

**Aus dem Institut für Medizinische Psychologie der
Universität Tübingen
Direktor: Professor Dr. Niels Birbaumer**

**Experimentelle Untersuchung sprachkorrelierter
Hirnpotenziale und ihrer funktionellen Bedeutung
vor dem Hintergrund zweier neurobiologischer
Sprachtheorien**

**Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Medizin**

**der Medizinischen Fakultät
der Eberhard Karls Universität
zu Tübingen**

**vorgelegt von
Miriam Tabea Jander, geb. Krusemark
aus
Riedlingen**

2008

Dekan:

Professor Dr. I. B. Autenrieth

1. Berichterstatter:

Professor Dr. B. Kotchoubey

2. Berichterstatter:

Privatdozent Dr. T. Haarmeier

für Daniel

INHALT

I. Einführung	11
1. Allgemeines	11
Klassifikation von EKP-Komponenten	14
Exogene und endogene EKP-Komponenten	15
2. Elektrophysiologische Korrelate der Sprachverarbeitung	16
2.1 Modultheorie	17
2.1.1 Semantik: Interpretation der N400	18
2.1.2 Syntax: Interpretation der LAN und der P600	22
2.1.2a) Interpretation der LAN	22
2.1.2b) Interpretation der P600	23
2.1.3 Sprachverarbeitungsmodell zur EKP-Interpretation	26
2.2 Argumente gegen die Modultheorie:	27
2.2.1 Argumente gegen die semantische Spezifität der N400	28
2.2.2 Argumente gegen die Syntaxspezifität der LAN und der P600	28
2.2.2a) Argumente gegen die Syntaxspezifität der LAN	28
2.2.2b) Argumente gegen die Syntaxspezifität der P600	30
2.3 Konnektionismus: Kortikal motivierte Netzwerkmodelle	32
2.3.1 Allgemeine Überlegungen	32
2.3.1a) Interpretation negativer Potenziale	33
2.3.1b) Interpretation positiver Potenziale	34
2.3.2 Interpretation der Potenziale im Rahmen der Sprachverarbeitung	36
2.3.2a) Interpretation der negativen Potenziale: N400 und LAN	36
I. Interpretation der N400	36
II. Interpretation der LAN	38
2.3.2b) Interpretation der positiven Potenziale: P600	39
2.4 Allgemeine Prinzipien: N400 und Automatic Spreading Activation	40
3. Zusammenfassung und Fragestellung	44

II. Methoden	46
I. HAUPTUNTERSUCHUNG	46
1. Voruntersuchung zu Hauptuntersuchung	46
1.1 Zusammensetzung der Stichprobe	46
1.2 Reizmaterial	47
1.3 Versuchsbedingungen/-ablauf	48
1.4 Datenanalyse/Ergebnisse	49
2. Hauptuntersuchung	51
2.1 Zusammensetzung der Stichprobe	51
2.2 Reizmaterial	52
2.3 Versuchsbedingungen	55
2.4 Versuchsablauf der Haupt- und Nachuntersuchung	58
2.4.1 Programme und Apparate	58
2.4.2 Ableitungsverfahren	59
2.4.3 Aufnahmemodalitäten	61
II. NACHUNTERSUCHUNG	62
1. Voruntersuchung zur Nachuntersuchung	62
1.1 Zusammensetzung der Stichprobe	62
1.2 Reizmaterial	62
1.3 Versuchsbedingungen und -ablauf	63
1.4 Datenanalyse und Ergebnisse	63
2. Nachuntersuchung	64
2.1 Zusammensetzung der Stichprobe	64
2.2 Reizmaterial	65
2.3 Versuchsbedingungen	68
2.4 Versuchsablauf	68

III. DATENVERARBEITUNG	69
1. Datenerfassung und Bearbeitung der Rohdaten	69
1.1 Verhaltensdaten	69
1.2 EEG-Daten	70
2. Datenanalyse	71
2.1 Verhaltensdaten	71
2.2 EEG-Daten	72
2.2.1 Hauptuntersuchung	72
2.2.2 Nachuntersuchung	73
III. Ergebnisse	77
1. Verhaltensdaten	77
1.1 Anteil der richtig beantworteten Stimuli	77
1.2 Reaktionszeiten	80
2. EEG-Daten	82
2.1 Hauptversuch	85
I. N400	85
II. P600	93
2.2 Nachversuch	101
2.2.1 Wiederholungsversuche	101
I. N400	102
II. P600	103
2.2.2 Bedeutung Tastendruck	106
I. N400	106
II. P600	109

2.3 Antonyme	111
2.3.1 Zusammenfassung Verhaltensdaten	111
2.3.2 Auswertung der Antonyme	113
I. N400	113
II. P600	116
2.3.3 Vergleich Antonyme – Sprichwörtern	117
I. N400	118
II. P600	120
2.3.4 Vergleich Antonyme – Sprichwörter – Syntax	123
I. N400	123
II. P600	127
3. Anmerkung	131
IV. Diskussion	132
1. Argumente für Konnektionismus	134
1.1 N400	134
1.2 P600	135
2. Argumente für Modularismus	137
2.1 N400	137
2.2 P600	138
3. semantisches Netzwerk als vereinbarende Alternativhypothese	138
3.1 EEG-Daten	139
3.2 Verhaltensdaten	141
3.3 Ergebnisse anderer Autoren	145

4. Anmerkungen	146
4.1 Nachversuche	146
4.1.1 Effekt Tastendruck	147
4.1.2 Effekt Zeitfaktor	148
4.2 Antonyme	150
5. weitere Forschungsansätze	155
6. Schlussfolgerung	158
V. Zusammenfassung	161
VI. Literaturverzeichnis	164
VII. Anhang	174
1. Voruntersuchung	174
1.1 Auswertung Sprichwörter	174
1.2 Auswertung grammatikalisch mehrdeutiger Sätze	181

2. Hauptuntersuchung	185
2.1 semantisch mehrdeutig	185
2.1a) Satzliste – semantisch mehrdeutig: falsche Sätze	185
2.1b) Satzliste – semantisch mehrdeutig: richtige Sätze	186
2.2 Sprichwortpaare	188
2.2a) Sprichwortpaare – gegenseitig ausgetauscht	188
2.2b) Sprichwortpaare – einseitig ausgetauscht	190
2.3 syntaktisch eindeutig	191
2.3a) Satzliste – syntaktisch eindeutig: falsche Sätze	191
2.3b) Satzliste – syntaktisch eindeutig: richtige Sätze	193
2.4 syntaktisch mehrdeutig	194
2.4a) Satzliste – syntaktisch mehrdeutig: falsche Sätze	194
2.4b) Satzliste – syntaktisch mehrdeutig: richtige Sätze	196
2.5 EEG-Kurven	198
2.5a) eindeutig	198
2.5b) mehrdeutig	200
2.5c) Semantik	202
2.5d) Syntax	205
3. Nachuntersuchung	207
3.1 Liste Antonyme	207
3.2 EEG-Kurven	211
3.2a) Antonyme	211
3.2b) Semantik: Antonyme und Sprichwörter	213

I. EINFÜHRUNG

„Sprache ist die Kleidung der Gedanken“, formulierte der englische Dichter und Literaturkritiker Samuel Johnson (1709–1784). Die Frage nach der Umsetzung der Gedanken in Worte und Sprache, die der Gegenüber aufnehmen, verarbeiten und entschlüsseln kann, beschäftigt den Menschen schon seit Jahrhunderten. Und auch heute ist das Geheimnis der Sprache sowohl faszinierend als auch für die menschliche Kommunikation essenziell und aktuell, wie die unzähligen Ratgeber zur besseren Kommunikation beweisen.

Doch erst seit 1924 hat die Wissenschaft ein Instrument an der Hand, um zu den Prozessen im Gehirn einen indirekten Zugang zu bekommen. Hans Berger konnte an einem siebenjährigen Patienten spontane elektrische Spannungsschwankungen von der Hirnrinde ableiten. In seinen Aufzeichnungen gelang es ihm, unterschiedliche Aktivierungsmuster nachzuweisen, die mit Schmerz, lautem Geräusch oder Anstrengung variierten. 1980 haben Kutas & Hillyard diese Methode erstmals in die Sprachforschung eingebracht (Kutas & Hillyard, 1980a und b). Seitdem wird ihre Erforschung immer weiter vorangetrieben. Viele Forschungsgruppen versuchen, die Reaktion des menschlichen Gehirns auf verschiedene sprachliche Stimuli zu messen und zu interpretieren.

1. Allgemeines

Beim Elektroenzephalogramm (EEG) wird die elektrische Hirnaktivität mit Metallelektroden von der Kopfoberfläche abgeleitet.

Gemessen wird die Spannungsschwankung der Neurone, die sich aus exzitatorischen und inhibitorischen postsynaptischen Potenzialen zusammensetzt. Da die Feldpotenziale der Einzelzellen zu klein sind um ein messbares Signal zu generieren, müssen ein oder mehrere Module (ein Modul

besteht aus ca. 10 000 Pyramidenzellen) zeitlich synchron synaptisch aktiviert werden (Birbaumer & Schmidt, 2003). Damit die Addition der einzelnen Felder besonders günstig ist müssen die Neurone alle in die selbe Richtung ausgerichtet sein. In vielen neuronalen Populationen, auch in denen mit einer parallelen Neuronenausrichtung, kann die Aktivität allerdings nicht ausreichend synchron sein, um ein elektrisches Feld zu erzeugen, das mit einem gewissen räumlichen Abstand noch aufgezeichnet werden kann. In einigen anatomischen Strukturen, wie zum Beispiel im Neokortex, ist die geometrische Anordnung der Neurone für die Summierung und Ausbreitung ihrer elektrischen Aktivität förderlich. Die Pyramidenzellen und damit deren Dipole stehen senkrecht zur Kopfoberfläche. In anderen Strukturen, wie beispielsweise dem Thalamus, sind die Neurone so angeordnet, dass die Aufzeichnung durch Elektroden, die in einem gewissen räumlichen Abstand befestigt sind, verhindert wird. Die Lage der Neurone bedingt, dass sie kein messbares elektrisches Feld außerhalb ihrer selbst erzeugen.

Im Spontan-EEG spielen diese Feldpotenziale allerdings keine Rolle, da hier nur die allgemeine Aktivität des Neocortex erfasst wird. Die Amplituden variieren ungefähr zwischen -100 und +100 μV , wobei die Frequenz einen Bereich von 40 Hz oder mehr umfasst.

Bei Wiederholung ein und desselben Ereignisses zeigt das Gehirn auf diesen Reiz immer ähnliche Antworten, während die übrige Hirnaktivität (als sogenanntes Störsignal) zufällig verteilt ist. Sollen nun bestimmte Aspekte einer kognitiven Aufgabe untersucht werden, werden nur die Epochen untersucht, die direkt auf den Reiz zurückzuführen sind. Um dies zu erreichen, wird ein Reiz präsentiert und die Aktivität einer Hirnregion in einer definierten Zeitspanne vor oder nach dem Ereignis aufgezeichnet. Unter diesen Bedingungen erfasst man sowohl die allgemeine Hirnaktivität als auch die ereigniskorrelierte Neuronenaktivität. Diese spezifischen EEG-Schwankungen sind jedoch so klein, dass sie über mehrere identische Versuchsbedingungen gemittelt werden müssen (Müller, Weiss & Rickheit, 1997). Dabei kürzen sich die zufälligen Aktivitäten heraus und eine spezifische Kurve, das ereigniskorrelierte Potenzial

(EKP; engl. event-related potential = ERP) entsteht, das die neuronale Verarbeitung dieses Reizes widerspiegelt. Als ereigniskorrelierte Hirnrindenpotenziale werden daher alle elektrokortikalen Potenziale bezeichnet, die vor, während und nach einem sensorischen, motorischen oder psychologischen Ereignis im EEG messbar sind (Birbaumer & Schmidt, 2003). Ein solches Ereignis löst einen charakteristischen Verlauf der Spannung über die Zeit aus, wobei die Amplituden des EKP in ihrer Größe zwischen 1 und 30 μV variieren.

Man kann von der Polarität eines Potentials Rückschlüsse ziehen auf die zugrunde liegenden Prozesse. Exzitatorische postsynaptische Potenziale aus dem Thalamus oder anderen Cortexgebieten verursachen eine Depolarisation des apikalen Dendriten einer Pyramidenzelle in der oberflächlichsten Schicht (I). Die übermittelnden Botenstoffe sind meist Acetylcholin (ACh) und Serotonin. Da die Aktivität der cholinergen Neurone durch GABAerge Neurone inhibiert wird, ist wiederum eine zusätzliche monoaminerge Erregung vonnöten, um diesen hemmenden Effekt zu hemmen.

Durch den resultierenden Natrium-Einstrom in die Zelle wird die extrazelluläre Umgebung apikal negativ geladen, an dieser Stelle entsteht ein negatives Feldpotenzial. Die Pyramidenzelle selbst wird durch den Einstrom positiv geladen, es entsteht ein positives Potenzial und ein Strom fließt in die Richtung des apikalen Dendriten (Birbaumer & Schmidt, 2003).

Eine Negativierung im EEG deutet also darauf hin, dass die Pyramidenzellen mindestens eines Moduls erregt wurden. Eine Positivierung dagegen zeigt an, dass die Pyramidenzellen deaktiviert beziehungsweise gehemmt werden und somit stumm bleiben (Näheres dazu unter Einführung Kapitel 2.3.1).

Um das EKP zu interpretieren beachtet man mehrere Dimensionen:

- In Abhängigkeit vom Zeitpunkt des Ereignisses beschreibt man die Latenz einer Komponente sowie deren Dauer. Der spezielle Reiz und Ergebnisse anderer Versuche lassen so Rückschlüsse auf die Verarbeitung der Komponente zu.
- Die positive oder negative Polarität ist das grundlegendste Kriterium einer Komponente, da sie die Vorgänge an den Nervenzellen eines oder mehrerer Module erfasst. Die Amplitude lässt Rückschlüsse auf die Größe eines Moduls bzw. den Grad der Aktivierung zu.
- Die Lokalisation der Verarbeitung im Gehirn erfolgt meist über die Bestimmung derjenigen Elektrode, die das maximale Potenzial anzeigt.

Klassifikation von EKP-Komponenten

Die Komponenten werden oft nach einem zeitlichen Kriterium gegliedert: nämlich, ob und wie lange eine Komponente *vor* oder *nach* einem Ereignis auftritt (vergleiche Coles & Rugg, 1995). Das Auftreten einer Komponente wird somit in Abhängigkeit zu einem externen Kriterium gesetzt, dem Zeitpunkt zu dem der Reiz dargeboten wird. Anhand des Auftretens des externen Reizes zum Zeitpunkt Null ist es möglich, das EEG über die Zeit zu mitteln, um ein EKP zu erhalten.

Es gibt noch weitere Möglichkeiten EKP-Komponenten zu klassifizieren. Nach einer eher physiologisch begründeten Komponenteneinteilung wird zwischen tonischen, kurzen und phasischen, länger andauernden Komponenten unterschieden (z.B. Rockstroh, Elbert, Canavan, Lutzenberger & Birbaumer, 1989). Die phasischen, länger andauernden Komponenten, die auch als langsame kortikale Potenziale oder langsame Wellen bezeichnet werden, grenzen sich über ihre längere zeitliche Erstreckung von den eher tonischen Komponenten ab. Rockstroh et al. (1989) und Lutzenberger, Elbert, Rockstroh & Birbaumer (1985b) geben einen Zeitbereich von 0,5 bis zu mehreren Sekunden Dauer an. Allerdings wird auch die Ansicht vertreten (z.B. Rösler,

Schumacher & Sojka, 1990), dass die Generierung in kortikalen Schichten für langsame kortikale Potenziale besser belegt sei (Speckman, Caspers & Elger, 1984) als für phasische Komponenten.

Exogene und endogene EKP-Komponenten

Bei der Interpretation der EKP wird zwischen exogenen und endogenen Komponenten unterschieden.

Exogene Komponenten des EKP treten innerhalb von 10 bis 100 ms nach Reizdarbietung auf. Sie weisen eine Reihe von Charakteristika auf: modalitätsspezifische Topografie, hohe inter- und intraindividuelle Stabilität und Abhängigkeit von physikalischen Reizparametern.

Intraindividuelle Stabilität bedeutet, dass exogene Komponenten konstant sind, was die Eigenschaften, die Persönlichkeit und die Umstände verschiedener Personen angeht. Interindividuelle Stabilität bezeichnet die Unabhängigkeit einer exogenen Komponente von dem Umgang und der Interpretation einer Person.

Die Eigenschaften dieser Komponenten, also Amplitude, Latenz und Topographie, sind von den physikalischen Eigenschaften der sensorischen Reize, wie beispielsweise ihrer Modalität und ihrer Intensität, abhängig und können nicht durch kognitive Manipulationen beeinflusst werden (unter anderem Rockstroh et al., 1989; Coles & Rugg, 1995).

Exogene Komponenten spiegeln die Weiterleitung der sensorischen Information innerhalb der primären sensorischen Bahnen wider und können im Rahmen neurophysiologischer Untersuchungen zu diagnostischen Zwecken eingesetzt werden.

Endogene Komponenten mit einem Latenzbereich ab ca. 100 ms nach Stimulusbeginn zeichnen sich durch die Unabhängigkeit von physikalischen Eigenschaften aus. Sie sind dagegen von physiologischen und psychologischen Mechanismen abhängig, die wiederum von der Instruktion, der spezifischen Aufgabe, dem Setting und der persönlichen Bewertung durch den Probanden abhängen.

Ihre Charakteristika oder ihr Auftreten selbst sind somit von der Interaktion zwischen Person und Reiz abhängig. Die endogenen Komponenten variieren als Funktion von Faktoren wie Aufmerksamkeit, Aufgabenrelevanz und der Art der Verarbeitung, die durch einen Reiz notwendig ist. Endogene Komponenten können sogar in Abwesenheit eines externen Ereignisses hervorgerufen werden, wenn beispielsweise ein erwarteter Reiz nicht auftritt (siehe zum Beispiel Gurtubay & Artieda, 1999).

2. Elektrophysiologische Korrelate der Sprachverarbeitung

Besondere Anwendung findet das EEG in der Domäne der Sprachforschung. Seit Kutas & Hillyard (1980a und b) erste Zusammenhänge zwischen Sprachqualitäten und EKP-Komponenten postulierten, wurden auf diesem Gebiet Forschungen mit bahnbrechenden, aber auch kontrovers diskutierten Ergebnissen durchgeführt.

In der Erforschung sprachverarbeitender Prozesse hat sich die Methode etabliert, mit Sätzen zu arbeiten, bei denen bestimmte Qualitäten verletzt werden, sei es durch unpassende Wörter, falsche Flexionen, geänderte Schriftart, Nonsense-Wörter oder anderes.

Durch die EKP-Veränderung, die bei einer spezifischen Verletzung in verschiedenen Sätzen eintritt, zieht man den Rückschluss, dass diese bestimmte Negativierung oder Positivierung einen bestimmten Verarbeitungsmechanismus repräsentiert. Schwierigkeiten bereitet dabei immer wieder, die verschiedenen Versuchsbedingungen unter eine Kategorie zu subsumieren.

