodic, syntactic and semantic information during spoken sentence understanding: An electrophysiological investigation. *Vortrag bei dem 13th Annual meeting of the CUNY Conference on Human Sentence Processing*, La Jolla, California.
- Bruthiaux, P. (1993). Knowing when to stop: Investigating the nature of punctuation. *Lang. Commun.* 13, 27-43.
- Chafe, W. (1988). Punctuation and the prosody of written language. *Writ. Commun.* 5, 396-426.

- Chomsky, N. (1981). *Lectures on Government and Binding*. Dordrecht: Foris.
- Chomsky, N. (1986). *Knowledge of Language*. New York: Praeger.
- Chwilla, D.J., Brown, C.M. & Hagoort, P. (1995). The N400 as a function of the level of processing. *Psychophysiology*, 32, 274-285.
- Clifton, C., Jr., Speer, S., & Abney, S. P. (1991). Parsing arguments: Phrase structure and argument structure as determinants of initial parsing decisions. *Journal of Memory and Language*, 30, 251-271.
- Cooper, R., Osselton J.W. , & Shaw, J.C. (1984). *Elektroenzephalographie: Technik und Methoden*. Stuttgart: Fischer.
- Cooper W.E. & Paccia-Cooper, J. (1980). *Syntax and Speech*. Cambridge, M.A. Harvard University Press.
- Coulson, S., King, J.W., & Kutas, M. (1998). Expect the unexpected: Event-related brain response to morphosyntactic violations. *Language and Cognitive Processes*, 13, 21-58.
- Crain, S. & Steedman, M. (1985). On not being led up the garden path: The use of context by the psychological parser. In: D. Dowty, L. Karttunen & A. Zwicker (Eds.), *Natural language processing: Psychological, computational, and theoretical perspectives*. Cambridge: University of Cambridge Press.
- Cutler, A., Dahan, D. & van Donselaar, W. (1997). Prosody in the comprehension of spoken language: A literature review. *Language and Speech* 40, 141-201.
- Cutler, A. & Norris, D. (1988). The role of strong syllables for lexical access. *Journal of experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 14: 121-133.
- Daneman, M. & Carpenter, P.A. (1980). Individual differences in working memory and reading. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 19, 450-466.
- DeVincenzi, M. (1991). *Syntactic Parsing Strategies in Italian*. Dordrecht: Kluwer.
- Donchin, E. & Coles, M. (1988). Is the P300 component a manifestation of context updating? *Behavioral and Brain Sciences*, 11, 357-374.

- 
- Donchin, E., Spencer, K.M., & Dien, J. (1997). The varieties of deviant experiences: ERP manifestation of deviance processors, In: van Boxtel, G.J.M. & Bocker, K.B.E. (eds.), *Brain and behavior: Past, present and future* (pp. 67-91), Tilburg: Tilburg UP .
- Dudenredaktion, (1973 / 1996). *Der Grosse Duden: Rechtsschreibung*, Bibliographisches Institut AG, Mannheim.
- Fanselow, G. & Felix, S.W. (1990). *Sprachtheorie: Eine Einführung in die Generative Grammatik. Band 2: Die Rektions- und Bindungstheorie*. Tübingen: Franke.
- Fodor, J.A. (1983). *The modularity of mind*. Cambridge, Mass.: MIT Press.
- Fodor, J.D. (1978) Parsing strategies and constraints on transformations. *Linguistic Inquiry*, 9, 427-477.
- Fodor, J. D. (1998). Learning to parse? *J. Psycholing. Res.* 27, 285-319.
- Fodor, J.D. & Inoue, A. (1994). The diagnosis and cure of garden-paths. *J. Psycholing. Res.*, 23, 407-459.
- Frazier. L. (1978). On comprehending sentences: Syntactic parsing strategies. University of Connecticut. Doctoral Dissertation.
- Frazier, L. (1987). Sentence processing: A tutorial review. In M. Coltheart (ed.), *Attention and Performance XII*. Hillsdale, N.J.: Erlbaum, pp. 559-586.
- Frazier, L. (1995). Constraint satisfaction as a theory of sentence processing. *Journal of Psycholinguistic Research*, 24, 437-468.
- Frazier, L. & Fodor, J.D. (1978). The sausage machine: A new two-stage parsing model. *Cognition*, 6, 291-325.
- Frazier, L. & Rayner, K. (1982). Making and correcting errors during sentence comprehension: Eye movements in the analysis of structurally ambiguous sentences. *Cognitive Psychology*, 14, 178-210.
- Friederici, A.D. (1990). On the properties of cognitive modules. *Psychological Research*, 52, 175-180.