Zur Zeit dominieren vor allem zwei Interpretationsrichtungen, die im folgenden dargestellt, überprüft und diskutiert werden sollen: Der Modularismus und der Konnektionismus.

Der Modularismus geht das Problem der mentalen Verarbeitungsmechanismen top-down an. Er versucht anhand von spezifischen Sprachmodulen die

Ereignisse und Ergebnisse zusammenzufassen und eine Hierarchie zu beschreiben. Dabei werden immer speziellere Verarbeitungs-Module formuliert, die immer speziellere Aufgaben lösen können.

Der Konnektionismus geht dagegen bottom-up vor und beschreibt Mechanismen aufgrund neurobiologischer Beobachtungen wie Synapsenaufbau, Zellverschaltung und Reaktionszeiten. Diese Verarbeitungsmechanismen sind zunächst sehr grundlegend, bilden in ihrer Gesamtheit aber größere neuronale Netze und damit auch größere Phänomene. Man spricht in diesem Zusammenhang von kortikal motivierten Netzwerkmodellen.

Ich werde zuerst die Theorie des Modularismus und anschließend die des Konnektionismus vorstellen.

2.1 Modultheorie

Fodor stellt in „The Modularity of Mind“ 1983 ein Konzept vor, welches die Verarbeitung geistiger Aufgaben beschreibt und einen breiten Einzug in die moderne Kognitionspsychologie gefunden hat. Wenn man eine Aufgabe in Probleme und Lösungen und diese wieder in Teilprobleme und Teillösungen aufspaltet, kann man einen seriellen Prozess formulieren. Als Spezialisten für die Lösung dieser Teilprobleme schlägt Fodor Module vor, die durch ihre serielle Anordnung wiederum eine größere Aufgabe lösen. Caplan überträgt 1992 diese allgemeine Theorie auf das Sprachsystem. Er stellt dabei heraus, dass das Sprachsystem aus einzelnen, spezialisierten Modulen besteht. Jedes Modul benötigt eine bestimmte Art an Eingangsdaten und gibt eine bestimmte Art an Daten heraus. Dabei laufen die Sprachprozesse unweigerlich und automatisch, unbewusst, schnell und mit hoher Genauigkeit ab.

Man unterscheidet grob zwischen syntaktischen und lexikalisch/semantischen Prinzipien, die wiederum aus verschiedenen Teilmodulen zusammengesetzt sind und postuliert eine Konstruktionsunabhängigkeit der jeweiligen Module und Prinzipien.

2.1.1 Semantik: Interpretation der N400

Kutas & Hillyard (1980a und b) gelten als Entdecker der Tatsache, dass ein Wort, das einen Satz nicht semantisch passend fortführt wie in (1), eine bilaterale und zentro-parietal maximale negative Amplitudenabweichung relativ zu einem semantisch gut integrierbarem Wort wie in (2) evoziert.

(1) „He spread his warm bread with socks.“

(2) „It was his first day at work.“

Kutas & Hillyard (1980a) konnten zeigen, dass es sich bei diesem Effekt, der abhängig vom zeitlichen Auftreten und der Polarität als N400 bezeichnet wird, nicht um einen allgemeinen kognitiven Überraschungseffekt handelt, sondern um eine stabile sprachrelevante Komponente. Sie wurde modalitätsunabhängig in einer Reihe von Sprachen gefunden (vergleiche zum Beispiel Kutas & van Petten, 1994; Rösler & Hahne, 1993a).

Auch wenn semantische Verletzungen aufgrund der Fülle der Studien oft als *das* experimentelle N400-Paradigma gelten, reflektiert die N400 doch sehr viel allgemeinere Prozesse. Das legen Studien nahe, die N400-Modulationen auch in korrekten Sätzen oder bei Einzelwortpräsentationen fanden.

Folgende zusätzliche Determinanten wurden für N400-Modulationen gefunden:

A) N400 als Indikator der Unwahrscheinlichkeit

Kutas & Hillyard (1984) fanden heraus, dass die Amplitude der N400 abhängig davon ist, wie sehr ein Proband das Wort erwartet hat und unabhängig davon, ob das Wort semantisch möglich ist. Die Erwartung eines Wortes wird dabei über die cloze probability definiert. Je höher die cloze probability¹ ist, desto kleiner wird die N400. Diese Ergebnisse legen nahe, dass die N400 Prozesse des semantischen Primings oder der semantischen Aktivierung widerspiegelt.

In einer Reihe von Studien fand man heraus, dass ein Wort eine kleinere N400 auslöst, wenn diesem Wort ein semantisch relatives Wort vorangeht (Beispiel:

¹ vgl. Kapitel 2.1.2a), Fußnote.

bread -> butter) (Holcomb & Neville, 1990; Bentin, McCartney & Wood, 1985). Dieser Effekt wird als assoziatives Priming bezeichnet.

Die N400 ist außerdem umso größer, je seltener ein Wort im Alltagsgebrauch einer Sprache vorkommt (Rugg, 1990). Bereits wenn es im Experiment wiederholt wird, zeigt es eine kleinere Amplitude.

Der Grad an verfügbarem Kontext hat einen Einfluss auf die N400 des Zielwortes. So konnten van Petten & Kutas (1990) herausfinden, dass die Stellung des kritischen Wortes im Satz einen höheren Einfluss auf die Amplitude hat als die Frequenz. Die Frequenz eines Wortes hat auf die N400 nur einen Einfluss, wenn dieses Wort früh im Satz vorkommt und somit noch wenig semantischen Kontext hat. Frequenzinformationen haben damit keinen fixen Einfluss auf die N400, sondern sie interagieren mit anderen Informationen wie lineare Position, Art des Kontextes oder Wortklasse.

Zudem haben Wörter in einem korrekten Kontext eine kleinere N400 als in inkorrekten Kontexten (Van Petten & Kutas, 1991).

B) N400 in isolierten Wörtern und Wortlisten

Kounios & Holcomb (1994) fanden heraus, dass Wörter mit einer konkreten Bedeutung (zum Beispiel „Fahrrad“) eine größere N400 evozieren als Wörter mit einer eher abstrakten Bedeutung (zum Beispiel „Freiheit“).

Darüber hinaus gibt es Unterschiede zwischen Wörtern verschiedener Wortklassen. Wörter der offenen Klasse (open class words) evozieren größere N400 als Wörter der geschlossenen Klasse (closed class words) (Nombre & McCarthy, 1994). Die Gruppe der Wörter der offenen Klasse ist prinzipiell erweiterbar dadurch, dass neue Sachverhalte und Gegenstände mit bestehenden Wörtern kreiert werden können. Dazu gehören Nomen, Adjektive, Verben und Adverbien. Die geschlossene Klasse ist dagegen mehr oder weniger fix. Zur ihr gehören etwa Präpositionen, Konjunktionen und Artikel. Wörter der geschlossenen Klasse sind in der Regel kürzer, „abstrakter“ in ihrer Bedeutung sowie weniger von einem semantischen Kontext abhängig (Van Petten & Kutas, 1991).

C) N400 und Aufmerksamkeit

Für die Genese der N400 muss man unterscheiden zwischen automatischer Aktivierungsbreite (Verarbeitungstiefe) und kontrolliertem semantischem Abgleich (bewusste Wahrnehmung). Primingeffekte, die auf oberflächliche Verarbeitung wie Schriftart etc. zurückgehen, sollen automatische Assoziationsmechanismen widerspiegeln (Collins & Loftus 1975; Neely, 1991). Dagegen wird ein Wort besser wiedererkannt und abgerufen, wenn es bei der vorangehenden Präsentation tief, also semantisch verarbeitet wurde. Chwilla, Brown & Haagort (1995) zeigten, dass ein N400-Effekt nur dann entsteht, wenn Probanden ein Wort lexikalisch (im Gegensatz zu oberflächlich, zum Beispiel aufgrund der Schriftgröße) verarbeiten.

Die N400 ist außerdem abhängig von Primingeffekten. Bentin, Kutas & Hillyard (1995) zeigten, dass N400-Unterschiede aufgrund von Priming nur dann zu beobachten sind, wenn der Stimulus im Fokus der Aufmerksamkeit steht. Sie konnten für Wortlisten nur dann einen N400-Effekt nachweisen, wenn diese durch eine Zusatzaufgabe aufmerksam verarbeitet wurden.

Daraus ergibt sich, dass die N400 keinen automatischen Aktivierungsprozess widerspiegelt.

D) N400 und Syntax

Friederici, Steinhauer & Frisch (1999) fanden heraus, dass in einem Satz, der sowohl eine semantische wie auch eine syntaktische Verletzung enthält, die N400 weit weniger ausgeprägt ist als bei einer alleinigen semantischen Verletzung. Daraus folgerten sie, dass die lexikalische Integration durch die frühe syntaktische Verarbeitung beeinflusst wird. Dies suggeriert, dass zuerst die grobe syntaktische Struktur vorhanden sein muss, damit auf der Ebene der Semantik eine Verarbeitung stattfinden kann.

Die aktuellsten Modelle für die N400 basieren auf einer in der kognitiven Linguistik häufig getroffenen Unterscheidung zwischen dem Mechanismus des Zugriffs auf das Lexikon und semantischer Integration.

Nach dieser Unterteilung wird angenommen, dass die N400 entweder ein Korrelat der Intensität der Beanspruchung des Lexikons sei (Näheres siehe auch bei „spreading activation“ Einführung Kapitel 2.4) oder sie spiegele den Aufwand der semantischen Integration und der Einordnung in einen übergeordneten Sinnzusammenhang wider (Deacon, Grose-Fifer, Hewitt, Nagata, Shelley-Tremblay & Yanget, 2004; Hinojosa, Martin-Loeches & Rubia, 2001; Holcomb, 1993; Misra & Holcomb, 2003; Silva-Pereyra, Harmony, Villanueva, Fernandez, Rodriguez, Galan, Diaz-Comas, Bernal, Fernandez-Bouzas, Marosi & Reyes, 1999).

Zusammenfassend wurden für die N400 folgende drei Mechanismen vorgeschlagen: Nach dem Mechanismus der "automatic spreading activation" wird bei Aktivierung eines Knotenpunkts automatisch ein Netz von benachbarten Knotenpunkten mitaktiviert. Wenn nun ein in Verbindung stehendes Wort präsentiert wird, wurde es schon voraktiviert und benötigt deswegen weniger zusätzliche Aktivierung, was sich in einer kleineren N400 widerspiegelt.

Ein anderer Mechanismus besteht in der (bewussten) Erwartung eines verbundenen Wortes, unerwartete Wörter rufen eine größere N400 hervor. Sowohl die "automatic spreading activation" als auch die Erwartung sind prälexikale Mechanismen, sie setzen voraus, dass die N400 vor dem lexikalischen Zugriff produziert wird.

Im Kontrast dazu steht der post-lexikale Mechanismus der semantischen Integration. Nach dieser Hypothese wird nach dem lexikalischen Zugriff der Zusammenhang zwischen dem eben präsentierten Wort und dem vorangegangenen Kontext beurteilt. Je enger der Zusammenhang, desto weniger Aufwand ist nötig um das Wort zu integrieren, desto kleiner ist die N400.

2.1.2 Syntax: Interpretation der LAN und der P600

Nach Friederici, Pfeifer & Hahne (1993) spiegeln sich syntaktisch Verletzungen wider in der frühen links-anterioren Negativierung (LAN) bei etwa 200 ms und der späten Positivierung (P600, wird in der Literatur manchmal auch als SPS = syntactic positive shift bezeichnet). Friederici, Hahne, & Mecklinger (1996) schlugen ein zweistufiges Modell der Satzanalyse vor. In einer ersten Stufe soll die erste Syntaxstruktur gebildet werden und in einer zweiten finden die Reanalyse und die thematische Rollenzuteilung statt. Der ersten Stufe wird die LAN, der zweiten die P600 zugeschrieben.

2.1.2a) Interpretation der LAN

Bei der links anterioren Negativierung (LAN) herrscht in der Fachwelt die Meinung vor, dass es sich um eine syntaxrelatierte Komponente handelt, die vor allem für die Aufdeckung syntaktischer Uneinigkeiten zuständig ist (Münke, Heinze & Mangun, 1993; Friederici, 1995).

Wie schon der Name sagt, ist die LAN frontal angesiedelt und in der Regel in der linken Hemisphäre stärker als in der rechten.

In der ersten Arbeit von Neville, Nicol, Barss, Forster & Garrett (1991), in der eine LAN im Zusammenhang mit syntaktischen Sprachverletzungen gefunden wurde, fanden sie drei verschiedene Arten der syntaktischen Verletzungen:

1) Satzstrukturverletzungen:

„The man admired Don’s *of* sketch the landscape.”

2) spezifische „constraint“-/Bedingungs-Verletzungen:

„What did the man admire Don’s *sketch* of?”

3) ungewöhnte syntaktische Strukturen, die zuerst als Verletzung imponieren:

„What was a sketch of *admired* by the man?”

Die Hirnantworten nach den kritischen Wörtern (kursiv dargestellt) der Satzstrukturverletzungen (1) zeigen eine LAN von 50-250 ms sowie eine scharfe links temporal und parietal gelegene Negativierung um 400 ms und eine späte Positivierung.

EEG-Antworten für spezifische Bedingungsverletzungen (2) resultieren in einer starken links-anterioren Negativierung vom Beginn des Stimulus an.

Tieferliegende Verletzungen (3) führen zu einer erweiterten Positivierung um 20 ms und einer späten Positivierung beidseits parietal. Diese war kleiner als die der Satzstrukturverletzungen.

Die LAN soll die erste Entdeckung eines Fehlers (und die P600 die Reanalyse) darstellen. Gleichzeitig soll die LAN eine erste Satzstruktur aufbauen, um so die Grundlage für weitere syntaktische Analysen zu schaffen (Rossi, Gugler, Hahne & Friederici, 2005).

Außerdem fand man, dass die LANs bei Verletzungen der Wortkategorie eines kritischen Wortes auftreten (Van den Brink & Hagoort, 2004).

Dass die LAN eine Komponente des Satzverständnisses widerspiegelt, zeigen Versuche, bei denen LANs nicht in Einzelwörtern auftreten, sondern nur wenn diese als Fehler in Sätze eingebaut wurden (Morris & Holcomb, 2005).

Gunter, Friederici & Schriefers (2000) zeigten einerseits, dass die LAN nach grammatikalischen Geschlechtsverletzungen (Artikel – Substantiv) auftraten und andererseits auf semantische Parameter wie hohe oder niedrige cloze probability² nicht ansprachen. Daraus folgern sie, dass die LAN eine autonome frühe syntaktische Verarbeitung widerspiegelt, die für semantische Interaktionen nicht anfällig ist.

2 Die cloze probability ist die Häufigkeit mit der von einer Gruppe Befragter ein bestimmtes Wort zur Komplettierung eines vorgegebenen Satzes gewählt wurde. Hier zeigte sich, dass bei Darbietung der für den jeweiligen Satzkontext wenig erwarteten terminalen Wörter im Vergleich zu den hoch erwarteten terminalen Wörtern eine höhere N400-Amplitude evoziert wurde (Kutas & Hillyard, 1984).

2.1.2 b) Interpretation der P600

Osterhout & Holcomb (1992) kennzeichneten erstmals die späte Positivierung als P600 und identifizierten sie als biologischen Indikator syntaktischer Fehlerentdeckung und Wiederaufbereitung.

Beispiele:

(1) Satzstrukturverletzung:

„The broker persuaded *to* sell the stock.“

(2) Verletzung der Reanalyse der Untergruppen:

„The broker hoped to sell the stock *was* sent to jail.“

In (1) fand sich eine langsame positive Welle die am größten rechts anterior war. Bei „was“ in (2) findet sich eine mehr posteriore und symmetrische Positivierung.

Bei der P600 stellt sich das Problem der Trennung zwischen Verletzung grammatikalischer Regeln und Verletzung von Präferenzen. Präferenzverletzungen können dahingehend gedeutet werden, dass eine Verarbeitungsmöglichkeit präferiert wird, die mit dem späteren Input grammatisch inkompatibel ist (Osterhout & Holcomb, 1992). Andererseits können auch Verletzungen grammatikalischer Regeln diese Reanalysemechanismen initiieren, auch wenn sie erfolglos bleiben (Osterhout & Holcomb, 1992; Friederici et al., 1996). Die P600 wird deshalb oft als sprachspezifischer Indikator von Reanalyse- beziehungsweise Reparaturprozessen gedeutet (Friederici, 1995; Friederici, 1999). Dabei bleibt offen, ob die P600 den Reparatur- oder den Detektionsmechanismus reflektiert. Die meisten Autoren sind der Auffassung, dass die P600 an die Verarbeitung syntaktischer Prozesse gebunden ist (Friederici 1995, Friederici, 1999; Haagort, Braun & Groothusen, 1993; Osterhout & Nicol, 1999; Osterhout & Haagort, 1999). Allerdings wurden gegen diese Interpretation auch Einwände erhoben, die die Syntax- und sogar die Sprachspezifität der P600 anzweifeln.

Wie Coulson, King & Kutas (1998) feststellen, sind die Ergebnisse in Bezug auf die Topographie und den Zeitverlauf von Hirnantworten auf syntaktische Verletzungen nicht einheitlich in der Literatur. Einige syntaktische Verletzungen scheinen zu Positivierungen zu führen, andere zu Negativierungen und wieder andere zu beidem. Die Topografie dieser Komponenten scheint sich über den gesamten Cortex zu erstrecken, wobei die meisten Studien keine Ursprungslokalisation sondern die Elektroden angeben, bei denen die beobachteten Effekte am größten waren. Dabei findet man in der Literatur die P600 zwischen 0ms und deutlich über 500ms. Für diese Variabilität mag es viele Gründe geben: Worthäufigkeiten, Wortwiederholungen, Art der Stimulusdarbietung (auditorisch, visuell), Art der Präsentation (kontinuierlich, Wort für Wort). Am wichtigsten scheint aber die unterschiedliche syntaktische Komplexität der Sätze zu sein (Assadollahi, 2003).

Darüber hinaus ist es oft möglich eine syntaktische Verletzung eines Satzes auf verschiedene Weisen zu interpretieren. Wie schon Osterhout und Holcomb (1992) selbst darstellen, kann die Verletzung in (1) durch ein fehlendes Wort verursacht sein („The broker persuaded *the man* to sell the stock“) oder durch das Weglassen eines Teils („The broker persuaded to sell the stock *was sent to jail*“) oder aber das Verb könnte falsch sein („The broker *hoped* to sell the stock“)

Verschiedene Strategien, mit der Verletzung umzugehen, könnten zu verschiedenen Hirnantworten führen (Assadollahi, 2003).

Nach Friederici, et al. (1996) werden syntaktische Informationen in zwei Ebenen verarbeitet. Auf einer ersten Ebene wird die erste Satzstruktur gebildet, dieser Verarbeitungsprozess ist anfällig für Verletzungen der syntaktischen Satzkategorie, nicht aber für eine Mehrdeutigkeit der Kategorie. Auf der zweiten Ebene, wo die Rollenzuteilung und, wenn nötig, Reanalyseprozesse stattfinden, führen sowohl Verletzungen als auch Uneindeutigkeiten zu einer Störung, die in einer P600 resultiert.

2.1.3 Sprachverarbeitungsmodell zur EKP-Interpretation

Um die verwirrende Vielfalt der Ergebnisse aus den EKP-Studien zu ordnen schlug Friederici (1995) ein Modell vor, das aus drei aufeinanderfolgenden Phasen der Sprachverarbeitung besteht:

- Phase 1: In der ersten Phase (bis 200 ms) laufen strukturbildende Prozesse auf Grundlage der Wortkategorie ab. Verletzungen der Satzstruktur aufgrund einer falschen Wortkategorie spiegeln sich in einer umschriebenen frühen links-anterioren Negativierung (early left anterior negativity = ELAN) mit einem Maximum um zirka 200ms nach dem kritischen Ereignis wider.
- Phase 2: Eine intensivere Nutzung semantischer und syntaktischer Aspekte lexikalischer Information findet sich nach Friederici (1995) dann in einer zweiten Phase nach etwa 400 ms.

Dabei kann grob zwischen zwei Prozessen unterschieden werden:

- (a) Probleme bei der semantischen Integration (zum Beispiel Verletzungen von semantischen Erwartungen oder Selektionsrestriktionen) evozieren eine N400, die bilateral temporo-parietal ihr Maximum hat.
 - (b) Verletzungen, die auf eine syntaktische Lexikoninformation zurückzuführen sind (Kongruenz in Genus und Numerus, Subkategorisierung, thematische Rollen) evozieren eine Negativierung mit links-anterioem Fokus (LAN).
- Phase 3: In der dritten Phase finden sich Prozesse wieder, die bei einer Verletzung in einer P600 resultieren. Dabei spiegelt die P600 nach Friederici (1995) Bemühungen wieder, eine syntaktische Struktur, die an einem bestimmten Punkt der Verarbeitung nicht mehr zu der lexikalisch-semantischen oder syntaktischen Information passt, zu reanalysieren. Diese Reanalyseprozesse korrelieren mit einer zentroparietalen späten positiven Komponente, der P600.

In der Folge konnten Friederici et al. (1999) zeigen, dass die Phasen nicht nur zeitlich aufeinander folgen, sondern einander funktional bedingen. Außerdem sollen sie nicht dieselben Automatizitätskriterien besitzen (vgl. Hahne & Friederici, 1999).

2.2 Argumente gegen die Modultheorie

Die oben genannten Studien beruhen größtenteils auf der Theorie, dass Peaks in EKPs bei Versuchen zur Sprachverarbeitung sprachspezifische Qualitäten darstellen. Allerdings treten die N400, die LAN und die P600 auch bei **anderen Stimuli** wie visuellen oder auditorischen nicht-sprachlichen Reizen auf. So zeigten Bobes, Valdes-Sosa & Olivares 1994, dass bekannte Gesichter, bei denen einzelne Merkmale mit anderen Gesichtern vertauscht wurden ein nicht-linguistisches Analogon zur N400 hervorriefen. Andererseits zeigte sich bei Gesichtern, bei denen die Merkmale in verschieden starkem Maße an eine unkorrekte Position gesetzt wurden, eine späte positive Komponente. Trautner, Dietl, Staedtgen, Mecklinger, Grunwald, Elger & Kurthen (2004) erreichten ähnliche Ergebnisse, indem sie den Versuchspersonen bekannte und unbekannte Gesichter präsentierten. Bei wiederholter Präsentation der gleichen Gesichter nahmen die Potenziale wieder ab. Schon & Besson (2005) konnten Ergebnisse analog zu denen der Sprachforschung bei Musikern beobachten, die sich Töne und Melodien anhand der Partitur vorstellen sollten.

Man könnte nun behaupten, dass Gesichter oder auch Musik einen narrativen Kontext aufbauen, der vielleicht nicht so ausgeprägt ist wie in der Sprache. So kann die modularistische Theorie auch für nicht-verbale Stimuli aufrechterhalten werden. Wie die sprachliche N400 wird die N400 auf Bilder und Gesichter supprimiert wenn der Stimulus durch einen semantisch relatierten Stimulus geprimed wird (Barrett, Rugg & Perrett, 1988; Caldara, Jermann Arange & van der Linden, 2004; Hamm, Johnson & Kirk, 2002; Marchand, D'Arcy & Connolly, 2002; McPherson & Holcomb, 2002; Nigam, Hoffmann & Simons, 1992; Pratarelli, 1994; West and Holcomb, 2002).

Die N400 wurde jedoch auch im Zusammenhang mit komplexen Buchstaben (Kotchoubey, Wascher & Verleger, 1997), arithmetischen Problemen (Niedeggen, Rösler & Jost, 1999) und mit einigen Arten von Mismatch bei komplexen Stimuli (zum Beispiel Bobes et al., 1994) gefunden. In diesen Fällen scheint die semantische Integration nur mit einer sehr weitgefassten Auffassung von „semantisch“ möglich zu sein (Kotchoubey, 2006).

2.2.1. Argumente gegen die semantische Spezifität der N400

Eine Schwierigkeit bei der gegenwärtigen Interpretation der N400 stellt die Tatsache dar, dass die N400 vor allem in starken Kontexten häufig von einer P600 begleitet wird, die typischerweise in syntaktischen Zusammenhängen auftreten sollte. Auch wenn die P600 in semantischen Experimenten meist nicht erwähnt wird, ist sie auf den Darstellungen oft gut zu sehen (Kotchoubey, 2006). Identische P600 wurden nach sehr unterschiedlichen Arten linguistischer Verletzungen gefunden (Münste, Heinze, Matzke, Wieringa & Johannes, 1998a), die die Autoren zu einer eindeutigen Folgerung veranlassen (S. 224): „The proposal that the P600/SPS is a specific ERP effect related to syntactic/structural processing in language can no longer be maintained.“

2.2.2. Argumente gegen die Syntaxspezifität der LAN und der P600

2.2.2a) Argumente gegen die Syntaxspezifität der LAN

Wenn man annimmt, dass die LAN frühe Stadien der Verarbeitung widerspiegelt (Hinojosa et al., 2001), würde man auch erwarten, dass sie auf einfache syntaktische Verletzungen eher antwortet als die spätere P600. Das Gegenteil ist allerdings der Fall: Die P600 reagiert auf klar abgrenzbare, einfach zu reparierende Anomalien und die LAN erscheint erst in schwierigen syntaktischen Konstruktionen. So rufen grammatikalisch falsche Verben, die aber semantisch korrekt und an der richtigen Position stehen, nur eine späte Positivierung hervor. Die gleichen Fehler führen dann zu einer LAN, wenn der Relativsatz in der Mitte des Hauptsatzes steht. Dies setzt eine hohe kognitive Beanspruchung für das Satzverständnis dar (Gunter, Stowe & Mulder, 1997).

Bei den bisherigen Versuchen zeigte sich, dass die LAN im Bereich von 300 bis 700 ms nach Reizdarbietung oft mit grammatikalischen Funktionswörtern, die wenig oder keinen semantischen Kontext aufweisen, dafür aber eine Bedeutung bei der Dekodierung syntaktischer Strukturen für die Syntaxanalyse spielen, zusammenhängt. Hoen & Dominey (2000) konnten jedoch nachweisen, dass die LAN allgemeinere Sequenzanalyse-Prozesse darstellt, bei der aktuelle strukturelle Informationen mit vorhergehenden Elementen der Sequenz interagieren, um Vorhersagen über folgende Elemente geben zu können.

Komplexe Sätze, in denen die grammatikalische Reihenfolge der zeitlichen Reihenfolge widerspricht, rufen eine ausgeprägte LAN hervor (Münste, Schlitz & Kutas, 1998b; Beispiel: „Before the scientist submitted his paper, the journal had changed its policy“).

Die oben angeführten Versuche von Neville et al. (1991) zeigten eine LAN nach Verletzungen tiefer liegender Strukturen, aber eine P600 nach spezifischen Bedingungsverletzungen. Eine P600 taucht also bei einfachen, eine LAN bei schwieriger zu rekonstruierenden syntaktischen Formen auf (Kotchoubey, 2006). Wenn Probanden mit Sätzen mit zulässigen, aber höchst ungewöhnlichen Satzkonstruktionen konfrontiert werden, tritt eine LAN auf. Die LAN scheint also einen Prozess widerzuspiegeln, der eine erste Analyse des Satzes durchführt und möglicherweise Arbeitsgedächtniszugriffe darstellt, wenn einem Wort nicht ohne Probleme seine erwartete Rolle zugeschrieben werden kann (Rösler, Bajric, Heil, Henninghausen, Niedeggen, Pechmann, Roder, Russeler & Streb, 1997).

Weitere Belege für die Theorie des Zugriffs auf das Arbeitsgedächtnis kommen von Anderson & Holcomb (2005). Wenn ein Substantiv bereits definiert wurde und im Folgenden mit dem bestimmten Artikel beschrieben wird („der“/„die“/„das“ statt „ein/e“), ruft das eine größere LAN hervor. Die Autoren interpretieren dies so, dass auf einen größeren semantischen Kontext zurückgegriffen wird und die LAN damit einen Zugriff auf das Arbeitsgedächtnis anzeigt.

Wenn die LAN mit dem Arbeitsspeicher in Verbindung gebracht wird, kann man sich vorstellen, dass auch lexikalische und referenzielle Mehrdeutigkeiten einen negativen frontalen Effekt zeigen. Wenn die Wortbedeutung an Komplexität zunimmt, nimmt neben der N400 auch die LAN an Amplitude zu (Hagoort, 2003; Neville et al., 1991; Weckerly and Kutas, 1999).

Koelsch, Gunter, Wittfoth & Sammler (2005) fanden Hinweise darauf, dass auch für die LAN nicht ohne Einschränkung eine Sprachspezifität besteht. Sie beobachteten eine Interaktion der LAN mit der ERAN, einer frühen rechtsanterioren Negativierung, die bei Syntaxverletzungen in der Musik auftreten. Da bei gleichzeitiger Darbietung von Musik und Sprache die Amplitude der LAN reduziert wurde, postulieren sie eine starke Überlappung der neuronal zugrunde liegenden Strukturen für die Verarbeitung von Sprache und Musik.

2.2.2b) Argumente gegen die Syntaxspezifität der P600

Es wurden auch Einwände erhoben, die die Syntax- und sogar die Sprachspezifität der P600 anzweifeln.

1) Argumente gegen die Syntaxspezifität

Ein Argument gegen die Syntaxspezifität der P600 kommt von Münte et al. (1998a). In ihrer Studie präsentieren sie Sätze, deren kritisches Wort den Satz (a) korrekt weiterführt oder (b) eine grammatikalische, orthographische beziehungsweise (c) eine semantische Verletzung initiiert. Alle drei Verletzungstypen zeigen eine späte Positivierung, wobei der semantischen Verletzung noch eine N400 vorausgeht. Daraus schlossen Münte et al. (1998a), dass eine P600 auch für semantische Verletzungen auftreten kann und die Ansicht, dass die P600 ein spezifischer syntaktischer Prozess ist, nicht aufrecht erhalten werden kann.

2) Argumente gegen die Sprachspezifität

Gegen die Sprachspezifität der P600 steht vor allem die Studie von Coulson et al. (1998). Sie kamen zu dem Schluss, dass es sich bei der P600 um eine verzögerte Komponente der P3b, einer Subkomponente des P300- Komplexes handelt, der nach allgemeiner Auffassung eine sprachunspezifische Reaktion auf unerwartete aber aufgabenrelevante Reize darstellt (vergeiche Donchin, 1981; Donchin & Coles, 1988). Coulson et al. (1998) zeigten an verschiedenen Befunden, dass die Amplitude der P600 negativ korreliert ist mit der Auftretenshäufigkeit der grammatikalischen Verletzung (Coulson et al., 1998; Gunter et al., 1997; Hahne & Friederici, 1999). Diese Korrelation besteht ähnlich wie die der P300 mit der Häufigkeit des Auftretens eines nicht-sprachlichen abweichenden Stimulus.

Osterhout & Hagoort (1999) widersprechen allerdings dieser Interpretation und verweisen auf eine frühere Studie von Osterhout, McKinnon, Bersick & Corey (1996). In dieser Studie wurde das kritische Wort in Sätzen so gewählt, dass es entweder (a) die Subjekt-Verb-Kongruenz verletzte oder (b) in Großbuchstaben geschrieben war oder (c) beide Bedingungen erfüllte. Außerdem wurde die Auftretenshäufigkeit der Verletzungen variiert (20% versus 60%). Im Gegensatz zur „grammatikalischen“ Positivierung (a) wurde in der „physikalischen Bedingung“ (b) eine frühere und eher anterior verteilte Positivierung beobachtet, die auch stärker für die Häufigkeitsmanipulation anfällig war. In (c) addierten sich die Effekte von (a) und (b). Dies spricht nach Auffassung der Autoren für verschiedene neuronale Generatoren (vergleiche Osterhout & Nicol, 1999).

Zusammenfassend kann man feststellen, dass die bestehenden Theorien verschiedenen kognitiven Prozessen verschiedene Potenziale zuschreiben (N400, P600, LAN) ohne zu erklären, warum ein bestimmter Prozess in einer Negativierung oder einer Positivierung oder sogar beidem resultiert. Semantische Anomalien rufen eine N400, oft aber auch eine P600 hervor. Syntaktische Anomalien können eine LAN, eine P600 oder (wenn auch selten) eine N400 hervorrufen.

Sicherlich kann man für jeden der Befunde Erklärungsmöglichkeiten finden, im Folgenden möchte ich mich nun aber mit einer anderen Theorie auseinandersetzen und beurteilen, ob diese das nicht besser vermag.

2.3 Konnektionismus: Kortikal motivierte Netzwerkmodelle

Die Ursprünge der Modultheorie gehen auf die Arbeitshypothese zurück, das menschliche Gehirn funktioniere wie ein Computer. In den modernen Ansätzen der kognitiven Wissenschaft wird dieser Gedanke aktualisiert: Der Mensch wird als symbolverarbeitendes System beschrieben, dessen Verarbeitungsgänge als schrittweiser Ablauf von Operationen genau festgelegt sind. Eine alternative Hypothese, die der Plastizität und Spontaneität in größerem Maße Rechnung trägt ist der Konnektionismus. Anstelle von strukturierten Einheiten und Modellen werden vernetzte Elemente und parallel ablaufende Informationsverarbeitungsvorgänge postuliert. Sie bestehen aus einer großen Anzahl einfacher Einheiten oder Knoten, die miteinander vernetzt sind (Schwarz, 1996). Sie sind auf neurophysiologischer Ebene mit Neuronen, deren Dendriten und Synapsen vergleichbar, wenn nicht gleichzusetzen (Sommer, 2000).

Das Sprachverhalten wird in erster Linie als ein Verhalten gesehen, dessen Zweck erfolgreiche Kommunikation zum Verstehen und Verstanden-Werden ist (Kotchoubey, 2006).

2.3.1 Allgemeine Überlegungen

Birbaumer, Elbert, Canavan & Rockstroh (1990) stellten zu diese Theorie ein theoretisches Modell auf. Es beruht auf der Vorstellung, dass kortikale Netzwerke in der Gefahr stehen, an einer Kettenreaktion der neuronalen Exzitation zu leiden. Diese Gefahr wird erkennbar an den epileptischen Anfällen, wenn die Selbstregulationsmechanismen des Gehirns nicht mehr greifen, die Erregungen kreisen und lange Zeit nicht zur Ruhe kommen

(Braitenberg, 1978; Braitenberg, 1984; Birbaumer, 1999; Adams, Victor & Ropper, 1999). Dies wird dadurch verhindert, dass über Feedbackmechanismen die Depolarisation der Dendriten kontrolliert wird. Dieser Prozess verstärkt die negativen oder positiven Potenziale des EKPs. Das neuronale Netzwerk bildet sich im Lauf des Lebens aufgrund von Erfahrungen aus (Bear, Cooper & Ebner, 1987). Je öfter ein bestimmter Input die Synapse erreicht, desto fester wird die Verbindung.

Durch diese Feedbackmechanismen ist das Gehirn im Stande, Signale zu verstärken oder abzuschwächen indem es die Schwelle für die Aktivierung ändert (Braitenberg, 1984). Außerdem können dadurch Kontraste verstärkt werden (Beispiel: zielgerichtetes Hören) oder als „relevant“ eingestufte Informationen herausgehoben werden.

Nach Birbaumer et al. (1990) besteht das Feedback in der Kontrolle durch den Thalamus, nachdem die Signale in den Basalganglien aufbereitet wurden.

2.3.1a) Interpretation negativer Potenziale

Wenn eine Gehirnregion sich auf eine erwartete Aktivität vorbereitet, werden die oberflächlichsten apikalen Dendriten der kortikalen Neurone erregt. Dies erfolgt über eine gesteigerte Aktivität der exzitatorischen thalamo-kortikalen Bahnen. Wenn sich diese exzitatorischen postsynaptischen Potenziale von vielen simultan arbeitenden Neuronen summieren, resultieren sie in einer elektrophysiologischen Senke der Schicht I. Dadurch entsteht ein negativer Dipol und die Zunahme der Negativität auf der Kopfoberfläche wird im EEG als negative Welle aufgezeichnet (Kotchoubey, Lang, Bostanov & Birbaumer, 2002).

In vielen Versuchen konnte gezeigt werden, dass diese negativen Ausschläge zu Effekten führen, die eine weitere Verarbeitung in der entsprechenden Hirnregion erleichtern (Bauer, 1984; Bauer & Nirnberger, 1981; Birbaumer, Roberts, Lutzenberger, Rockstroh & Elbert, 1992; Elbert & Rockstroh, 1987; Rockstroh, Elbert, Lutzenberger & Birbaumer, 1982).

Diese Erleichterung wird durch das Konzept der „cortical potentiality“ (Birbaumer et al., 1990) erklärt. Dadurch wird die Menge an kortikalen Neuronen bezeichnet, deren apikale Dendriten depolarisiert wurden, die aber immer noch unter der Feuerschwelle bleiben.

Neben diesem Hauptmechanismus können noch andere Erklärungen für die Negativierung gefunden werden. Deren Auswirkung ist jedoch noch relativ unklar (Kotchoubey, 2006):

- (1) Wenn die apikalen Dendriten der Neurone aktiviert werden, die in Schicht VI liegen (und damit deren Dendriten in Schicht IV und V), resultiert das ebenfalls in einem Dipol mit einer Senke in der Mitte der Kortex, der wiederum in einer negativen Welle resultiert.
- (1) Wenn neuronale Zellverbände bis kurz unter die Feuerschwelle aktiviert werden, besteht die Gefahr der Triggerung einer vorzeitigen motorischen Aktivität, bevor die Information, die eine geordnete Ausführung ermöglichen würde, verarbeitet wurde. Diese vorzeitigen Antworten können durch inhibitorische Synapsen an den Somata der Pyramidenzelle, die die Feuerwahrscheinlichkeit reduzieren, verhindert werden. Eine solche Inhibition in der Tiefe kann ebenfalls eine Negativität an der Oberfläche hervorrufen.