- 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.
- Friederici, A.D. (1997). Menschliche Sprachverarbeitung und ihre neuronalen Grundlagen. In H. Meier & D. Ploog (eds.), *Der Mensch und sein Gehirn* (pp. 137-156), München: Piper.
- Friederici, A.D. (1998). Diagnosis and reanalysis: Two processing aspects the brain may differentiate. In J. Fodor & F. Ferreira (eds.), *Reanalysis in sentence processing* (pp. 177-200), Dordrecht: Kluwer.
- 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.
- 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.
- Friederici, A.D. & Mecklinger, A. (1996). Syntactic parsing as revealed by brain responses: First-pass and second-pass parsing processes. *Journal of Psycholinguistic Research*, 25, 157-176.
- Friederici, A.D., Mecklinger, A., Spencer, K.M., Steinhauer, K. & Donchin, E. (2001). Using a forest of electrodes to clear a garden path: Syntactic parsing preferences and their on-line revisions. *Cognitive Brain Research*, 11, 305-323.
- Friederici, A.D., Pfeifer, E. & Hahne, A. (1993). Event-related brain potentials during natural speech processing: Effects of semantic, morphological and syntactic violations. *Cognitive Brain Research*, 1, 183-192.
- Friederici A. D., Steinhauer, K. & Frisch, S. (1999). Lexical integration: Sequential effects of syntactic and semantic information. *Mem. Cogn.* 27, 438-453.
- Friederici, A.D., Steinhauer, K. & Mecklinger, A. & Meyer, M. (1998): Working memory constraints on syntactic ambiguity resolution as revealed by electrical brain responses. *Biological Psychology*, 47, 193-221.
- Gandour, J. (2000) Frontiers of brain mapping of speech prosody. *Brain and Language*, 71, 75-77.

- 
- Garfield, J.L. (Ed.) (1987). *Modularity in knowledge representation and natural language understanding*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Gorrell, P. (1987). *Studies in human syntactic processing: ranked-parallel versus serial models*. Unpublished PhD dissertation. University of Connecticut.
- Gorrell, P. (1995). *Syntax and Parsing*. Cambridge, MA: Cambridge University Press.
- Gorrell, P. (1996a). Parsing theory and phrase-order variation in German V2 clauses. *Journal of Psycholinguistic Research*, 25, 135-156.
- Gorrell, P. (in press). The subject-before-object preference in German clauses. In: Hemforth, B. & Konieczny, L. (eds.), *Cognitive parsing in German*.
- Grabe, E. & Warren, P. (1995). Stress shift: do speakers do it or do listeners hear it? To appear in A. Arvaniti & B. Connell (Eds.), *Papers in Laboratory Phonology IV*. Cambridge: CUP.
- Gunter, T.C. & Friederici, A.D. (1999). Concerning the automaticity of syntactic processing, *Psychophysiology*, 36, 1-12.
- Gunter, T.C., Stowe, L.A., & Mulder, G. (1997). When syntax meets semantics. *Psychophysiology*, 34, 660-676.
- Gunter, T.C., Vos, S.H. & Mulder, G. (1995). Syntactic violations and ERPs: P600 or P3b? *Paper presented at the Eighth Annual CUNY Conference on Human Sentence Processing*. Tucson, Arizona.
- Hagoort, P., Brown, C., & Groothusen, J. (1993). The syntactic positive shift as an ERP-measure of syntactic processing. *Language and Cognitive Processes*, 8, 439-483.
- Hagoort, P., Brown, C. & Swaab, T.Y. (1991). Using event-related brain potentials (ERPs) to investigate comprehension deficits in aphasia: A priming study. 29th Annual Meeting of the Academy of Aphasia. Rome, October, 1991.
- Hagoort, P., Brown, C.M. & Osterhout, L. (1999). The neurocognition of syntactic processing. In C. Brown & P. Hagoort (Eds.) *Neurocognition of Language*.
- Hagoort, P. & Kutas, M. (1993). Electrophysiological insights into language deficits. In F. Boller & J. Grafman (eds.), *Handbook of Neuropsychology*, Vol. 9. (Topic Editors: R. Johnson, J.C. Baron, J. Grafman & J. Hendler).

- Hahne, A. (2000). On the autonomy of early phrase structure processing in auditory sentence comprehension. *Vortrag bei dem 13th Annual meeting of the CUNY Conference on Human Sentence Processing*, La Jolla, California.
- Hahne, A. & Friederici, A.D. (1999). Electrophysiological evidence for two steps in syntactic analysis: Early automatic and late controlled processes. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 11, 194-205.
- Hayes, B. (1989). The prosodic hierarchy in meter. In P. Kiparsky and G. Youmans (eds.) *Phonetics and Phonology, Vol 1: Rhythm and Meter*. San Diego: Academic Press.
- Hemforth B., Konieczny, L., Scheepers, C. & Strube, G. (1994). *First analysis, reanalysis, and repair*. IIG-Berichte 8/94. Albert-Ludwigs-Universität Freiburg.
- Hickok, G. (1993). Parallel parsing: Evidence from reactivation in garden-path sentences. *Journal of Psycholinguistic Research*, 22, 239-250.
- Höhle, B., Hofmann, M. & Friederici, A.D. (1995). The role of prosodic information in normal and aphasic processing of temporary ambiguous sentence structures. *Annual Report of the Max Planck Institute of Cognitive Neuroscience*.
- Holcomb, P.J. & Neville, H.J. (1990). Semantic priming in visual and auditory lexical decision: A between modality comparison. *Language and Cognitive Processes*, 5: 281-312.
- Hopf, J.-M., Bayer, J., Bader, M. & Meng, M. (1998). Event-related brain potentials and case information in syntactic ambiguities. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 10, 264-280.
- Hruska, C., Steinhauer, K., Alter, K. & Stuebe, A. (2000). ERP effects of sentence accents and violations of the information structure. *Poster bei dem 13th Annual meeting of the CUNY Conference on Human Sentence Processing*, La Jolla, California.
- Huynh, H. & Feldt, L.A. (1970). Conditions under which mean square ratios in repeated measurement designs have exact F-distributions. *Journal of American Statistical Association*, 65, 1582-1589.
- Jacobs, J. (1993) Integration. In: Reis, M. (ed.), *Wortstellung und Informationsstruktur*, Tübingen, *Linguistische Arbeiten*, 306, 63-116 (1993).
- Jacobsen, T. & Friederici, A.D. (1998). Effects of case information on the processing of clause final verbs: An ERP study. *Journal of Cognitive Neuroscience*, (Suppl.), 23.