2.3.1 b) Interpretation positiver Potenziale

Die Meinungen über den Ursprung der positiven Wellen sind nicht ganz so einheitlich. Eine Positivierung kann einerseits eine Hemmung der oberflächlichen neuronalen Schichten oder andererseits eine Erregung in tiefer liegenden Schichten anzeigen. Von biochemischer Seite aus gesehen können GABAerge inhibitorische Prozesse und der Zusammenhang mit positiven Potenzialen dafür sprechen, dass diese Wellen mit einer kortikalen Inhibition und letztendlich einer Herabsetzung der kortikalen Aktivität verknüpft sind. (Elbert, 1986; Lutzenberger et al., 1979; Rockstroh & Elbert, 1990).

Eine Positivierung zeigt dann eine Hemmung der entsprechenden Zellverbände an wenn aktuell kein Reiz verarbeitet und keine Antwort generiert wird. (Birbaumer, 1999). Auf elektrophysiologischer Ebene entspricht dies Depolarisationsprozessen in tiefen kortikalen Schichten. Sie reflektieren die weitere Verarbeitung des Inputs. Währenddessen wird die Erregbarkeit in dem dafür spezifischen Areal reduziert und das System damit gegen neue Impulse abgeschottet. Es kann somit auch keinen neuen Input mehr aufnehmen (Schupp, Lutzenberger, Rau & Birbaumer, 1994).

Mitzdorf (1987) machte Versuche auf biochemischer Ebene an narkotisierten Katzen, die diese Theorie der Hemmung nicht unterstützen. Allerdings kann die Theorie auch nicht abgelehnt werden, da die Unterschiede zwischen den Studien in Bezug auf Probanden, Versuchsbedingungen, Verhaltens- und pharmazeutische Faktoren, Aufnahmetechniken und anderen Gesichtspunkten zu groß sind (Kotchoubey, 2006).

Mitzdorf (1987) kritisiert, dass eine Hyperpolarisation der Zellen der Schicht I zu flüchtig für eine Summierung sei. Er vertritt vielmehr die These, dass alle Komponenten der EKPs letztendlich aus der summierten Aktivität exzitatorischer Synapsen bestehen. Er stellt dar, dass eine spezifische Information, die in einer Positivierung resultiert, zuerst die Neuronen der Schichten IV und V der Großhirnrinde aktiviert, die zu den supragranulären Neuronen projizieren. Dies führt zu einer Bipol-Umkehr, zu einer Senke der mittleren Schichten und dadurch eine Ebene darüber zu einer positive Welle im EEG (Mitzdorf, 1994).

Die beiden genannten Theorien schließen sich gegenseitig allerdings nicht aus. Wenn ein spezifischer sensorischer Input genau auf ein aktiviertes kortikales Netzwerk trifft, resultiert das in einer Inhibition der diffusen unspezifischen Bereitstellungsaktivität anderer Netzwerke. Darüber hinaus evoziert dieser spezifische Input in seinem Zielnetzwerk eine entsprechende Entladung der Pyramidenzellen. Diese Aktivität führt zu einem Dipol mit einer Senke in der

tiefen kortikalen Schicht und damit ebenfalls zu einer oberflächlichen Positivierung (Kotchoubey, 2006).

Die genaue Auswirkung der Mechanismen, die zu positiven und negativen EKP-Wellen beitragen, ist noch abklärungsbedürftig.

Die Theorie des Konnektionismus bietet jedoch Erklärungsmöglichkeiten für unterschiedliche Konstellationen von unabhängigen Faktoren, die für kortikale negative und positive Potenziale verantwortlich sind.

Neuro- und psychophysiologische EEG-Studien führen also zu folgender Schlussfolgerung führen: Negative Potenziale entsprechen einer Bereitstellung kortikaler Ressourcen für eine antizipatorische Aktivität und positive Wellen einer Ausschöpfung dieser Ressourcen bei einer aktuell stattfindenden Aktivität (Kotchoubey, 2006).

2.3.2 Interpretation der Potenziale im Rahmen der Sprachverarbeitung

Wendet man diese grundlegenden Erkenntnisse nun für die Verarbeitung von Sprache an, so ergibt sich eine andere Interpretation der am meisten beachteten Komponenten N400 und P600.

2.3.2a) Interpretation der negativen Potenziale: N400 und LAN

I. Interpretation der N400

Während aus modularistischer Sicht die N400 für semantische Verarbeitungsprozesse verantwortlich gemacht wird, reflektieren aus konnektionistischer Betrachtungsweise die negativen Potenziale – und damit sowohl die N400 als auch die LAN – Vorbereitungsphänomene, die die Mobilisierung kortikaler Ressourcen für zukünftige Aktivität darstellen.

Man kann die N400 dahingehend interpretieren, dass durch die Verletzung der Semantik ein inkongruenter Stimulus das Gehirn erreicht. Dem neuronalen Netzwerk fehlt die Information, um dieses Signal einzuordnen und zu verarbeiten, woraus eine Senkung der Schwelle als Ausdruck eines „Erwartungspotenzials“ eines weiteren Inputs resultiert .

Wenn man diese biologische Betrachtungsweise zugrunde legt, kann man davon ausgehen, dass die N400 keine allein sprachspezifische Komponente ist, wie oben schon gezeigt wurde. Die N400 wird nicht nur durch sprachliche Stimuli hervorgerufen, tritt jedoch bei sprachlichen und anderen komplexen Stimuli eher auf als bei einfach strukturierten.

Ein weiterer Vorteil dieser Theorie ist, dass die unklare Grenze zwischen Semantik und Syntax nicht gezogen werden muss, denn viele syntaktische Anomalien können zu semantischen Uneindeutigkeiten führen (Neville et al., 1991; Weckerly & Kutas, 1999; Kaan & Swaab, 2003) und die (semantische) Bedeutung der Wörter beeinflusst die EKPs auch in syntaktischen Aufgaben (Schiller, Münte, Horemans & Jansma, 2003).

Der N400 liegt ein Mechanismus des Gehirns zugrunde, um mit Problemen, die bei der Kommunikation entstehen, umzugehen. Die Herausforderung besteht darin, die unerwartete und eventuell falsche Information in den sprachlichen Kontext zu integrieren und ein Gesamtverständnis herzustellen. Für die Lösung müssen Ressourcen für weitere Aktivität bereitgestellt werden. Aber schon der Umgang mit dem aktuellen Problem benötigt einige Verarbeitungskapazität. Wie ist ein unpassendes Wort zu deuten? Es stehen verschiedene Möglichkeiten zur Verfügung, die gegeneinander abgewogen werden müssen. Ist es auf einer tieferen Ebene, eventuell als Witz oder Bild zu verstehen, als Fehler bei der Satzgenerierung oder einfach nur als Nonsense? Die unendliche Bandbreite menschlicher Kommunikation lässt noch viele andere Deutungsmöglichkeiten zu. Um Klarheit zu bekommen, braucht das Gehirn weiteren Input und stellt hierfür die Ressourcen bereit.

Auch die Versuche von Bentin et al. (1995) sind mit dieser Hypothese interpretierbar. Der Stimulus ruft nur dann eine N400 hervor, wenn er im Fokus

der Aufmerksamkeit steht. Dies spricht gegen eine Theorie von automatisch ablaufenden Modulen. Ein Reiz, der auf ein bereites System trifft, verstärkt dessen Negativierung noch weiter. Das „Unverständnis“ ist sehr viel größer, wenn sich die gesamte Aufmerksamkeit darauf richtet.

Vor diesem Hintergrund kann auch die Tatsache interpretiert werden, dass Wörter nur dann eine N400 hervorrufen, wenn sie aufgrund ihres Inhalts und nicht aufgrund ihrer Schriftgröße verarbeitet werden. Ein inhaltlicher Fehler führt zu einer Suche nach weiterer Information, um ihn deuten zu können, wohingegen eine veränderte Schriftgröße im Normalfall keine Unklarheiten hinterlässt.

II. Interpretation der LAN

Negativierungen, die frontal gelegen sind, wie auch die LAN zeigen einen starken Zusammenhang mit Gedächtnisbelastungen (siehe 2.2.2a)). Auch hier handelt es sich nicht um einfach strukturierte Probleme, die mit wenig kognitivem Aufwand zu lösen sind, sondern der Satz muss reanalysiert und eventuell umgestellt werden, verschiedene Betrachtungsmöglichkeiten müssen gegeneinander abgewogen werden. Auch diese Negativierung ist nicht nur Syntax-spezifisch. Sie tritt auch bei Gedächtnisbelastungen auf, bei denen Sätze ohne semantische oder syntaktische Verletzungen verwendet wurden (Rösler, Heil & Glowalla, 1993b, Heil, Rösler & Henninghausen, 1996).

Das Sprachverhalten verursacht die gleichen Prozesse der Verhaltenskontrolle: antizipatorische Abstimmung und Wegbereitung in sensorimotorischen Koordinationszentren (-> Negativierung) und anschließend resultierendes Verhalten in Anbetracht der aktuellen Situation (-> Positivierung).

2.3.2b) Interpretation der positiven Potenziale: P600

Die P600 wird (mit der LAN) als Modul der Syntax betrachtet. Im Gegensatz zum modultheoretischen Ansatz, der die P600 als Reanalyse- beziehungsweise Reparaturprozess deutet (Friederici, 1995; Friederici, 1999), legt das Modell der Netzwerke die Deutung nahe, dass eben *keine* weitere Interpretation des offensichtlichen Fehlers erfolgen muss und somit auch nicht nach weiterer Information verlangt wird. Es müssen nicht in hohem Maße Ressourcen bereitgestellt werden, weil der Fehler schnell und einfach durch die einzig richtige Lösung repariert werden kann. Was die Information angeht ist die Situation abgeschlossen.

Dies ist in der alltäglichen Erfahrung mit Sprache nachvollziehbar, beispielsweise in einem Gespräch mit einem Nicht-Muttersprachler, der viele grammatikalische Fehler macht: Diese werden nach kurzer Zeit nicht mehr als sonderlich störend empfunden, solange die Nachricht inhaltlich problemlos verstanden wird. Wenn syntaktische Formen dagegen an Komplexität zunehmen oder eine unerwartete, überraschende Form auftaucht, findet man auch eine Negativierung.

Beispiel (Osterhout & Holcomb, 1992):

„The scientist convinced *by* his opponent accepted the error”.

Dem Leser wird mit dem „by“ klar, dass die bevorzugte aktive Form des Verbes im Past Tense („The scientist convinced *somebody*”) falsch ist und durch die passive Konstruktion ersetzt werden muss.

Osterhout, Holcomb & Swinney (1994) fanden auch eine P600 nach dem letzten Wort in Sätzen wie:

„The lawyer charged the defendant *was* lying.”

„The doctor forced the patient *was* lying.”

In diesen Beispielen löst das letzte Wort die Ungewissheit auf, die durch „was“ entstanden war, das dem erwarteten Sinn des Satzes widersprach (zum Beispiel: „The doctor forced the patient *to do something*”). „Was“ rief eine N400 hervor (Osterhout et al., 1994) als Indikator für die steigende Ungewissheit. Mit dem letzten Wort wird Gewissheit erreicht und es wird eine P600 gemessen.

Bei Kommunikation besteht das letztendliche Ziel darin, das Gegenüber zu verstehen. Wenn der Inhalt der Nachricht nicht eindeutig oder unsicher ist, wird ein Modell für das, was wahrscheinlich ausgedrückt werden sollte, erstellt. Um Gewissheit zu erlangen ist aber weitere Information nötig und so werden die neuronalen Netze für weitere Information vorbereitet. Dies resultiert in negativen Wellen, wie sie bei der N400 und der LAN vorliegen.

Im Gegensatz dazu führt das endliche Erlangen der Schlüsselinformation zur Komplettierung und Lösung oder eventuellen Korrektur des aktuellen Modells und zu einer Positivierung wie der P600.

Auf diese Weise verstanden, spiegeln die EKP-Komponenten nicht die Aktivität spezialisierter Module wie Syntax oder Semantik wider, sondern zeigen Sprache als Aktivität des Gehirns, die Verhaltensregeln folgt und letztendlich Verhalten ist.

2.4 Allgemeine Prinzipien: N400 und Automatic Spreading Activation

Eine Grundannahme zur Theorie menschlicher Informationsverarbeitung, die im Allgemeinen sowohl innerhalb der linguistischen als auch der neurophysiologischen Theorie anerkannt wird, postuliert eine automatische Aktivierungsausbreitung innerhalb eines assoziativ organisierten Gedächtnisnetzwerkes (Anderson, 1983).

In einem solchen Netzwerk repräsentiert jeder Knoten ein Wortkonzept, das heißt die von einem konkreten Wort abstrahierte Bedeutung. Assoziationen zwischen Konzepten werden als Kanten in diesem Netzwerk verstanden. Die Stärke einer Assoziation wird bedingt durch Variablen wie Häufigkeit der Benutzung, Alter der letzten Benutzung usw. Beim Lesen eines Wortes (oder auch bei einem Gedanken) wird das entsprechende Konzept aktiviert. Entsprechend der oben genannten Grundannahme wird nun davon ausgegangen, dass sich die Konzeptaktivierung entlang der Kanten zu assoziierten Konzepten ausbreitet (Heil, Rolke & Pecchinenda, 2004).

Beispiel: „Hund – Katze“

Bevor in der Redewendung „Die beiden sind wie Hund und Katze“ das Wort Katze gelesen wird, ist es schon voraktiviert.

Wenn nun davon ausgegangen wird, dass dieser Prozess der Aktivierungsausbreitung innerhalb eines assoziativ organisierten Gedächtnisnetzwerkes als ein automatischer zu verstehen ist, müssen folgende Kriterien erfüllt sein (Heil et al., 2004):

- (1) Ein automatischer Prozess sollte ohne Bewusstsein ablaufen können.
- (2) Er sollte ohne Aufmerksamkeitszuwendung ablaufen können.
- (3) Er sollte schließlich nicht unterdrückbar sein.

Werden kurz nacheinander zwei Wörter dargeboten, so zeigt sich ein deutlicher Verarbeitungsvorteil des zweiten Wortes (der so genannten Probe), falls dieses mit dem ersten Wort (dem so genannten Prime) assoziiert ist (Neely & Kahan, 2001).

Je semantisch unähnlicher das Wort zu einem zuvor dargebotenen Wort ist, desto negativer ist die N400. Das heißt, folgt „Katze“ auf „Beil“, findet sich eine Negativierung im Vergleich zu „Katze“ nach „Hund“; das Potenzial ist am positivsten, wenn „Katze“ auf „Katze“ folgt. Das Ausmaß der semantischen Bahnung bildet sich also als inverse Funktion der Negativierung des EKP ab, das von physikalisch identischen Wörtern ausgelöst wird

(1) Semantische Bahnung ohne Bewusstsein

Um die Frage der semantischen Bahnung ohne Bewusstsein zu untersuchen, nutzten Heil et al. (2004) die experimentelle Anordnung des *attentional blink* aus, bei der viele verschiedene Wörter (einzeln und sehr schnell nacheinander) immer auf derselben Stelle eines Computerbildschirms präsentiert werden. Bei entsprechend schneller Darbietung können zwei aufeinander folgende Wörter identifiziert werden, wenn sie in einem hinreichenden zeitlichen Abstand präsentiert werden. Folgen sie aber relativ schnell aufeinander, so ist die Identifikation des zweiten Wortes nur in etwa der Hälfte der Fälle möglich.

Offenbar benötigt das System eine gewisse Verarbeitungszeit pro Wort, und während dieser Zeitspanne kann ein weiteres Wort nicht hinreichend gut erkannt werden (Rolke, Heil, Streb & Hennighausen, 2001).

Das N400-Potenzial als Funktion der semantischen Nähe des zweiten Zielwortes fand sich jedoch auch dann, wenn Probanden dieses nicht bewusst wahrgenommen hatten. Das bedeutet, dass die Aktivierung im Gedächtnisnetzwerk sich auch dann von „Hund“ zu „Katze“ ausbreitet, wenn Probanden „Hund“ überhaupt nicht bewusst wahrgenommen hatten. Somit kann das erste Kriterium der Automtizität der Aktivierungsausbreitung als gegeben angesehen werden (Heil et al., 2004).

(2) Semantische Bahnung ohne Aufmerksamkeitszuwendung

Neben der fehlenden Bewusstheit fordert die experimentelle Psychologie von einem kognitiven Prozess, dass er auch ohne Aufmerksamkeitszuwendung abläuft, um ihn als automatisch einzustufen.

Wenn Probanden die Aufgabe bekommen, Wörter nicht anhand des Inhalts sondern anhand anderer Merkmale wie Farbe, Größe, einzelnee Buchstaben zu beurteilen, sind die Reaktionszeiten semantisch relatierter Wörter kürzer, egal ob das erste Wort ein Zielwort war oder nicht.

In den EKPs finden sich ähnliche Ergebnisse wie oben, unabhängig vom physikalischen Erscheinungsbild des vorausgehenden Wortes. Da sich die hirnelektrischen Potenziale der N400 unterscheiden, stellt dies einen starken Beleg für die Annahme dar, dass semantische Bahnung auch ohne Aufmerksamkeitszuwendung ausgelöst werden kann (Heil et al., 2004).

(3) Nicht unterdrückbare semantische Bahnung

Als dritter Aspekt eines automatischen kognitiven Prozesses zeigt sich, dass er nicht unterdrückbar ist; das heißt, er läuft auch dann ab, wenn er nicht der Intention der Probanden entspricht. Ein bekanntes Beispiel stellt das Stroop-Paradigma dar, bei dem Farbwörter wie zum Beispiel „gelb“ oder „blau“ in unterschiedlicher Schriftfarbe dargeboten werden mit der Instruktion, die

Bedeutung der Wörter zu ignorieren, aber die Farbe zu benennen. Hier zeigen sich klare Befunde, dass auch nach intensiver Übung die Verarbeitung des Farbwortes nicht erfolgreich unterdrückt werden kann (MacLeod, 1991).

Um zu untersuchen, ob semantische Bahnung unterdrückbar ist, wurde in letzter Zeit das so genannte *letter search*-Paradigma eingesetzt. Hierbei wird über dem Primewort³ ein Buchstabe präsentiert, und die Aufgabe der Probanden besteht darin, zu entscheiden, ob der Buchstabe in dem Primewort vorkommt oder nicht. Darauf folgt das Probenwort, von dem eine lexikalische Entscheidung gefordert ist. Prime- und Probenwort können nun identisch, semantisch assoziiert oder nicht assoziiert sein.

Im EEG ist die Amplitude der N400 im nicht assoziierten Fall („Katze“ erkennen, wenn zuvor im Wort „Flur“ der Buchstabe „U“ gesucht war) deutlich größer als im semantisch assoziierten Fall („Katze“ erkennen, wenn zuvor im Wort „Hund“ der Buchstabe „U“ gesucht war).