- 
- Jasper, H.H. (1958). The ten-twenty electrode system of the International Federation. *Electroenceph. Clin. Neurophys.*, 20, 371-375.
- Just, M.A. & Carpenter, P.A. (1992). A capacity theory of comprehension: Individual differences in working memory. *Psychological Review*, 99, 122-149.
- Keppel, G. (1991). *Design and Analysis: A Researcher's Handbook*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.
- Kjelgaard, M.M. & Speer, S.R. (1999). Prosodic facilitation and interference in the resolution of temporary syntactic closure ambiguity. *J Mem Lang*, 40, 153-194.
- Kutas, M. (1997). Views on how the electrical activity that the brain generates reflects the functions of different language structures. *Psychophysiology*, 34, 383-398.
- Kutas, M. & Hillyard, S.A. (1980a). Reading between the lines: Event-related brain potentials during natural sentence processing. *Brain and Language*, 11, 354-373.
- Kutas, M. & Hillyard, S.A. (1980b). Reading senseless sentences: Brain potentials reflect semantic incongruity. *Science*, 207, 203-205.
- Kutas, M. & Hillyard, S.A. (1983). Event-related brain potentials to grammatical errors and semantic anomalies. *Memory and Cognition*, 11, 539-550.
- Kutas, M. & Hillyard, S.A. (1984). Brain potentials during reading reflect word expectancy and semantic association. *Nature*, 307, 161-163.
- Kutas, M. & Van Petten, C. (1988). Event-related potential studies of language. In: Ackles, P.K., Jennings, J.R. & Coles, M.G.H. (Eds.), *Advances in psychophysiology*, Vol. 3. Greenwich: JAI Press.
- Kutas, M. & van Petten, C. (1994). Psycholinguistics electrified: Event-related potential investigations. In *Handbook of Psycholinguistics* (ed. Gernsbacher, M.A.) 83-143.
- Ladd, D.R. (1986). Intonational phrasing: The case for recursive prosodic structure. *Phonology Yearbook*, 3, 311-340.
- Ladd, D.R. (1996). *Intonational Phonology*. Cambridge, CUP.
- Lehiste, I. (1973). Phonetic disambiguation of syntactic ambiguity. *Glossa*, 7, 107-122.

- Levelt, W. J. (1991). *Speaking: From Intention to Articulation*. Cambridge, Mass.: MIT Press.
- MacDonald, M.C. (1993). The interaction of lexical and syntactic ambiguity. *Journal of Memory and Language*, 32, 692-715.
- MacDonald, M.C. (1994). Probabilistic constraints and syntactic ambiguity resolution. *Language Cognitive Processes*, 9, 157-202.
- MacDonald, M.A., Just, M.A., & Carpenter, P.A. (1992). Working memory constraints on the processing of syntactic ambiguity resolution. *Cognitive Psychology*, 24, 56-98.
- MacDonald, M.A., Pearlmutter, N.J., & Seidenberg, M.S. (1994). The lexical nature of syntactic ambiguity resolution. *Psychological Review*, 101, 676-703.
- Marslen-Wilson, W.S, Tyler, L.K., Warren, P., Genier, P, & Lee, C.S.. (1992). Prosodic effects in minimal attachment. *The Quarterly Journal of experimental psychology*, 45A (1): 73-87.
- McClelland, J.L. (1987). The case for interactionism in language processing. In: Coltheart, M. (ed.), *Attention and performance XII: The psychology of reading* (pp. 3-36), Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- McCarthy, G. & Wood, C.C. (1985). Scalp distributions of event-related potentials: An ambiguity associated with analysis of variance models. *Electroenceph. Clin. Neurophys.*, 62, 203-208.
- 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.
- Meng, Michael & Bader, Markus (in press). The role of syntactic features in syntactic ambiguity resolution. In: M. DeVincenzi & V. Lombardo (eds.) *Architectures and mechanisms of language processing in a multilingual perspective*. Dordrecht: Kluwer.
- Mitchell, D.C. (1987). Reading and syntactic analysis. In J.R. Beech & A.M. Colley *Cognitive approaches to reading*. 87-112. John Wiley & Sons.
- 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.

- Münste, 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.
- Nespor, M. & Vogel, I. (1986). *Prosodic Phonology*. Dordrecht: Foris.
- Nespor, M. & Vogel, I. (1989). On clashes and lapses. *Phonology* 6,69-116.
- Neville, H.J., Nicole, J., Barss, A., Forster, K. & Garrett, M. (1991). Syntactically based sentence processing classes: Evidence from event-related brain potentials. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 3, 155-170.
- Niedermeyer, E. & Lopes da Silva, F. (Eds.) (1987). *Electro-Encephalography: Basic Principles, Clinical Applications and Related Fields*. Urban & Schwarzenberg, Munich..
- O'Connell, D. C. & Kowal, S. H. (1986). Use of punctuation for pausing: Oral readings by German radio homilists. *Psychol. Res.* 48, 93-98.
- Oldfield, R. C. (1975). The assessment and analysis of handedness: The Edinburgh inventory. *Neuropsychologia* 9, 97-113.
- Osterhout, L. & Holcomb, P.J. (1992). Event-related brain potentials elicited by syntactic anomaly. *Journal of Memory and Language*, 31, 785-804.
- Osterhout, L. & Holcomb, P.J. (1993). Event-related potentials and syntactic anomaly: Evidence on anomaly detection during the perception of continuous speech. *Language and Cognitive Processes*, 8, 413-437.
- Osterhout, L., Holcomb, P.J. & Swinney, D.A. (1994). Brain potentials elicited by garden-path sentences: Evidence of the application of verb information during parsing. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 20, 786-803.
- Osterhout, L. & Mobley, L.A. (1995). Event-related brain potentials elicited by failure to agree. *Journal of memory and language*, 34, 739-773.
- Osterhout, L. & Hagoort, P. (1999). A superficial resemblance does not necessarily mean you are part of the family: Counterarguments to Coulson, King and Kutas (1998) in the P600/SPS-P300 debate. *Language and Cognitive Processes*, 14, 1-14.

- Patel, A.D., Gibson, E., Ratner, J., Besson, M. & Holcomb, P.J. (1998). Processing syntactic relations in language and music: An event-related potential study. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 10, 717-733.
- Patterson, K. E. & Coltheart, V. (1987). Phonological processes in reading: A tutorial review. In *Attention and Performance XII: The Psychology of Reading* (ed. Coltheart, M.) 209-214, Lawrence Erlbaum, Hove, UK.
- Perfetti, C. A. (1994). Psycholinguistics and reading ability. In *Handbook of Psycholinguistics* (ed. Gernsbacher, M. A.) 849-894 Academic, San Diego.
- Pierrehumbert, J. (1980). *The phonology and phonetics of English intonation*. MIT Linguistics PhD Thesis.
- Pierrehumbert, J. & Beckman, M.E. (1988). *Japanese Tone Structure*. Cambridge, Mass., MIT Press.
- Pritchett, B.L. (1991). Head position and parsing ambiguity. *Journal of Psycholinguistic Research*, 20, 251-270.
- Pynte, J. & Prieur, B. (1996). Prosodic breaks and attachment decisions in sentence parsing. *Language and Cognitive Processes*, 11, 1/2: 165-192.
- Ratcliff, R. (1993). Methods for dealing with reaction time outliers. *Psychological Bulletin*, 114, 510-532.
- Regan, D. (1989). *Human Brain Electrophysiology: Evoked potentials and Evoked Magnetic Fields in Science and Medicine*. Elsevier, New York.
- Reyelt, M., Grice, M., Benzmüller, R., Mayer, J. & Batliner, A. (1996). Prosodische Etikettierung des Deutschen mit ToBI, In: Gibbon, D. (ed.), *Natural Language Processing and Speech Technology*, Mouton de Gruyter, Berlin, 144-155.
- 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.
- Rösler, F., Schumacher, G. & Sojka, B. (1990). What the brain reveals when it thinks: Event-related potentials during mental rotation and mental arithmetic. *The German Journal of Psychology*, 14, 185-203.

- Ruchkin, D.S., Johnson, R., Mahaffey, D. & Sutton, S. (1988). Toward a functional categorization of slow waves. *Psychophysiology*, 25, 339-353.
- Rugg, M.D. & Coles, M.G.H. (1995). Event-related brain potentials: An introduction. In M.D. Rugg & M.G.H. Coles (Eds.) *Electrophysiology of Mind*. Oxford: Oxford University Press.
- Saddy, D., Schlesewsky, M., & Fanselow, G. (1998). The role of intervening material for the resolution of case ambiguities. Posterpräsentation *CUNY 1998*, New York.
- Schafer, A.J. (1997). *Prosodic Parsing: The role of prosody in sentence comprehension*. Unpub. doctoral dissertation, Amherst, M.A.: University of Massachusetts.
- Schafer, A., Carter, J., Clifton, C. & Frazier, L. (1996). Focus in relative clause construal. *Language and Cognitive Processes*, 11, 1/2: 135-164.
- Schafer, A.J., Speer, S.R., Warren, P. & White, S.D. (2000). Intonational disambiguation in sentence production and comprehension. *Journal of Psycholinguistic Research*, 29, 169-182.
- Schirmer, A. (1999). *Prosodie und Hemisphärenasymmetrie: Eine Untersuchung prosodischer Sprachproduktionsleistungen bei Patienten mit Hirnschädigung*. Diplomarbeit. Universität Leipzig.
- Selkirk, E. (1984). *Phonology and Syntax: The relation between sound and structure*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Selkirk, E. (1986). On derived domains in sentence phonology. *Phonology Yearbook*, 3, 371-405.
- Share, D.L. (1999). Phonological recoding and orthographic learning: A direct test of the self-teaching hypothesis. *J Exp Child Psychol*, 72, 95-129.
- Shattuck-Hufnagel, S., & Turk, A.E. (1996). A prosody tutorial for investigators of auditory sentence processing. *J. Psycholing. Res.*, 25, 193-247.
- Silverman, K., Beckman, M., Pitrelli, J., Ostendorf, M., wightman, C., Price, P., Pierrehumbert, J. & Hirschberg, J. (1992). ToBI: a standard for labelling English prosody. *Proceedings of the International Conference on Spoken Language Processing*, Banff, 12-16. October.
- Sonntag, G.P. & Portele, T. (1998). PURR - A method for prosody evaluation and investigation. *Comput Speech Lang*, 12, 437-451.