Semantische Bahnung, operationalisiert mittels der N400-Komponente im EEG, findet sich sowohl bei Abwesenheit von Bewusstheit als auch bei Abwesenheit von Aufmerksamkeit und lässt sich schließlich auch nicht unterdrücken.

Diese Erkenntnisse der Automatic Spreading Activation bieten interessante Deutungsmöglichkeiten für die ereigniskorellierten Potenziale und zur Einordnung der Befunde in ein Gesamtkonzept. Sie stellen eine Verbindung der beiden oben vorgestellten Theorien dar:

Im Rahmen der Modultheorie, vor deren Hintergrund obige Versuche dargestellt wurden, wird die N400 als Zeichen der semantischen Bahnung und so als Indikator für die Intensität des Zugriffs auf das Lexikon gesehen. Weniger Kapazität muss aufgewendet werden, wenn durch den Kontext das gesuchte Wort schon voraktiviert ist.

Vor dem Hintergrund der Theorie der neuronalen Netze werden lexikalische Einheiten, die zu einem Netzwerk gehören, mitaktiviert, wenn nur eine Komponente aktiviert ist und diese Aktivierung nimmt ab, je weiter die

³ Zwei Wörter werden nacheinander dargeboten. Das erste wird als "Prime" bezeichnet, das zweite als "Probe".

Knotenpunkte voneinander entfernt sind. Ausgehend von der Erkenntnis, dass Verbindungen zwischen Neuronen enger geknüpft werden, je häufiger die entsprechende Synapse aktiviert wird (Bear et al., 1987), kann man hier auch ein anatomisches Korrelat finden.

3. Zusammenfassung und Fragestellung

Aufgrund der bisherigen Forschungsergebnisse sind beide Hypothesen als Ursache der elektrophysiologischen Ergebnisse möglich. Das Hauptproblem besteht darin, dass eine linguistische Verletzung eng mit einer physiologischen Korrelation verknüpft ist.

Es ist eine Eigenart von semantischen Verletzungen, die eine N400 hervorrufen, dass sie Verwirrung stiften und das System nach einer Erklärungsmöglichkeit – sprich weiterer semantischer Information – verlangt. Deswegen wird die Schwelle gesenkt, was in einer Negativierung resultiert. Semantik und Unsicherheit sind also eng verknüpft.

Ähnliches gilt für die P600, für die auf der einen Seite eine Syntaxspezifität postuliert wird, auf der anderen Seite jedoch durch den eindeutig falschen Input die Neurone das Signal ohne Probleme verarbeiten können, was ebenfalls eine Positivierung auslöst. Somit sind syntaktische Verletzungen immer mit einer hohen Sicherheit verbunden.

Die bisherigen Ergebnisse können folglich für beide Theorien die Grundlage bilden.

Fragestellung meiner Forschungsarbeit ist es, die verschiedenen Prinzipien Syntax/Semantik versus Sicherheit/Unsicherheit zu trennen (siehe Tabelle 1).

Mit einer solchen Versuchsanordnung, die semantische Verletzungen mit einer hohen Sicherheit verknüpft und im Gegensatz dazu syntaktische Verletzungen mit einer hohen Unsicherheit, sollte es möglich sein, die Ergebnisse nur einer der beiden Theorien zuordnen zu können.

Wenn semantische, aber eindeutige Fehler mit einer Negativierung einhergehen, würde das für die Theorie des Modularismus sprechen. Wenn dagegen eine Positivierung eintritt, unterstützt das den Konnektionismus.

Eine syntaktische, aber mehrdeutige Versuchsanordnung würde dagegen dann den Modularismus unterstützen, wenn eine Positivierung eintritt. Die Theorie des Konnektionismus würde eine Negativierung erwarten.

Mit dieser Überkreuzung der Bedingungen bietet sich somit die Möglichkeit, ein besseres Verständnis der Arbeitsweise und Funktion der Sprachverarbeitung des menschlichen Gehirns zu gewinnen.

Tabelle 1: Darstellung der erwarteten Ergebnisse nach modularistischer (mod) bzw. konnektionistischer (kon) Theorie. Dabei stellen die semantisch mehrdeutigen und syntaktisch eindeutigen Bedingungen die üblicherweise in der Forschung verwendeten Versuchsbedingungen dar, die allerdings nicht zwischen den beiden Theorien zu unterscheiden vermögen. (N = Negativierung, P = Positivierung)

		Entropie			
		<i>eindeutig</i>		<i>mehrdeutig</i>	
Semiotik	<i>semantisch</i>	mod: N	<i>semantisch</i>	mod: N	<i>semantisch</i>
		kon: P	<i>eindeutig</i>	kon: N	<i>mehrdeutig</i>
	<i>syntaktisch</i>	mod: P	<i>syntaktisch</i>	mod: P	<i>syntaktisch</i>
		kon: P	<i>eindeutig</i>	kon: N	<i>mehrdeutig</i>

II. METHODEN

Alle im Rahmen dieser Arbeit analysierten Daten wurden im EEG-Labor des Institutes für Medizinische Psychologie an der Eberhard-Karls-Universität Tübingen erhoben.⁴

I. HAUPTUNTERSUCHUNG

1. Voruntersuchung zur Hauptuntersuchung

1.1 Zusammensetzung der Stichprobe:

An der Voruntersuchung nahmen 21 Probanden teil, von denen 9 weiblich, im Alter von 19 bis 48 Jahren waren und ein Durchschnittsalter von 28,2 Jahren besaßen.

Voraussetzung zur Teilnahme an der Voruntersuchung waren ein Lebenslauf mit durchgängig in Deutsch abgehaltenem Schulunterricht und deutschem Schulabschluss sowie das fehlen neurologischer oder psychiatrischer Beeinträchtigungen.

Die Probanden wurden mit 8 €/Stunde vergütet oder nahmen ohne Aufwandsentschädigung an der Studie teil.

Durchschnittlich benötigten sie etwa 80 Minuten für die Bewertung beider Fragebögen.

4 In den Fällen, wo sich dies anders verhält, wird es explizit erwähnt.

1.2 Reizmaterial

A) Bedingung: semantisch eindeutig inkongruent

Wie bereits in der Einleitung beschrieben, bestand eine Herausforderung in der Erstellung des Reizmaterials.

Einerseits sollten Sätze mit einer semantischen Verletzung auf dem letzten Wort erstellt werden, deren Schlüsselwort eindeutig inkongruent war, wobei dennoch die kongruente Bedeutung des Satzes feststehen musste und daher nicht schwierig zu rekonstruieren sein durfte. Wir erhofften diesen semantisch eindeutigen Effekt von Sprichwörtern und Redewendungen, deren Endwort ausgetauscht wurde. Da diese aber häufig auf Worte enden, die in der Alltagssprache nicht allzu gebräuchlich sind, bildeten wir Sprichwortpaare, die mit einem grammatisch kongruentem Wort enden (in Genus, Numerus, Deklination/Konjugation, Tempus, Wortart). Die Endworte tauschten wir jeweils aus.

Beispiel: Einem geschenkten Gaul schaut man nicht ins *Maul*.

Ein blindes Huhn findet auch einmal ein *Korn*.

wird zu

Einem geschenkten Gaul schaut man nicht ins *Korn*.

Ein blindes Huhn findet auch einmal ein *Maul*.

In der Hauptuntersuchung sollte dann das eine Sprichwort in seiner kongruenten Form auftreten und das andere das Endwort des gepaarten Satzes aufweisen, so dass jeweils zwei Sätze (ein kongruenter und ein inkongruenter) mit dem gleichen Wort endeten. Ziel der Voruntersuchung war es, die Bekanntheit und Vertrautheit der Sprichwörter und einzelnen Schlüsselworte in der deutschen Bevölkerung zu evaluieren.

Insgesamt ließen wir 168 Sprichwörter durch die Probanden bewerten.

B) Bedingung: syntaktisch mehrdeutig inkongruent

Auch die ungewöhnliche Bedingung der syntaktischen Mehrdeutigkeit ließen wir erst von den Probanden evaluieren, bevor sie zur Hauptuntersuchung zugelassen wurden.

An die grammatikalisch inkongruenten, semantisch aber eindeutigen Sätze stellten wir den Anspruch, dass sie anhand des letzten Wortes auf mehrere Arten kongruent interpretiert werden konnten, diese Interpretationen sich aber lediglich in der Form (das heißt syntaktisch), nicht im Inhalt (das heißt semantisch) unterschieden. Eine der Voraussetzungen sollte auch sein, dass die verschiedenen Interpretationsmöglichkeiten dem Probanden gleich wahrscheinlich erschienen und ihm ungefähr gleich schnell einfielen.

Beispiel:

Zur Hochzeit wird groß Fest.

Interpretationsmöglichkeiten:

- a) Zur Hochzeit wird groß gefeiert.
- b) Zur Hochzeit gibt es ein großes Fest.

Mit der Voruntersuchung verfolgten wir das Ziel, die grammatikalisch mehrdeutigen Sätze herauszusieben, die wirklich den oben genannten Bedingungen entsprachen.

Insgesamt ließen wir 78 Sätze bewerten.

1.3 Versuchsbedingungen/ -ablauf

Die Probanden lösten nach der Aufklärung über den Versuchsablauf die Aufgaben an einem ruhigen Ort (Bibliothek) und ohne Zeitdruck.

A) Die Probanden bekamen die Aufgabe, bei jedem einzelnen der Sprichwörter

1. zu bewerten, wie gut das letzte Wort in den Satz passt
(1= *passt ganz genau*; 6 = *absolut unmöglich*)
2. das – ihrer Meinung nach – kongruente Endwort anzugeben
3. das eigene Endwort zu bewerten
(1= *passt ganz genau*; 6 = *absolut unmöglich*).

B) Bei den grammatikalisch mehrdeutigen Sätzen sollten die Probanden

1. den Satz in zwei Varianten umformulieren
2. für jeden eigenen Satz einschätzen, wie schwer es ihnen gefallen ist, die jeweilige Lösung zu finden
(0 = sehr leicht; 3 = sehr schwer).

1.4 Datenanalyse/Ergebnisse

zu A)

Für jeden Satz wurde

1. das arithmetische Mittel der Bewertung der Passung des letzten Wortes und damit die semantische Unmöglichkeit des Reizwortes
2. die Anzahl der kongruenten Antworten in Prozent und dadurch die Bekanntheit der Sprichwörter
3. das arithmetische Mittel der Bewertung der Passung des eigenen letzten Wortes und damit die allgemeine semantische Bewertung des Sprichwortes

erhoben.

Die Satzpaare mussten folgende Kriterien erfüllen, um zu den Hauptversuchen zugelassen zu werden:

1. Das letzte Wort musste mit durchschnittlich mindestens 4,0 Punkten (auf der oben genannte Skala von 1, das heißt „passt ganz genau“ bis 6, das heißt „absolut unmöglich“ bedacht sein.
2. Das Reizwort musste in mindestens 80% der Fälle bekannt sein.
3. Das eigene Wort durfte nicht mehr als 2,0 Punkte auf der oben genannten Skala erreichen.

Weil einige inkongruente Sätze trotz der dazu erhobenen Daten rein wörtlich möglich waren (wenn auch als Sprichwort falsch), wurden außerdem noch einige Sätze gestrichen⁵.

⁵ siehe Anhang 1.1: Satz Nummer 31, 116, 117, 127, 130, 139, 143, 157, 165.

Die verbleibenden einzelnen Sprichwörter, deren Partner die Kriterien nicht erfüllte, wurden in die Hauptuntersuchung übernommen, wenn

1. das letzte Wort durchschnittlich mindestens 5 Punkte bekam,
2. das Reizwort in mindestens 90% der Fälle bekannt war und
3. das eigene Wort weniger als 2 Punkte bekam.

Von diesen Sprichwörtern wählten wir noch 15 weitere aus.

Letztendlich erreichten die Sprichwörter durchschnittlich folgende Parameter:

Tabelle 2: Qualität der in den Hauptversuchen verwendeten Sprichwörter

	Passung des Reizwortes	Bekanntheit	Passung des eigenen Wortes
Mittelwerte	5,42	97,15 %	1,36

Zu B)

Für jeden Satz wurde

1. der Anteil der Probanden, die zwei kongruente Formen fanden, in Prozent,
2. der Anteil der Probanden, bei denen die beiden Formen *semantisch* gleich waren, in Prozent⁶ und
3. die Differenz der Bewertung der Schwierigkeit, den jeweiligen Satz zu finden (dabei wurde der Fall, dass ein Satz nicht gefunden wurde, mit der Schwierigkeitsstufe –1 bewertet).

erhoben.

Die Sätze mussten folgende Kriterien erfüllen, um zu den Hauptversuchen zugelassen zu werden:

1. In mindestens 90% der Fälle mussten zwei Formen genannt sein.
2. Mehr als 65% dieser Formen mussten semantisch gleich sein.
3. Die Differenz der bewerteten Schwierigkeit, die beiden Sätze zu finden, durfte 0,95 Punkte nicht überschreiten.⁷

⁶ In schwierigen Fällen zog ich einen Studenten der Literaturwissenschaften zu Hilfe.

⁷ Es gab Ausnahmen von obigen Kriterien:

Letztendlich erreichten die syntaktisch mehrdeutigen Sätze durchschnittlich folgende Werte:

Tabelle 3: Qualität der in den Hauptversuchen verwendeten syntaktisch mehrdeutigen Sätze

	zwei Formen gefunden	semantisch gleich	Differenz der Schwierigkeit
Mittelwerte	97,54%	97,19%	0,52

2. Hauptuntersuchung

2.1 Zusammensetzung der Stichprobe

An der Hauptuntersuchung nahmen 19 gesunde Probanden teil, davon 11 weibliche. Zwei männliche Probanden brachen den Test ab, der eine wegen Kopfschmerzen, der andere wegen plötzlichen Zeitmangels (c.coo und d.fer).

Die 17 Probanden, deren Daten verwertet werden konnten, waren zwischen 21 und 34 und durchschnittlich 24,3 Jahre alt.

Voraussetzung zur Teilnahme an der Studie waren Deutsch als Muttersprache, Rechtshändigkeit sowie das Fehlen neurologischer bzw. psychiatrischer Beeinträchtigungen. Alle Probanden wiesen, eventuell nach Korrektur durch Brille oder Kontaktlinsen, volle Sehschärfe auf.

Die Probanden erhielten eine Aufwandsentschädigung von 8 €/Stunde.

Satz Nr. 4 wurde geändert in: „Sie erzählte die Geschichte traurige“ und damit zugelassen.
Satz Nr. 72 wurde aufgrund der Länge gestrichen.

2.2 Reizmaterial

Das Reizmaterial bestand aus überschaubaren deutschen Sätzen, die bis auf das letzte Wort grammatikalisch und semantisch korrekt waren und aus der Alltagssprache stammten.

Das Reizwort führte den Satz nicht passend fort, sondern verletzte entweder die Semantik oder die Syntax, wobei es entweder ein- oder mehrdeutig zu interpretieren war.

Zu jedem Reizwort wurde außerdem ein wohlgeformter Satz gebildet, damit sich beim Vergleichen von kongruenten und inkongruenten Sätzen keine Effekte aufgrund unterschiedlicher Wortfrequenz einschleichen.

Die 4 Gruppen setzten sich folgendermaßen zusammen:

A) semantisch mehrdeutig

Die semantisch mehrdeutigen Verletzungen folgten auf einen Satz, der relativ offen blieb und mit vielen verschiedenen Wörtern zu Ende geführt werden konnte, nur eben sicherlich nicht mit dem Wort, mit dem er endete. Ich beschränkte mich dabei hauptsächlich auf Substantive, Verben und Partizipien.⁸

Beispiele:

Abends sitzt er am Kamin mit einem *Grab*.

Das Wasser ist kalt und *geschnürt*.

Du solltest mal wieder den Rasen *tragen*.

⁸ Siehe Anhang 2.1a).

Entsprechend dazu formulierte ich kongruente Sätze, die auf das gleiche Wort endeten.⁹

Beispiele:

Trauernd standen die Angehörigen um das *Grab*.

Sie hatte ihr Korsett viel zu eng *geschnürt*.

Du solltest lieber festes Schuhwerk *tragen*.

Insgesamt brachte ich 64 solcher Satzpaare in die Untersuchung ein.

B) semantisch eindeutig

In der semantisch eindeutigen Bedingung erstellte ich Sätze, deren letztes Wort eindeutig inkongruent war, wobei dennoch die kongruente Bedeutung des Satzes feststand. Dafür bediente ich mich bekannter Sprichwörter und Redewendungen, deren letztes Wort ausgetauscht wurde. Um dem Effekt der in vielen Fällen nicht sehr gebräuchlichen Wörter und einem eventuellen Effekt aufgrund der besonderen literarischen Klasse vorzubeugen, paarte ich jeweils zwei Sprichwörter, die im letzten Wort den gleichen Genus, Numerus, Deklination/Konjugation, Tempus und dieselbe Wortart aufweisen. Insgesamt erhielt ich 38 Sprichwortpaare. Die Sprichwörter wurden in der Voruntersuchung evaluiert.

In einem ersten Durchlauf endeten beide Sätze mit dem Schlüsselwort des ersten Partners – das erste Sprichwort war folglich kongruent, das zweite inkongruent. Im zweiten Durchlauf endeten beide Sätze auf das Schlüsselwort des zweiten Partners. Dadurch war nun das erste Sprichwort inkongruent, das zweite aber kongruent (siehe auch das Kapitel Voruntersuchungen).¹⁰

⁹ Siehe Anhang 2.1b).

¹⁰ Siehe Anhang 2.2a).

Beispiele:

Einem geschenkten Gaul schaut man nicht ins *Korn*.

Ein blindes Huhn findet auch mal ein *Maul*.

Außerdem fand ich 16 Paare, bei denen der eine Partner das Wort des anderen annahm, aber nicht umgekehrt. Diese stellte ich an das Ende des ersten Durchlaufs und an den Anfang des zweiten Durchlaufs, um den Abstand zwischen gleichen Endwörtern zusätzlich zu vergrößern und dadurch den Erinnerungseffekt möglichst klein zu halten.¹¹

Beispiele:

Der Apfel fällt nicht weit vom *Sommer*.

Hochmut kommt vor dem *Magen*.

Ohne Fleiß kein *Anfang*.

C) syntaktisch eindeutig

Die syntaktisch eindeutigen Verletzungen beruhen auf dem falschen Genus oder Numerus beziehungsweise der falschen Deklination eines semantisch passenden Substantivs.¹²

Beispiele:

Vor Müdigkeit übersieht er den grünen *Ampel*.

Er stiehlt einen Keks aus der *Dosen*.

Sie setzt sich bibbernd in die Nähe des *Feuer*.