- Speer, S.R., Kjelgaard, M.M., & Dobbroth, K.M. (1996). The influence of prosodic structure on the resolution of temporary syntactic closure ambiguities. *J. Psycholing. Res.*, 25, 247-268.
- Steedman, M.J. & Altman, G.T.M. (1989). Ambiguity in context: A reply. *Language and Cognitive Processes*, 4, 105-122.
- Steinhauer, K. (1995). *Hirnelektrische Korrelate sprachlicher Verarbeitungsprozesse beim Lesen lokal ambiger Relativsätze*. Diplomarbeit, Freie Universität Berlin.
- Steinhauer, K., Alter, K., & Friederici, A.D. (1998). Don't blame it (all) on the pause: Further ERP evidence for a prosody-induced garden-path in running speech. *Proceedings of the 5th International Conference on Spoken Language Processing (Vol. 5)*, 2187-2190. Canberra: Australian Speech Science and Technology Association (ASSTA).
- Steinhauer, K., Alter, K. & Friederici, A.D. (1999a). Brain potentials indicate immediate use of prosodic cues in natural speech processing. *Nature Neuroscience*, 2 (2), 191-196.
- Steinhauer, K., Alter, K., & Friederici, A.D. (1999b). Are commas equivalent to prosodic boundaries? - Evidence from brain potentials. In S. Bagnara: *Proceedings of the European Conference on Cognitive Science (ECCS), Siena, Italy, October 1999 (357-362)*. Roma: Istituto di Psicologia - Consiglio Nazionale delle Ricerche.
- Steinhauer, K., Alter, K. & Friederici, A.D. (2000). The closure positive shift in the event-related brain potentials: A universal marker for prosodic phrasing in listeners and readers? *Journal of Cognitive Neuroscience*, 48-49 (Suppl.)
- Steinhauer, K., Alter, K., Meyer, M., Friederici, A.D. & von Cramon D.Y. (1999). Brain activation related to prosodic processing in natural speech: An event-related fMRI study. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 54-55 (Suppl.)
- Steinhauer, K., Mecklinger, A., Friederici, A.D. & Meyer, M. (1997). Wahrscheinlichkeit und Strategie: Eine EKP-Studie zur Verarbeitung syntaktischer Anomalien bei wechselnden Häufigkeiten. *Zeitschrift für experimentelle Psychologie*, 44, 305-331.
- Stirling, L. & Wales, R. (1996). Does prosody support or direct sentence processing? *Language and Cognitive Processes*, 11, 1/2: 193-212.
- Streeter, L.A. (1978). Acoustic determinants of phrase boundary location. *Journal of the Acoustical Society of America*, 64, 1582-1592.

- 
- Taft, M. (1985). The decoding of words in lexical access: A review of the morphographic approach. In: Besner, D., Waller, T.G. & Mackinnon (Eds.), *Reading research*, 5, London: Academic Press.
- Taft, M. & van Graan, F. (1998). Lack of phonological mediation in a semantic categorization task. *J Mem Lang*, 38, 203-224.
- Taraban, R. & McClelland, J. (1988). Constituent attachment and thematic role assignment in sentence processing: Influence of context based expectations. *J. Mem. Lang.*, 27, 597-632.
- Tecce, J. J. & Cattanach, L. (1987). Contingent negative variation (CNV). In *Electro-Encephalography: Basic Principles, Clinical Applications and Related Fields* (eds. Niedermeyer, E. & Lopes da Silva, F.) 658-679. Urban & Schwarzenberg, Munich.
- Van Petten, C. & Bloom, P. (1999). Speech boundaries, syntax and the brain. *Nature Neuroscience*, 2, 103-104.
- Van Petten, C. & Kutas, M. (1990). Interactions between sentence context and word frequency in event-related brain potentials. *Memory and Cognition*, 18, 380-393.
- Van Petten, C. & Kutas, M. (1991). Influences of semantic and syntactic context on open- and closed-class words. *Memory and Cognition*, 19, 95-112.
- Vos, S.H. (1999). *Verbal working memory and sentence processing: An electrophysiological investigation*. Unpublished doctoral dissertation. Katholieke University Nijmegen, The Netherlands.
- Warren, P. (Ed.) (1996). *Prosody and Parsing. Special issue of: Language and Cognitive Processes*, 11.
- Warren, P. (1999). Prosody and language processing. In S. Garrod & M. Pickering, (Eds.) *Language Processing* (pp. 155-188). Hove: Psychology Press.
- Warren, P., Grabe, E. & Nolan, F. (1995) Prosody, phonology, and parsing in closure ambiguities. *Language and Cognitive Processes*, 10, 457-486.
- Watt, S.M. & Murray, W.S. (1996). Prosodic form and parsing commitment. *J. Psycholing. Res.*, 25, 291-318.