Entsprechend dazu formulierte ich auch 64 kongruente Sätze, die auf das gleiche Wort endeten.¹³

11 Siehe Anhang 2.2b).

12 Siehe Anhang 2.3a).

13 Siehe Anhang 2.3b).

D) syntaktisch mehrdeutig

Bei dieser Bedingung beruhte der Reiz auf einer syntaktischen Verletzung, das heißt, es war klar, welche semantische Bedeutung das Wort im Satz haben sollte. Allerdings sollten gleichzeitig mehrere syntaktisch gleichberechtigte Interpretationsmöglichkeiten nebeneinanderstehen. Die Interpretationsmöglichkeiten sollten sich also von der Form her (=syntaktisch), nicht aber vom Inhalt her (=semantisch) unterscheiden. Nachdem durch die Voruntersuchung 62 Sätze ausgewählt wurden waren, wurden diese den Probanden präsentiert sowie auch 62 kongruente Sätze mit demselben Endwort.¹⁴

Beispiele:

Er singt Lieder beim Schlaf.

Er spielt mit leidenschaftlich.

Sie leidet sehr, weil sie Krankheit.

2.3 Versuchsbedingungen

Die Reizwörter und die entsprechenden Kontrollsätze wurden in 5 Gruppen unterteilt:

- (1) semantisch mehrdeutige Fehler,
- (2) syntaktisch eindeutige Fehler,
- (3) syntaktisch mehrdeutige Fehler,
- (4) semantische eindeutige Fehler: Sprichwörter I und
- (5) semantische eindeutige Fehler: Sprichwörter II.

Anschließend wurden sie pseudorandomisiert (maximal 3 kongruente bzw. 3 inkongruente Sätze hintereinander) mit Hilfe des Zufallsgenerators für Sequenzen auf <http://www.random.org>.

¹⁴ Siehe Anhang 2.4a) und Anhang 2.4b).

Die Aufmerksamkeit der Probanden wurde dadurch gesichert, dass ihnen bei (1) und (3) nach einer bestimmten Anzahl von Sätzen zum letzten präsentierten Satz eine einfache Frage zum jeweiligen Inhalt gestellt wurde, die sich nicht auf das letzte, kritische Wort bezog. Eine Frage wurde auch jeweils schon in der Übungsphase gestellt.¹⁵

Bei (2), (4) und (5) mussten die Probanden möglichst schnell nach Erscheinen des letzten Wortes, welches durch ein Satzschlusszeichen gekennzeichnet war, entscheiden, ob der Satz kongruent oder inkongruent war, und eine entsprechende Taste drücken.

Die zwei verschiedenen Aufgaben (eindeutig/mehrdeutig beziehungsweise Tastendruck/inhaltliche Verarbeitung) wurden aufgrund der folgenden Überlegung gewählt: Aus Sicht des modularistischen Modells kann über mögliche Effekte dieser Aufgaben keine Vorhersage formuliert werden; am wahrscheinlichsten sollten ihre Effekte ähnlich sein. Aus Sicht des konnektionistischen Modells musste dagegen die Instruktion, den Inhalt der Sätze zu verstehen, aktive Informationsverarbeitungsstrategien fördern und daher zu einer EKP-Negativierung führen, während die Instruktion, so schnell wie möglich kongruente von inkongruenten Sätzen zu unterscheiden, solche aktiven Strategien negativ beeinflusst und daher zu einer EKP-Positivierung führen sollte (siehe Kotchoubey 2006). Mit anderen Worten: Falls das modularistische Modell zugrunde liegt, erwarten wir keinen speziellen Effekt der unterschiedlichen Anweisungen; nimmt man aber das konnektionistische Modell an, würden die Effekte des unterschiedlichen Satzmaterials durch die Anweisungen zusätzlich verstärkt werden.

Die Probanden wurden in 4 Gruppen mit jeweils vier bzw. 5 Probanden eingeteilt. Diese unterschieden sich dahingehend, dass entweder zuerst die semantischen oder die syntaktischen Bedingungen abgefragt wurden beziehungsweise die rechte oder die linke Taste für kongruente beziehungsweise inkongruente Sätze gedrückt werden sollte:

¹⁵ Bei (1) tauchten diese 4 Fragen nach dem 6., 47., 58. und 116. Satz auf, bei (3) nach dem 16., 64., 70. und 114. Satz.

Tabelle 5: Übersicht über die teilnehmenden Probanden und deren Daten (w=weiblich, m=männlich), außerdem über die Zuordnung der Tasten zu kongruenten/inkongruenten Bedingungen und die Reihenfolge der Bedingungen:

1=semantisch mehrdeutig; 2=syntaktisch eindeutig; 3=syntaktisch mehrdeutig; 4 und 5=semantisch eindeutig (= Sprichwörter)

[c.coo] und [d.fer]: Diese zwei Probanden brachen den Test ab, der eine wegen Kopfschmerzen, der andere wegen plötzlichen Zeitmangels

Name	Geschlecht	Alter	Händigkeit	Nation	Reihenfolge				
Gruppe 1									
Linke Taste=kongruent									
[d.fer	m	-	r	D	(4)	2	5	-]
m.sta	w	21a	r	D	4	2	5	1	3
s.woe	w	24a	r	D	4	2	5	1	3
o.lec	w	28a	r	D	4	2	5	1	3
j.plo	m	29a	r	D	4	2	5	1	3
Gruppe 2									
Rechte Taste=kongruent									
e.han	m	34a	r	D	4	2	5	1	3
c.mue	w	22a	r	D	4	2	5	1	3
[c.coo	m	24a	r	D	4	2	5	1	3]
p.kle	m	22a	r	D	4	2	5	1	3
b.hem	w	22a	r	D	4	2	5	1	3
Gruppe 3									
Linke Taste=kongruent									
m.bue	w	23a	r	D	1	3	4	2	5
w.sil	w	31a	r	D	1	3	4	2	5
i.hei	w	21a	r	D	1	3	4	2	5
c.rog	m	26a	r	D	1	3	4	2	5
t.sta	w	21a	r	D	1	3	4	2	5
Gruppe 4									
rechte Taste=kongruent									
a.kov	m	26a	r	D	1	3	4	2	5
m.roe	m	22a	r	D	1	3	4	2	5
d.zah	w	21a	r	D	1	3	4	2	5
s.bre	w	21a	r	D	1	3	4	2	5

2.4 Versuchsablauf:

2.4.1 Programme und Apparate

Die Probanden saßen in einem elektrisch¹⁶ und akustisch abgeschirmten Raum in einem bequemen Lehnstuhl. Der Abstand zum Bildschirm und den Lautsprechern betrug etwa 1,20 Meter. Die Probanden wurden über den Versuchsablauf sowie die Messmethode informiert, ohne dass jedoch auf die Bedeutung der Ergebnisse eingegangen wurde. Eventuelle Fragen wurden geklärt, danach wurde ein 21-Kanal-EEG abgeleitet.

Das Anbringen der Klebeelektroden erfolgte nach vorheriger lokaler Hautentfettung mit Elektrodenpaste, die Elektroden wurden mit Elektroden-Gel gefüllt. Die Referenzelektrode wurde auf der Nasenspitze angeklebt, die Elektroden für das Elektrokulogramm (EOG)¹⁷ lateral an beiden Augen sowie über und unter dem rechten Auge.

Die 10-20-System Elektrodenkappe mit Zinn-Elektroden wurde nach Ausmessung der Nasion-Inion-Strecke und des Ohr-Ohr-Abstands an die korrekte Position gebracht und mittels eines Brustgurtes fixiert. Der Widerstand zu Kopfhaut wurde mit *ELECTRO-GEL™* von *Electro-Cap International Inc.* (Eaton, Ohio) verringert.

Der Widerstand zwischen Elektroden und Kopfhaut wurde auf einen Wert kleiner als 5 kOhm reduziert. Im Anschluss daran wurde die Qualität der EEG- und der EOG- Signale am Aufnahmerechner kontrolliert.

Zur Geringhaltung von Muskel- und Augenartefakten wurden die Versuchspersonen gebeten, sich während des Versuchsablaufes möglichst wenig zu bewegen und häufiges Blinzeln möglichst zu vermeiden.

In jede Hand bekamen die Probanden eine Taste. Mit dieser wurde das Präsentationsprogramm gestartet, und bei einigen Versuchen erfolgte die Reaktion durch Tastendruck. Kurz vor Versuchsbeginn wurde der Raum abgedunkelt.

¹⁶ Bildschirm, Lautsprecher und EEG-Verstärker befanden sich im EEG-Labor, der Präsentations- und der Aufnahmerechner befanden sich in einem anderen Raum.

¹⁷ zur Erfassung der Augen- und Blinzelnbewegungen

Die Probanden wurden mittels eines Bildschirmtextes nochmals über die genaue Aufgabenstellung zu dem jeweiligen Versuch informiert. Sie wurden aufgefordert, aufmerksam zuzuschauen und nach dem letzten Wort eines Satzes möglichst schnell zu reagieren. Der rechten und der linken Taste wurden die entsprechenden Bedeutungen zugeordnet. Nach einem Tastendruck bekamen sie nun 3 beziehungsweise 4 Übungssätze auf die gleiche Weise wie später die relevanten Sätze präsentiert. Nach einer erneuten Möglichkeit, Unklarheiten zu beseitigen, starteten sie den Versuch mit einem Tastendruck.

Auf einem 17-Zoll-Bildschirm von Flex Scan R (F 56) wurden in weißer Schrift, Schriftgröße 34 (entspricht 0,5 bis 0,69°)¹⁸ auf schwarzem Hintergrund die Sätze Wort für Wort präsentiert. Dazu verwendete ich das Programm *Presentation R Version 0.76* von *Neurobehavioral Systems, Inc.* Jedes Wort leuchtete für 700 ms in der Bildschirmmitte zentriert auf, zwischen den Wörtern bestand keine Pause. Nach dem letzten Wort eines Satzes bestand eine Pause von 1500 ms. Dann begann der nächste Satz, unabhängig von der Antwort des Probanden.

2.4.2 Ableitungsverfahren

Für alle EEG-Ableitungen wurden mit Elektroden-Gel gefüllte Zinnelektroden verwendet, die in einer 10-20-System-Elektrodenhaube integriert waren oder aufklebbare Einzelelektroden darstellten (Referenz und EOG). Die Kopfhaut unter den verwendeten Elektroden der Haube wurde mechanisch aufgeraut. Zur Gewinnung der EEG-Daten wurde eine Referenzableitung¹⁹ mit der

¹⁸ Aufforderungen in Schriftgröße 30, entspricht 0,26 bis 0,46°.

¹⁹ *Referenzableitung:*

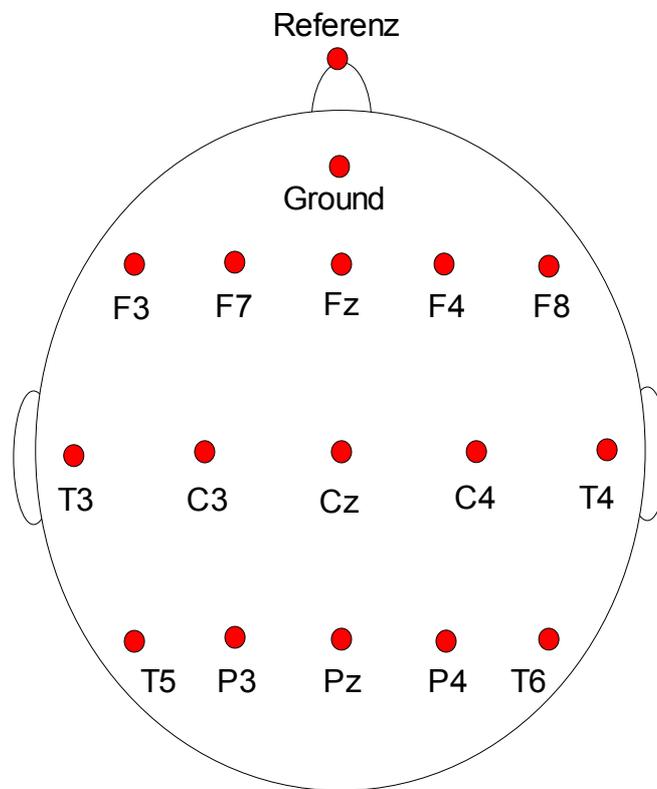
Vorteil gegenüber *bipolarer/toposelektiver Ableitung*: genauere Abbildung hinsichtlich Topographie, Polarität, Amplituden, besser zum Vermessen von Potenzialfeldern, Elektrodenabstände sind weniger kritisch.

Vorteil gegenüber *Mittelwert-Bezugsableitungen*: robuster gegenüber lokalen Aktivitätsschwankungen.

Nasenspitze²⁰ als Referenzelektrode gewählt. Dazu wurden insgesamt 20 Elektroden montiert. Die Anordnung der 14 Haubenelektroden und der Referenzelektrode ist in Abbildung 1 dargestellt. Die restlichen vier Elektroden dienten zur Erfassung des EOGs.

Die Ground-Elektrode befand sich an der Elektrodenhaube in der Mitte.

Abbildung 1: Muster der Elektrodenverteilung



Nachteil gegenüber *Mittelwert-Bezugsableitung/toposelektiver Ableitung*: störanfällig, vor allem bei Störungen der Referenzelektrode.

Nachteil gegenüber *bipolarer Ableitung*: geringere räumliche Auflösung.

20 Vorteil der Nasenspitze als Referenzelektrode:

- Position in der Mittellinie des Kopfes, dadurch gleiche Distanz zu homologen Positionen,
- geringe elektrische Eigenaktivität (geringer als an verbundenen Ohrläppchen; Debener, 2001).

2.4.3 Aufnahmemodalitäten

Das EEG wurde mit dem *Brain Vision Recorder R Version 1.01b* von *Brain Products GmbH* auf einem Pentium Personal Computer aufgezeichnet.

Als EEG-Verstärker diente ein 32-Kanal-Verstärker der Firma *Brain Products*. Als Abtastfrequenz wurde für alle Kanäle 500 Hz gewählt. Für alle EEG-Kanäle wie auch für die EOG-Kanäle wurde eine Tiefpassfilterung mit einer oberen Grenzfrequenz von 50 Hz, eine Hochpassfilterung mit einer unteren Grenzfrequenz von 0,1 Hz und eine zusätzliche Notch-Bandsperre (Kerb Filter) für 50 Hz gewählt.

Die irrelevanten, kongruenten und inkongruenten Wörter wurden vom Präsentationsrechner an den Aufnahmerechner als Trigger übermittelt. Bei (2), (4) und (5) wurde außerdem der Code für den Tastendruck aufgezeichnet mit verschiedenen Triggern für kongruente und inkongruente Antworten.

Bedingt durch die Geräteeigenschaften erschien jeder Reiz mit einer Verspätung von 14,3 ms, so dass jedes Wort und auch die Pausen sich um diese Zeit verlängerten.

Aufgrund der Beschaffenheit des Präsentationsprogramms, das die zeitliche Abfolge der dargebotenen Reize und die Reaktionen der Versuchspersonen aufzeichnete, diente der Präsentationsrechner auch zur Aufnahme der Reaktionszeiten.

II. NACHUNTERSUCHUNG

1. Voruntersuchung zur Nachuntersuchung

1.1 Zusammensetzung der Stichprobe

An der vorbereitenden Untersuchung zur Nachuntersuchung nahmen 18 Probanden teil, davon 7 weibliche. Voraussetzung war Deutsch als Muttersprache. Die Probanden erfüllten die Aufgabe freiwillig, ohne Bezahlung. Das Durchschnittsalter betrug 24,7 Jahre (16 bis 41 Jahre).

1.2 Reizmaterial

Das Reizmaterial bestand aus Antonym-Paaren als weiterer (neben den Sprichwörtern) Version der semantisch eindeutigen Bedingung.

Nach einer ersten Auswertung der Ergebnisse der Hauptuntersuchungen mussten wir feststellen, dass kein eindeutiger Effekt der als semantisch eindeutig postulierten Sprichwörter zu finden war. Ursache dafür kann neben der, wenn auch möglichst niedrig gehaltenen, Unbekanntheit der Wörter ein unbewusster Deutungs- und Bewertungseffekt durch die Probanden sein. Um noch näher an das Ideal einer semantischen Verarbeitung ohne kognitive Bewertung und inhaltliche Deutung heranzukommen, entschieden wir uns für Versuche mit Antonymen, ähnlich wie sie auch schon von Bentin (1987) durchgeführt wurden. Dabei galt es in einer Voruntersuchung aus einem Pool von 301 Antonym-Paaren (den wir mittels eines Wörterbuchs aufstellten) diejenigen herauszusuchen, die von den Probanden eindeutig und schnell als Gegensatzpaare erkannt werden.

Um die große Menge an Antonympaaren erstmals zu reduzieren, wurden alle Paare mit gleichem Wortstamm (beispielsweise *passend-unpassend*, *anschwellen-abschwellen*) und alle Paare, bei denen ein Partner länger als 9 Buchstaben ist (beispielsweise *theoretisch-praktisch*, *langweilig-interessant*)

ausgeschlossen. Gleichzeitig mussten die Paare einer kritischen Betrachtung, ob sie sinngemäß wirklich Antonyme darstellten, standhalten können (Beispiel für aussortierte Antonyme: *Hund-Katze, Lehrer-Schüler*).

Nach dieser Auslese blieben 135 Antonym-Paare übrig.

Die jeweiligen Partner wurden getrennt und zwei verschiedenen Gruppen zugeordnet. Diesen Gruppen wurde nach dem Zufallsprinzip jeweils die Hälfte der Probanden zugeordnet (abhängig von der Reihenfolge, nach der sich die Probanden meldeten).

1.3 Versuchsbedingungen und -ablauf

Die Probanden erhielten die Aufgabe größtenteils per E-Mail mit der Anweisung, möglichst spontan und ohne fremde Hilfe den ersten Gegensatz, der ihnen zu einem Wort einfällt, zu notieren. Langes Überlegen sollte vermieden werden, eher sei kein Gegensatz zu notieren.

1.4 Datenanalyse und Ergebnisse

Für jedes Wort wurde die Anzahl der richtigen und der falschen Antworten in Prozent ermittelt. Ausgelassene Antworten wurden als falsch gewertet. Lediglich Wörter, bei denen alle, also 100% der Probanden das kongruente Antonym beschrieben, wurden für die folgende Untersuchung zugelassen.

Bei 54 Paaren (108 Wörter) wurden jeweils die Gegensätze gefunden (daraus folgend 108 Gegensatzpaare für die Nachuntersuchung).

Beispiele:

falsch – richtig	richtig – falsch
teuer – billig	billig – teuer
Frieden – Krieg	Krieg – Frieden
füllen – leeren	leeren - füllen

Bei 50 Paaren fanden die Probanden für den einen, nicht aber für den anderen Partner das kongruente Antonym. Daraus folgten 50 weitere Antonym-Paare für die Nachuntersuchung. Die Ursache lag meist darin, dass manche Wörter mehrere sinnvolle Antonyme besitzen.

Beispiele:

hübsch – hässlich	<i>aber:</i> hässlich – schön/hübsch
nass – trocken	<i>aber:</i> trocken – nass/feucht
neu – alt	<i>aber:</i> alt – jung/neu
Stille – Lärm	<i>aber:</i> Lärm – Ruhe/Stille

In einigen Fällen gaben die Probanden keine Antonyme oder überhaupt keine Lösung an.

Damit ergaben sich insgesamt 158 Antonym-Paare für die Nachuntersuchung.

2. Nachuntersuchung

2.1 Zusammensetzung der Stichprobe

An der Nachuntersuchung nahmen 13 Probanden teil²¹. Ein Proband [t.gab] musste im Nachhinein von der Untersuchung ausgeschlossen werden, da er während des Versuchsablaufs der Wiederholungsversuche Antizipationsstrategien entwickelt und sich Gedanken über die Bedeutung einzelner Sprichwörter gemacht beziehungsweise sich verschiedene alternative Endwörter überlegt hatte.

Die verbleibenden 12 Probanden, davon 8 weibliche, waren durchschnittlich 25,6 Jahre alt (20 bis 33 Jahre). Voraussetzung zur Teilnahme an der Studie waren Rechtshändigkeit, deutsche Nationalität, das Fehlen neurologischer oder psychiatrischer Erkrankungen, volle Sehschärfe (eventuell korrigiert). Die Probanden erhielten eine Aufwandsentschädigung von 8 €/Stunde.

²¹ Siehe Tabelle 5.

2.2 Reizmaterial

Die Nachuntersuchung setzte sich aus 4 Teilen zusammen:

Die Versuche (2), (4) und (5) aus der Hauptuntersuchung wurden wiederholt und ein neuer Versuch mit Antonymen wurde hinzugefügt.

A) Wiederholungsversuche

Das Reizmaterial der Wiederholungsversuche entsprach dem der Hauptuntersuchung (siehe dort):

(2) syntaktisch eindeutige Fehler,

(4) semantisch eindeutige Fehler: Sprichwörter I und

(5) semantisch eindeutige Fehler: Sprichwörter II.

B) Antonyme

Das Reizmaterial stellten die in den Vorversuchen ermittelten Antonyme dar. Zu jedem Wort wurde zusätzlich ein Partner aus dem gesamten Antonym-Pool gefunden, der sicherlich kein Antonym zu diesem darstellte (inkongruente Antonyme/Gegensätze). Der Grund hierfür war einerseits die Vermeidung eines Wortfrequenz-Effektes und andererseits, dass andere, ähnlich häufige Wörter, die potenziell kein Antonym haben, dem Probanden die Möglichkeit gaben nach Erscheinen des Wortes die Lösung der Antonym-Frage zu antizipieren.

Beispiele:

reden – geben

Vater – Trauer

leicht – hübsch

laut – links

negativ – immer

Jeder Partner eines inkongruenten Gegensatzpaares sollte zusätzlich aus der gleichen Wortklasse stammen, da sich sonst ein unerwünschter semantischer Wortklasseneffekt hätte einstellen können. Die Reihenfolge der letztendlich 316 Wortpaare (davon die Hälfte Antonym-Paare) wurde mit Hilfe eines Zufallsgenerators auf <http://www.random.org> pseudorandomisiert (es sollten nicht mehr als 3 Gegensatzpaare beziehungsweise inkongruente Gegensatzpaare aufeinanderfolgen). Wortpaare verschiedener Wortklassen sollten nicht strikt voneinander getrennt in Gruppen, sondern durchmischt auftreten.

In diesem Experiment war ein mehrfaches Erscheinen eines Wortes bis zu vier Mal durch Auftreten als Schlüsselreiz in kongruenten und inkongruenten Bedingungen, als Partner eines kongruenten Antonym-Paares und als Partner eines inkongruenten Antonym-Paares möglich. Deshalb wurde darauf geachtet, dass gleiche Wörter mit einem Abstand von mindestens 14 Wörtern auftraten.

2.3 Versuchsbedingungen

An erster Stelle sollten die Wiederholungsversuche und dann die Antonym-Versuche mit einer motorischen Reaktion erfolgen, da der Effekt der „unterdrückten motorischen Reaktion“ umgangen werden sollte. Dieser Effekt könnte bei mentalem Zählen auftreten kann, wenn zuerst ein Versuch mit motorischer Reaktion stattfände.

A) Wiederholungsversuche

Ein Problem, das bei der Hauptuntersuchung entstanden war, bestand in der schwierigen Interpretation der Versuche, bei denen eine Reaktion mit Tastendruck erfolgte. Dies waren alle Versuche, mit semantisch eindeutigen (Sprichwörter) beziehungsweise syntaktisch eindeutigen Sätzen. Um den Einflussfaktor der motorischen Reaktion kontrollieren und die eindeutigen

besser mit den mehrdeutigen Bedingungen vergleichen zu können (bei denen keine Tastenreaktion stattgefunden hatte) sollte die Wiederholung mit geänderter Aufgabenstellung stattfinden: die Sätze zählen, die mit einem inkongruenten Wort enden. Um einer inhaltlichen Verarbeitung weiter vorzubeugen, wurde die Dauer der Präsentation der Wörter sowie die Pause zwischen den Sätzen auf 500 ms verkürzt.

Die Instruktion lautete, dass die Probanden die inkongruenten Sätze zählen sollten; die Aufgabe sei einfach, die einzige Schwierigkeit bestehe in der schnellen Abfolge der Wörter. Vor jedem Versuchsablauf erfolgte ein Übungsdurchlauf mit vier Beispielsätzen.

B) Antonyme

Die Aufgabe der Probanden bestand darin, bei Erscheinen eines Wortpaares zu entscheiden, ob es sich um ein Gegensatzpaar handelt. Die Wörter erschienen nacheinander auf der Bildschirmmitte. Die Probanden sollten möglichst schnell nach Erscheinen des zweiten Wortes entscheiden, ob es sich um ein Gegensatzpaar handelt, und die entsprechende Taste drücken. Auch hier wählten wir die Präsentationsdauer der Wörter relativ kurz. Die Wörter erschienen für jeweils 500 ms, zwischen den Wörtern eines Antonym-Paares bestand keine Pause, nach dem zweiten Wort bestand eine Pause von jeweils weiteren 500 ms. Das Erscheinen des nächsten Wortes war unabhängig von der Antwort der Probanden. Um sich an diesen schnellen Ablauf zu gewöhnen, bestand die Übungsphase aus drei mal 16 Gegensatzpaaren.

Dazu zogen wir 16 Gegensatzpaare aus der Voruntersuchung heran, die den Ansprüchen, in die Hauptuntersuchung zu kommen, nicht genügt hatten. Dennoch waren sie geeignet, die Probanden auf den Versuch vorzubereiten. Da 16 Paare als zu kurz zur Vorbereitung empfunden wurden, wiederholten wir diese drei Mal, informierten die Probanden aber über diese Wiederholung, die in der Testphase ja nicht auftrat.

Die Probanden wurden in zwei Gruppen eingeteilt, die Hälfte der Probanden sollte die rechte Taste für Antonyme und die linke für Nicht-Antonyme drücken und die andere Hälfte der Probanden umgekehrt.

2.4 Versuchsablauf

Der Versuchsablauf entsprach dem der Hauptuntersuchung. Bei den Antonymen wurden Antworten nach Beginn des nächsten Paares als verspätet angesehen und deshalb nicht gewertet.

III. DATENVERARBEITUNG

1 Datenerfassung und Bearbeitung der Rohdaten

1.1 Verhaltensdaten

Aus den Verhaltensdaten wurden zwei verschiedene Datentypen ermittelt:

Als erstes wurde der Anteil der richtig beantworteten Stimuli bestimmt. Davon ausgenommen sind alle falsch, zu spät (nach Erscheinen des ersten Wortes des nächsten Satzes) und nicht beantworteten Stimuli. Die Angabe erfolgt in einem Zahlenwert. Der Anteil der richtig beantworteten Stimuli wurde für kongruente und inkongruente Testreize gesondert ermittelt. Zusätzlich wurden die Standardabweichungen bestimmt.

Als zweites wurde die Reaktionszeit für die Modalitäten ermittelt, in denen ein Tastendruck erfolgte. Sie wurde als Intervall zwischen dem Erscheinen des Testreizes und dem Tastendruck der Versuchspersonen definiert. Die Reaktionszeit wurde für passende und unpassende Testreize gesondert ermittelt. Die Berechnungen der mittleren Reaktionszeiten und der Standardabweichungen der Reaktionszeiten erfolgten aufgrund der Mediane der Reaktionszeiten der einzelnen Probanden für die entsprechenden Bedingungen. Die Mediane wurden hier gegenüber den Mittelwerten bevorzugt, weil so einzelne Ausreißer-Werte (welche bei Reaktionszeiten in aller Regel nach oben abweichen), die möglicherweise die Ergebnisse nicht unerheblich verzerren würden, besser abgefangen werden.

1.2 EEG- Daten

Die EEG-Daten wurden von der Aufnahmesoftware *Recorder* der Firma *Brain Products GmbH* am Aufnahmerechner gespeichert. Für die Weiterverarbeitung der Daten wurde das Programm *Analyzer* verwendet, das von derselben Firma angeboten wird.

Für jede Versuchsperson wurden eigene EKPs für jede Haubenelektrode berechnet, mit Ausnahme der Groundelektrode. Weiterhin wurde für jede Bedingung ein gesondertes EKP errechnet.

Die Segmentation erfolgte relativ zu Position der Referenzmarker; nur die versuchsrelevanten Testreize wurden ausgewertet. Ein Segment erstreckte sich von 100 ms vor dem Ereignis bis 1400 ms nach dem Ereignis und hatte somit eine Länge von 1500 ms.

Zur Baselinekorrektur wurde das Intervall 100 ms vor dem Testreiz bis zum Beginn des Testreizes verwendet.

Die Korrektur der Augenbewegungs- und Lidschlag-Artefakte erfolgte durch automatische Blinzelerkennung in allen Kanälen ausgenommen der EOGs.

Die Ausmusterung von weiteren Artefakten erfolgte über alle Kanäle, die schlechten Segmente wurden markiert und nicht in die weitere Auswertung mit einbezogen. Der höchste zulässige Spannungssprung betrug 50 μV , die höchste zulässige Spannungsdifferenz innerhalb eines Intervalls 300 μV . Die Amplitude musste innerhalb der Grenzen zwischen $\pm 200 \mu\text{V}$ bleiben. Die niedrigste zugelassene Aktivität belief sich auf 0,5 μV . Ein Intervall bei der Artefaktbewertung dauerte 100 ms.

Hierdurch wurden auch die verbliebenen kleinen horizontalen und vertikalen EOG- Artefakte, welche noch in den EEG-Daten vorhanden waren, vom Programm korrigiert.

Für die Auswertung der EEG-Daten wurden die Kurven für kongruente und inkongruente Trials eines Teilversuchs übereinander gelegt und so der Bereich der N400 und der P600 ermittelt.

2. Datenanalyse

Zur Überprüfung der Annahmen dieser Untersuchung wurden mehrere mehrfaktorielle Varianzanalysen mit Messwiederholung durchgeführt. Varianzanalysen sind statistische Verfahren zur Prüfung von Mittelwertsunterschieden (Bortz, 2004). Die Berechnung der ermittelten Daten erfolgte mittels SPSS for Windows Version 12.0.1. Alle resultierenden Wahrscheinlichkeiten wurden bei allen Effekten mit zwei oder mehr Freiheitsgraden im Nenner nach Greenhouse-Geisser korrigiert.

2.1 Verhaltensdaten

Für jeden Probanden wurden der relative Anteil der richtig beantworteten Trials bestimmt. Diese Daten wurden dann in zwei zweifaktoriellen Varianzanalysen analysiert. In der ersten wurde als erster Faktor Semiotik mit den Stufen „semantisch eindeutig“ (Sprichwörter) und „syntaktisch eindeutig“ und als zweiter Faktor Kongruenz mit den Stufen „kongruent“ und „inkongruent“ festgelegt.

In der zweiten Analyse wurde der Faktor Versuch mit den Stufen „Sprichwörter“ und „Antonyme“ zusammen mit dem Faktor Kongruenz (Stufen: „kongruent“ und „inkongruent“) betrachtet. Der Faktor Versuch wurde als Zwischensubjektcontrast behandelt, um das Problem der ungleichen Probandenzahl und der verschiedenen Probanden zu lösen.

Anschließend wurden die Mediane der Reaktionszeiten für jeden Probanden berechnet und diese wiederum zwei zweifaktoriellen Varianzanalysen unterzogen mit den gleichen Faktoren wie beim Anteil der richtig beantworteten Stimuli. In der ersten mit den Faktoren Semiotik (Stufen: „semantisch eindeutig“ (Sprichwörter) und „syntaktisch eindeutig“) und Kongruenz (Stufen: „kongruent“ und „inkongruent“), in der zweiten mit den Faktoren Versuch (Stufen: „Sprichwörter“ und „Antonyme“) und wieder Kongruenz (Stufen: „kongruent“ und „inkongruent“). Der Faktor Versuch wurde wiederum als Zwischensubjektcontrast behandelt.

2.2 EEG-Daten

2.2.1 Hauptuntersuchung

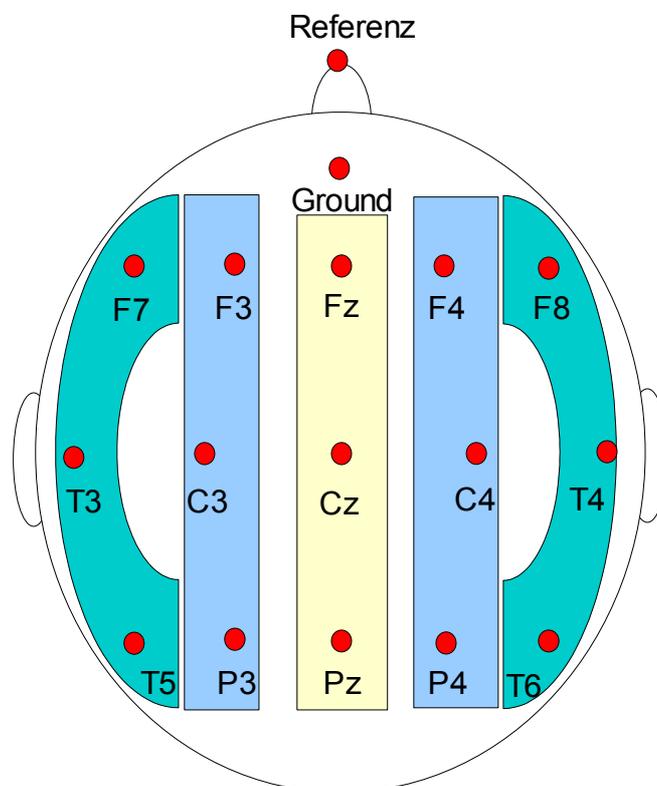
Die Auswertung erfolgte mittels SPSS. Dabei wurden fünf Faktoren in drei Ebenen analysiert. Als Faktoren wurden betrachtet:

Semiotik (mit den Stufen: „semantisch“ und „syntaktisch“), Entropie (mit den Stufen „eindeutig“ und „mehrdeutig“), Kongruenz (mit den Stufen: „kongruent“ und „inkongruent“, Elektrode (mit den Stufen: „frontal“, „zentral“ und „parietal“) und Hemisphäre (mit den Stufen: „links“ und „rechts“).

Der Faktor Hemisphäre spielte nur in den seitlichen Ableitungen eine Rolle.

Die drei Ebenen bestanden in drei verschiedenen Elektrodengruppen: „Mittellinie“ (Fz, Cz, Pz), „medial“ (F3, C3, P3 sowie F4, C4, P4) und „lateral“ (F7, T3, T5 sowie F8, T4, T6), siehe auch Abbildung 2.

Abbildung 2: Elektrodenverteilung und Einteilung in Gruppen: Mittellinie (gelb), medial (blau) und lateral (grün)



2.2.2 Nachuntersuchung

A) Wiederholungsversuche

Die eindeutigen Bedingungen der Hauptversuche erforderten eine motorische Reaktion (Tastendruck). Um deren Einfluss auf die Ergebnisse zu überprüfen, wurden Wiederholungsversuche durchgeführt, in denen die motorische Reaktion durch Zählen der inkongruenten Sätze ersetzt wurde.

Ich habe zuerst die Wiederholungsversuche auf Effekte untersucht und in einem zweiten Schritt mit den Hauptversuchen verglichen.

Die Auswertung erfolgte mittels SPSS. Da nur die Versuche, die im Hauptversuch einen Tastendruck erforderten, wiederholt wurden (also nur die jeweils eindeutigen Bedingungen) ergaben sich folgende Faktoren:

Semiotik (mit den Stufen: „semantisch“ und „syntaktisch“), Kongruenz (mit den Stufen: „kongruent“ und „inkongruent“), Elektrode (mit den Stufen: „frontal“, „zentral“ und „parietal“) und Hemisphäre (mit den Stufen: „links“ und „rechts“).

Der Faktor Hemisphäre spielte nur in den seitlichen Ableitungen eine Rolle.

Im Vergleich der Nachversuche mit den Hauptversuchen führte ich einen zusätzlichen Faktor Wiederholung mit zwei Stufen ein: „V1“ für die Hauptversuche und „V2“ für die Nachversuche.

B) Antonyme

Im ersten Schritt habe ich die Antonyme getrennt von den anderen Bedingungen betrachtet. Es ergaben sich folgende Faktoren: Kongruenz (mit den Stufen: „kongruent“ und „inkongruent“), Elektrode (mit den Stufen: „frontal“, „zentral“ und „parietal“) und Hemisphäre (mit den Stufen: „links“ und „rechts“). In den Ableitungen der Mittellinie spielte der Faktor Hemisphäre keine Rolle.

Im nächsten Schritt verglich ich die Daten der Antonyme mit denen der Sprichwörter. Für die Sprichwörter zog ich die Daten aus den Hauptversuchen heran, da auf diese auch mit Tastendruck reagiert werden musste und somit die Versuchsbedingungen möglichst ähnlich gehalten wurden.

Als Variablen ergaben sich: Kongruenz (mit den Stufen: „kongruent“ und „inkongruent“), Elektrode (mit den Stufen: „frontal“, „zentral“ und „parietal“) und Hemisphäre (mit den Stufen: „links“ und „rechts“) sowie der Faktor Versuch (Stufen: „Antonyme“ und „Sprichwörter“). Dieser wurde als Zwischensubjektcontrast behandelt um das Problem der ungleichen Probandenzahl zu lösen.

In einem dritten Schritt stellte ich die Antonyme und Sprichwörter zusätzlich noch der syntaktisch eindeutigen Bedingung gegenüber. Dadurch kann sich ein Unterschied, der sich zwischen der Verarbeitung der beiden semantisch eindeutigen Bedingungen („Antonyme“ und „Sprichwörter“) herausgestellt hat, in der Gesamtheit des Versuches als relevant oder irrelevant für die vorliegende Fragestellung erweisen.

Als Variablen ergaben sich wiederum: Hemisphäre, Kongruenz und Elektrode sowie Versuch (mit den Stufen „Antonyme“, „Sprichwörter“ und „Syntax“ [für syntaktisch eindeutige Bedingungen]) als Zwischensubjektcontrast.