Wood, C.C. & McCarthy, G. (1984). Principal component of event-related potentials: Stimulation studies demonstrate misallocation of variance across components. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 59, 249-260.

Zwitserslood, P. (1989). The locus of the effects of sentential-semantic context in spoken word processing. *Cognition*, 32, 25-64.



---

## Anhang: Satzmaterial

- 1A011 Peter verspricht Anna zu arbeiten und das Büro zu putzen  
1B012 Peter verspricht, Anna zu entlasten und das Büro zu putzen  
1C013 Peter verspricht, Anna zu arbeiten und das Büro zu putzen
- 2A012 Rosa verspricht Helmut zu laufen und den Termin zu wahren  
2B013 Rosa verspricht, Helmut zu besuchen und den Termin zu wahren  
2C014 Rosa verspricht, Helmut zu laufen und den Termin zu wahren
- 3A013 Achim verspricht Steffen zu spionieren und den Beweis zu vernichten  
3B014 Achim verspricht, Steffen zu bespitzeln und den Beweis zu vernichten  
3C011 Achim verspricht, Steffen zu spionieren und den Beweis zu vernichten
- 4A014 Dörthe verspricht Elke zu blinzeln und die Tränen zu vermeiden  
4B011 Dörthe verspricht, Elke zu belügen und die Tränen zu vermeiden  
4C012 Dörthe verspricht, Elke zu blinzeln und die Tränen zu vermeiden
- 1A024 Udo verbietet Jutta zu verschlafen und die Gäste zu enttäuschen  
1B021 Udo verbietet, Jutta zu ärgern und die Gäste zu enttäuschen  
1C022 Udo verbietet, Jutta zu verschlafen und die Gäste zu enttäuschen
- 2A021 Heidi verbietet Hartmut zu quengeln und die Eltern zu nerven  
2B022 Heidi verbietet, Hartmut zu gängeln und die Eltern zu nerven  
2C023 Heidi verbietet, Hartmut zu quengeln und die Eltern zu nerven
- 3A022 Arthur verbietet Ingo zu streiken und den Auftrag zu gefährden  
3B023 Arthur verbietet, Ingo zu entlassen und den Auftrag zu gefährden  
3C024 Arthur verbietet, Ingo zu streiken und den Auftrag zu gefährden
- 4A023 Eva verbietet Anja zu hupen und die Ruhe zu stören  
4B024 Eva verbietet, Anja zu beleidigen und die Ruhe stören  
4C021 Eva verbietet, Anja zu hupen und die Ruhe zu stören
- 1A033 Rudolf erlaubt Carmen zu trödeln und den Kursus zu versäumen  
1B034 Rudolf erlaubt, Carmen zu treffen und den Kursus zu versäumen  
1C031 Rudolf erlaubt, Carmen zu trödeln und den Kursus zu versäumen

2A034 Petra erlaubt Markus zu zelten und das Kanu zu mieten

2B031 Petra erlaubt, Markus zu fördern und das Kanu zu mieten

2C032 Petra erlaubt, Markus zu zelten und das Kanu zu mieten

3A031 Konrad erlaubt Walter zu ruhen und die Grippe zu kurieren

3B032 Konrad erlaubt, Walter zu pflegen und die Grippe zu kurieren

3C033 Konrad erlaubt, Walter zu ruhen und die Grippe zu kurieren

4A032 Sofie erlaubt Kerstin zu turnen und das Training zu beginnen

4B033 Sofie erlaubt, Kerstin zu wecken und das Training zu beginnen

4C034 Sofie erlaubt, Kerstin zu turnen und das Training zu beginnen

1A042 Heiko droht Karla zu türmen und den Kumpel zu verlassen

1B043 Heiko droht, Karla zu knebeln und den Kumpel zu verlassen

1C044 Heiko droht, Karla zu türmen und den Kumpel zu verlassen

2A043 Ina droht Richard zu jammern und die Stimmung zu verderben

2B044 Ina droht, Richard zu tadeln und die Stimmung zu verderben

2C041 Ina droht, Richard zu jammern und die Stimmung zu verderben

3A044 Herbert droht Ewald zu desertieren und die Seiten zu wechseln

3B041 Herbert droht, Ewald zu verraten und die Seiten zu wechseln

3C042 Herbert droht, Ewald zu desertieren und die Seiten zu wechseln

4A041 Clara droht Sonja zu lärmern und den Vortrag zu boykottieren

4B042 Clara droht, Sonja zu beschimpfen und den Vortrag zu boykottieren

4C043 Clara droht, Sonja zu lärmern und den Vortrag zu boykottieren

1A051 Werner befiehlt Lena zu schlafen und die Türen zu verriegeln

1B052 Werner befiehlt, Lena zu suchen und die Türen zu verriegeln

1C053 Werner befiehlt, Lena zu schlafen und die Türen zu verriegeln

2A052 Sandra befiehlt Günther zu jubeln und die Fahnen zu schwenken

2B053 Sandra befiehlt, Günther zu ehren und die Fahnen zu schwenken

2C054 Sandra befiehlt, Günther zu jubeln und die Fahnen zu schwenken

- 
- 3A053 Egon befiehlt Nico zu rennen und den Notarzt zu rufen  
3B054 Egon befiehlt, Nico zu stützen und den Notarzt zu rufen  
3C051 Egon befiehlt, Nico zu rennen und den Notarzt zu rufen
- 4A054 Silke befiehlt Jana zu tauchen und die Leistung zu erbringen  
4B051 Silke befiehlt, Jana zu fordern und die Leistung zu erbringen  
4C052 Silke befiehlt, Jana zu tauchen und die Leistung zu erbringen
- 1A064 Harald hilft Siegrid zu verschwinden und die Grenze zu erreichen  
1B061 Harald hilft, Siegrid zu fesseln und die Grenze zu erreichen  
1C062 Harald hilft, Siegrid zu verschwinden und die Grenze zu erreichen
- 2A061 Marga hilft Lukas klettern und den Felsen zu erklimmen  
2B062 Marga hilft, Lukas zu führen und den Felsen zu erklimmen  
2C063 Marga hilft, Lukas klettern und den Felsen zu erklimmen
- 3A062 Johann hilft Reinhard zu feilschen und den Betrag zu kassieren  
3B063 Johann hilft, Reinhard zu schröpfen und den Betrag zu kassieren  
3C064 Johann hilft, Reinhard zu feilschen und den Betrag zu kassieren
- 4A063 Lotte hilft Magda zu kellnern und die Gäste zu bewirten  
4B064 Lotte hilft, Magda zu trösten und die Gäste zu bewirten  
4C061 Lotte hilft, Magda zu kellnern und die Gäste zu bewirten
- 1A073 Simon schwört Uta zu eilen und den Einkauf zu erledigen  
1B074 Simon schwört, Uta zu helfen den Einkauf zu erledigen  
1C071 Simon schwört, Uta zu eilen und den Einkauf zu erledigen
- 2A074 Vera schwört Dietmar zu schweigen und die Namen zu verheimlichen  
2B071 Vera schwört, Dietmar zu täuschen und die Namen zu verheimlichen  
2C072 Vera schwört, Dietmar zu schweigen und die Namen zu verheimlichen
- 3A071 Robert schwört Otto zu spurten und den Feinden zu entkommen  
3B072 Robert schwört, Otto zu befreien und den Feinden zu entkommen  
3C073 Robert schwört, Otto zu spurten und den Feinden zu entkommen

4A072 Lisa schwört Doris zu jobben und den Schaden zu ersetzen

4B073 Lisa schwört, Doris zu fangen und den Schaden zu ersetzen

4C074 Lisa schwört, Doris zu jobben und den Schaden zu ersetzen

1A082 Sascha versichert Maja zu verweilen und die Reise zu organisieren

1B083 Sascha versichert, Maja zu sponsern und die Reise zu organisieren

1C084 Sascha versichert, Maja zu verweilen und die Reise zu organisieren

2A083 Uschi versichert Dietrich zu rechnen und die Schulden zu begleichen

2B084 Uschi versichert, Dietrich zu retten und die Schulden zu begleichen

2C081 Uschi versichert, Dietrich zu rechnen und die Schulden zu begleichen

3A084 Gregor versichert Detlef zu klingeln und die Briefe zu übergeben

3B081 Gregor versichert, Detlef zu finden und die Briefe zu übergeben

3C082 Gregor versichert, Detlef zu klingeln und die Briefe zu übergeben

4A081 Käthe versichert Ingrid zu rasten und die Schilder zu beachten

4B082 Käthe versichert, Ingrid zu begleiten und die Schilder zu beachten

4C083 Käthe versichert, Ingrid zu rasten und die Schilder zu beachten

1A091 Eckhart bittet Inge zu verschlafen und den Ausflug zu unterbrechen

1B092 Eckhart bittet, Inge zu begrüßen und den Ausflug zu unterbrechen

1C093 Eckhart bittet, Inge zu verschlafen und den Ausflug zu unterbrechen

2A092 Tina bittet Phillip zu bleiben und die Dias zu zeigen

2B093 Tina bittet, Phillip zu holen und die Dias zu zeigen

2C094 Tina bittet, Phillip zu bleiben und die Dias zu zeigen

3A093 Werner bittet Gerhard zu tüfteln und die Geduld zu bewahren

3B094 Werner bittet, Gerhard zu trösten und die Geduld zu bewahren

3C091 Werner bittet, Gerhard zu tüfteln und die Geduld zu bewahren

4A094 Esther bittet Birgit zu flüchten und das Auto zu benutzen

4B091 Esther bittet, Birgit zu verfolgen und das Auto zu benutzen

4C092 Esther bittet, Birgit zu flüchten und das Auto zu benutzen



- 
- 1A104 Erwin rät Dora zu kämpfen und die Chance zu nutzen  
1B101 Erwin rät, Dora zu verlassen und die Chance zu nutzen  
1C102 Erwin rät, Dora zu kämpfen und die Chance zu nutzen
- 2A101 Tanja rät Rainer zu fasten und die Ärztin zu konsultieren  
2B102 Tanja rät, Rainer zu schonen die Ärztin zu konsultieren  
2C103 Tanja rät, Rainer zu fasten und die Ärztin zu konsultieren
- 3A102 Georg rät Lothar zu pausieren und den Urlaub zu genießen  
3B103 Georg rät, Lothar zu vergessen und den Urlaub zu genießen  
3C104 Georg rät, Lothar zu pausieren und den Urlaub zu genießen
- 4A103 Ella rät Iris zu lachen und den Ärger zu verbergen  
4B104 Ella rät, Iris zu verzeihen und den Ärger zu verbergen  
4C101 Ella rät, Iris zu lachen und den Ärger zu verbergen
- 1A113 Volker gesteht Lore zu schummeln und die Regeln zu mißachten  
1B114 Volker gesteht, Lore zu betrügen und die Regeln zu mißachten  
1C111 Volker gesteht, Lore zu schummeln und die Regeln zu mißachten
- 2A114 Steffie gesteht Holger zu grübeln und den Verstand zu verlieren  
2B111 Steffie gesteht, Holger zu lieben und den Verstand zu verlieren  
2C112 Steffie gesteht, Holger zu grübeln und den Verstand zu verlieren
- 3A111 Armin gesteht Norbert zu lügen und die Wahrheit zu verschleiern  
3B112 Armin gesteht, Norbert zu kennen und die Wahrheit zu verschleiern  
3C113 Armin gesteht, Norbert zu lügen und die Wahrheit zu verschleiern
- 4A112 Christa gesteht Hanna zu verzweifeln und die Nerven zu verlieren  
4B113 Christa gesteht, Hanna zu fürchten und die Nerven zu verlieren  
4C114 Christa gesteht, Hanna zu verzweifeln und die Nerven zu verlieren
- 1A122 Henning empfiehlt Moni zu reagieren und den Anwalt zu informieren  
1B123 Henning empfiehlt, Moni zu schützen und den Anwalt zu informieren  
1C124 Henning empfiehlt, Moni zu reagieren und den Anwalt zu informieren

2A123 Ines empfiehlt Jochen zu zögern und den Vertrag zu überdenken

2B124 Ines empfiehlt, Jochen zu ruinieren und den Vertrag zu überdenken

2C121 Ines empfiehlt, Jochen zu zögern und den Vertrag zu überdenken

3A124 Josef empfiehlt Arno zu handeln und den Chefarzt zu benachrichtigen

3B121 Josef empfiehlt, Arno zu röntgen und den Chefarzt zu benachrichtigen

3C122 Josef empfiehlt, Arno zu handeln und den Chefarzt zu benachrichtigen

4A121 Astrid empfiehlt Inga zu lächeln und die Sache zu vergessen

4B122 Astrid empfiehlt, Inga zu meiden und die Sache zu vergessen

4C123 Astrid empfiehlt, Inga zu lächeln und die Sache zu vergessen





## Curriculum vitae

Name: Karsten Steinhauer

1.9.1960 Geburt in Itzehoe/Holstein

1978 Abitur in Itzehoe

1979 Reisen durch Indien und Ägypten

WS 1979 Studium: Psychologie (Universität Hamburg)

1980-1981 Zivildienst (Pflegeheim Oberaltenalle, Hamburg)

1981-1982 Einjähriger Lehrgang für Abiturienten zur Ausbildung Fremdsprachlicher Sekretäre (Staatliche Fremdsprachenschule, Hamburg)

1982-1984 Kaufmännischer Disponent (München)

1985-1995 Studium: Biologie, Philosophie (Psychologie)  
(Universität Hamburg und Freie Universität Berlin)

1995 Diplom in Biologie (Freie Universität Berlin)

1995-1998 Wissenschaftlicher Mitarbeiter im DFG-Projekt 'Organisation der Sprachverarbeitung' (MPI für neuropsychologische Forschung)

1998 Wissenschaftlicher Mitarbeiter im DFG-Projekt 'Prosodische Verarbeitung' (MPI für neuropsychologische Forschung)

1999-2000 Wissenschaftlicher Mitarbeiter  
(MPI für neuropsychologische Forschung, Leipzig)

Mai 2000- Research Fellow  
(GICCS, Dept. Of Neuroscience, Georgetown University,  
Washington, D.C., USA)



## MPI Series in Cognitive Neuroscience

- 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 Aufgabenwechselparadigmas und der ereigniskorrelierten funktionellen Magnetresonanztomographie
- 18 Karsten Steinhauer  
Hirnphysiologische Korrelate prosodischer Satzverarbeitung bei gesprochener und geschriebener Sprache