Tabelle 6: Probanden der Nachversuche; V4 und V5: Sprichwörter; V2: syntaktisch eindeutige Sätze; A: Antonyme. In der letzten Spalte steht die Anzahl der gezählten von (v) den präsentierten inkongruenten Sätzen

Proband	Geschlecht	Alter	Reihenfolge/ gezählte inkongruente Sätze
e.wem	m	32	V2: 54 v 64 V4: 45 v 47 V5: 40 v 48 A
[t.gab ²²	m	28	V2: 40 v 64 V4: 40 v 47 V5: 40 v 48 A]
n.nic	w	22	V4: 37 v 47 V2: 42 v 64 V5: 48 v 48 A
m.wit	w	25	V4: 40 v 47 V2: 63 v 64 V5: 40 v 48 A
m.rie	m	21	V4: 45 v 47 V2: 66 v 64 V5: 39 v 48 A
u.moc	w	31	V4: 47 v 47 V2: 55 v 64 V5: 42 v 48 A
e.wol	w	27	V4: 41 v 47 V2: 56 v 64 V5: 48 v 48 A
j.pet	w	23	V4: 45 v 47 V2: 58 v 64 V5: 50 v 48 A

²² [t.gab] hat bei den Wiederholungsversuchen Lösungen aufgrund bereits erschienener Variante antizipiert, sich Gedanken über die Bedeutung der Sprichwörter gemacht bzw. alternative Endwörter überlegt. Die Daten wurden deswegen von der Analyse ausgeschlossen.

Proband	Geschlecht	Alter	Reihenfolge/ gezählte inkongruente Sätze
d.wor	m	26	V4: 44 v 47 V2: 71 v 64 V5: 53 v 48 A
a.gru	m	33	V4: 35 v 47 V2: 57 v 64 V5: 47 v 48 A
m.muh	w	23	V4: 46 v 47 V2: 55 v 64 V5: 49 v 48 A
j.zwi	w	20	V4: 42 v 47 V2: 59 v 64 V5: 52 v 48 A
s.pei	w	24	V4: 45 v 47 V2: 59 v 64 V5: 48 v 48 A

III. ERGEBNISSE

1. Verhaltensdaten

1.1 Anteil der richtig beantworteten Trials

Tabelle 7 zeigt den Anteil der richtig beantworteten Trials für die verschiedenen Versuchsbedingungen:

Tabelle 7: Mittelwerte des relativen Anteils der richtig beantworteten Trials. Die Standardabweichungen der Mittelwerte sind in Klammer gesetzt.

	Syntaktisch eindeutig		Antonyme		Sprichwörter I		Sprichwörter II		Sprichwörter ges.	
	kongr	inkongr	kongr	inkongr	kongr	inkongr	kongr	inkongr	kongr	inkongr
Anteil	0,944	0,962	0,909	0,920	0,942	0,973	0,927	0,991	0,934	0,982
	(0,039)	(0,021)	(0,059)	(0,040)	(0,058)	(0,027)	(0,049)	(0,011)	(0,050)	(0,017)

Die Auswertung der Daten erfolgte mittels Varianzanalyse.

Die getrennten Sprichwortteile unterschieden sich nicht ($F_{1,16}=0,300$; $p=0,864$), daher wurden die Daten im Folgenden zusammengefasst, indem für jeden Probanden die Mittelwerte der richtig beantworteten Trials berechnet wurden.

Der Tastendruck auf kongruente und inkongruente Antonyme war gleich häufig ($F_{1,10}=0,80$; $p=0,393$) richtig.

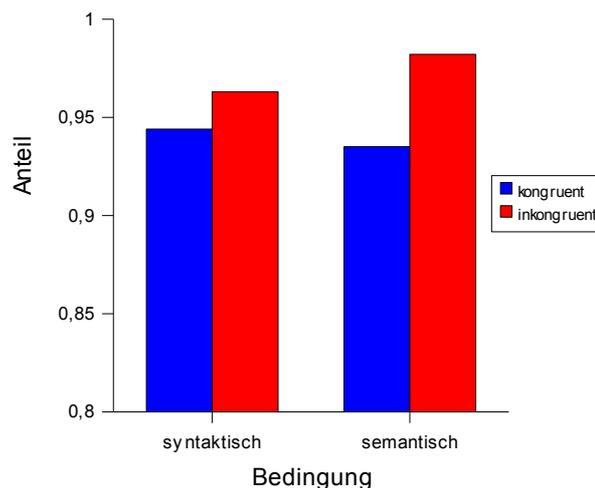
Ich stellte syntaktisch eindeutige und semantisch eindeutige (Sprichwörter) Bedingungen gegenüber. Dabei zeigte sich folgendes (Abbildung 3):

Die Reaktion auf kongruente semantische und syntaktische Bedingungen war gleich häufig richtig ($F_{1,16}=0,45$; $p=0,510$), bei inkongruenten semantischen Bedingungen allerdings häufiger als bei inkongruenten syntaktischen ($F_{1,16}=8,57$; $p=0,010$). Der Haupteffekt Bedingung war insgesamt nicht signifikant ($F_{1,16}=0,81$; $p=0,381$).

Dagegen erwies sich der Effekt der Kongruenz hochsignifikant ($F_{1,16}=17,88$; $p=0,001$), indem inkongruente Trials häufiger richtig beantwortet wurden als kongruente. Dieser Kongruenzeffekt war bei Paarvergleichen nur in der semantischen Bedingung ($F_{1,16}=12,91$; $p=0,002$) nachweisbar; in der syntaktischen verfehlte er knapp das Signifikanzniveau ($F_{1,16}=3,22$; $p=0,092$).

Die Wechselwirkung Bedingung x Kongruenz zeigte sich nicht signifikant ($F_{1,16}=2,54$; $p=0,131$).

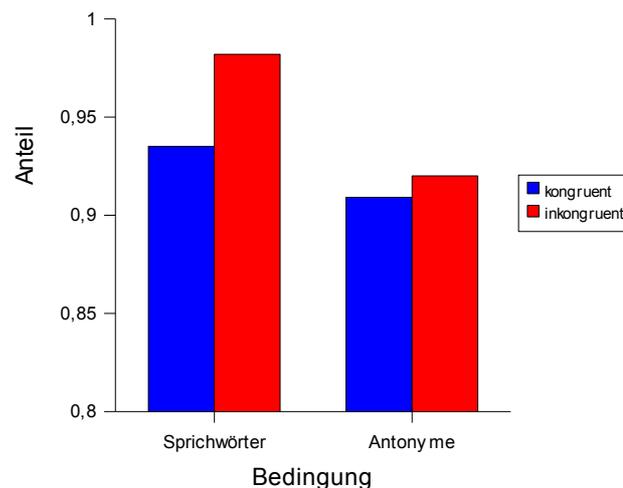
Abbildung 3: Anteil der richtig beantworteten kongruenten und inkongruenten Trials der syntaktischen und semantischen Bedingung



Als nächstes wurden die beiden semantischen Bedingungen Sprichwörter und Antonyme verglichen (Abbildung 4): Die Reaktion auf Antonyme war signifikant häufiger falsch als auf Sprichwörter ($F_{1,26}=10,64$; $p=0,003$).

Obwohl die Wechselwirkung zwischen Kongruenz und Bedingung knapp nicht signifikant war ($F_{1,26}=3,56$; $p=0,070$), zeigten Paarvergleiche, dass es die inkongruenten Sprichwörter waren, die sich durch weniger Fehler von allen anderen Kombinationen signifikant unterschieden (siehe Abbildung 4).²³

Abbildung 4: Anteil der richtig beantworteten kongruenten und inkongruenten Trials für Sprichwörter und Antonyme



²³ Um eine genauere Vorstellung von dem Ursprung der Fehler zu bekommen, wurde das Verhalten von zwei Probanden beispielhaft (Antonyme bei e.wol und m.muh) näher untersucht. Dabei zeigte sich, dass bei den meisten Fehlern eine falsche Taste gedrückt wurde. Zu späte Reaktionen oder vollständiges Fehlen an Reaktionen traten extrem selten auf. Deswegen wurde auf eine ausführliche Varianzanalyse verschiedener Fehlertypen verzichtet.

1.2 Reaktionszeiten

In Tabelle 8 sind die Mittelwerte der Mediane der Reaktionszeiten der Probanden auf syntaktisch eindeutige und semantisch eindeutige (Sprichwörter I und II und Antonyme) Bedingungen aufgelistet. Dabei wurden nur richtig beantwortete Trials gewertet.

Tabelle 8: Mittelwerte der Reaktionszeitmediane. Die Standardabweichungen der Mittelwerte sind in Klammer gesetzt. (RT=Reaktionszeit [ms])

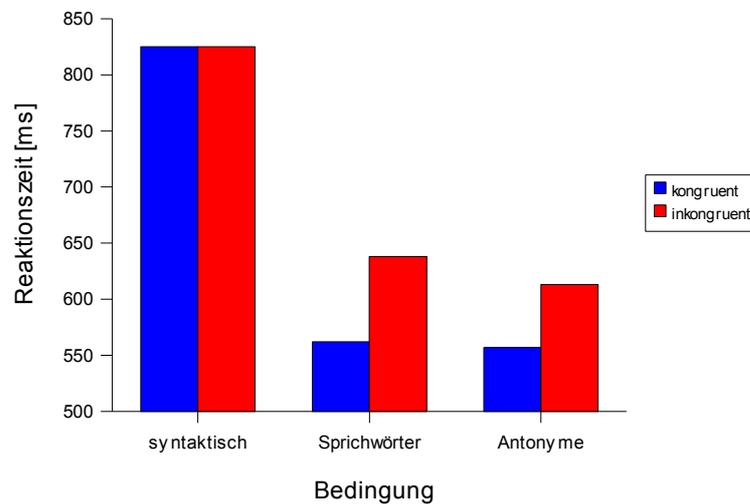
	Syntaktisch eindeutig		Antonyme		Sprichwörter I		Sprichwörter II		Sprichwörter gesamt	
	kongr	inkongr	kongr	inkongr	kongr	inkongr	kongr	inkongr	kongr	inkongr
R	824,87	825,38	556,97	612,68	568,74	641,14	554,98	635,32	561,86	638,23
T	(151,03)	(119,64)	(50,98)	(56,24)	(163,49)	(128,95)	(155,85)	(136,01)	(126,44)	(107,22)

Für die Auswertung der Reaktionszeiten wurde analog zu 1.1 vorgegangen. Für die beiden Sprichwortteile galt die Nullhypothese ($F_{1,16}=0,06$; $p=0,818$), weswegen sie im Folgenden wie in 1.1 zusammengefasst wurden.

Die Reaktionszeit war in den beiden semantischen Bedingungen (Antonyme und Sprichwörter) signifikant kürzer als in der syntaktischen ($F_{1,16}=46,33$; $p<0,001$; Abbildung 5) und kürzer für kongruente als für inkongruente Trials ($F_{1,16}=5,79$; $p=0,029$). Dieser Haupteffekt entstand aber hauptsächlich in den semantischen Bedingungen (Sprichwörter: $F_{1,16}=21,25$; $p<0,001$; Antonyme: $F_{1,11}=42,61$; $p<0,001$), worauf die hochsignifikante Wechselwirkung von Bedingung und Kongruenz ($F_{1,16}=13,62$; $p=0,002$) hinweist.

Vergleich man die beiden semantischen Bedingungen „Sprichwörter“ und „Antonyme“, zeigte sich kein Unterschied ($F_{1,28}=0,19$; $p=0,670$).

Abbildung 5: Vergleich der Reaktionszeiten (in ms) der semantischen und syntaktischen Bedingung und der Antonyme



Zusammenfassung Verhaltensdaten:

Kongruente semantische und syntaktische Trials wurden gleich häufig richtig beantwortet. Dagegen wurden die Reize der inkongruenten Sprichwörter häufiger richtig beantwortet als die der inkongruenten syntaktischen Bedingungen und die der inkongruenten Antonyme. Bei der Beantwortung der Reize der Antonyme unterliefen mehr Fehler als bei der der Sprichwörter.

Der Tastendruck auf inkongruente Trials war häufiger richtig als auf kongruente, dieser Unterschied bestand vor allem für die Sprichwörter.

Der Tastendruck auf Sprichwörter und Antonyme erfolgte schneller als auf syntaktische Bedingungen, bei diesen bestand kein Unterschied in der Reaktionszeit auf kongruente und inkongruente Bedingungen. Bei den semantischen Bedingungen (Antonyme und Sprichwörter) erfolgte die Reaktion auf kongruente Trials schneller als auf inkongruente.

2. EEG-Daten

In Tabelle 9 sind die Anzahl der verwertbaren Segmente der Hauptversuche dargestellt.

Tabelle 9: Anzahl der beibehaltenen Segmente (nach Verwerfung der Artefakte und Verwerfung der inrichtig beantworteten Trials) der Hauptversuche. In der ersten Spalte steht die Anzahl der kongruenten, in der zweiten die der inkongruenten Trials.

V1 – semantisch mehrdeutig

V2 – syntaktisch eindeutig

V3 – syntaktisch mehrdeutig

V4 – semantisch eindeutig – Sprichwörter Teil I

V5 – semantisch eindeutig – Sprichwörter Teil II

Proband	V1		V2		V3		V4/5	
	kon	ikon	kon	ikon	kon	ikon	kon	ikon
m.sta	42	25	41	40	47	49	70	70
s.woe	55	51	54	51	51	52	60	84
o.lec	63	63	45	42	59	61	69	70
j.plo	53	51	51	48	53	50	78	86
m.bue	61	61	57	45	60	60	86	81
w.sil	64	64	51	46	62	62	79	83
i.hei	64	64	54	47	62	58	84	87
c.rog	64	64	48	49	62	61	77	84
t.sta	62	64	57	55	60	62	84	87
e.han	48	52	52	47	57	59	82	82
c.mue	63	63	57	56	61	60	89	88
p.kle	61	62	57	56	54	55	83	82
b.hem	45	45	46	46	54	50	67	68
a.kov	63	64	46	46	59	59	76	88
m.roe	63	64	53	51	61	62	74	84
d.zah	63	64	60	53	62	61	87	88
s.bre	64	63	62	55	62	62	90	91

In Tabelle 10 folgen die gleichen Daten für die Nachuntersuchung.

Tabelle 10: Anzahl der beibehaltenen Segmente (nach Verwerfung der Artefakte und Verwerfung der falsch beantworteten Trials) der Nachuntersuchung. In der ersten Spalte steht die Anzahl der kongruenten, in der zweiten die der inkongruenten Trials.

V2 – syntaktisch eindeutig

V4 – semantisch eindeutig – Sprichwörter Teil I

V5 – semantisch eindeutig – Sprichwörter Teil II

**für m.muh bestand das Artefakt in einer schlechten Aufnahme der Elektrode T4. Das Grand Average ohne m.muh wurde verglichen mit einem Grand Average mit m.muh, aber ohne artifact rejection für m.muh. Da sich die beiden Kurven nicht sichtbar voneinander unterscheiden, wurde m.muh (ohne artifact rejection) trotzdem weiterhin mit berechnet und nachher die Ergebnisse für T4 nicht berücksichtigt. In eckigen Klammern ist die Anzahl der weiter verwerteten Trials angegeben.*

*** Diese Daten von V5 konnten nicht wiederhergestellt werden und werden darum in Folgenden nicht weiter berücksichtigt. Während bei den anderen Probanden der Mittelwert von V4 und V5 gebildet wird, werden für a.gru nur die Daten von V4 berücksichtigt.*

Proband	V2		V4		A	
	Kon	lkon	Kon	lkon	kon	ikon
e.wem	61	55	88	86	124	136
n.nic	62	56	91	90	139	131
m.wit	64	56	92	49		
m.rie	61	57	90	87	132	135
u.moc	62	57	91	90	146	145
e.wol	63	56	90	89	131	139
j.pet	63	57	93	90	148	143
d.wor	64	57	93	91	149	152
a.gru	62	57	45**	45**	136	140
m.muh*	63	54	59 [93]	48 [91]	98 [136]	105 [125]
j.zwi	64	55	86	90	146	141
s.pei	64	57	92	91	147	147

Auswertung der EEG-Daten

Für die Auswertung der EEG-Daten wurden die Kurven für kongruente und inkongruente Trials eines Teilversuchs übereinander gelegt und so der Bereich der N400 und der P600 ermittelt.

Das Zeitfenster für die N400 wurde auf 200 ms festgelegt und begann zwischen 250 und 300 ms nach Erscheinen des Stimulus. Das Zeitfenster für die P600 begann immer bei 470 ms und umfasste 350 ms (siehe Tabelle 11):

Tabelle 11: Bereiche der N400/P600: Sem=semantisch; Syn= syntaktisch; ein=eindeutig; mehr=mehrdeutig.

Sem_ein_N400	250,00ms - 450,00ms
Sem_mehr_N400	300,00ms - 500,00ms
Syn_ein_N400	270,00ms - 470,00ms
Syn_mehr_N400	280,00ms - 480,00ms
Sem_ein_P600	470,00ms - 820,00ms
Sem_mehr_P600	470,00ms - 820,00ms
Syn_ein_P600	470,00ms - 820,00ms
Syn_mehr_P600	470,00ms - 820,00ms

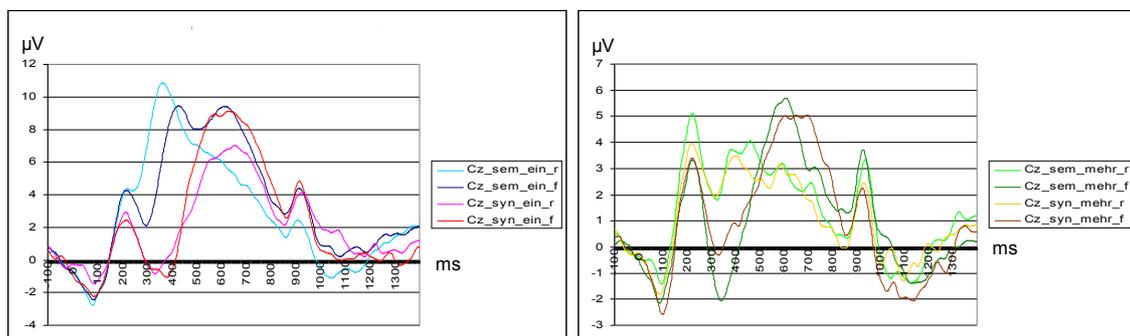
2.1 Hauptversuch

I. N400

A) Mittellinie

Als Haupteffekte der N400 zeigte sich eine größere Amplitude für syntaktische als für semantische Bedingungen (Effekt Semiotik: $F_{1,16}=12,66$; $p=0,003$), sowie für mehrdeutige als eindeutige Bedingungen (Effekt Entropie: $F_{1,16}=32,24$; $p<0,001$). Die absolute Amplitude der N400 war frontal größer als zentroparietal (Effekt Elektrode: $F_{1,16}=13,42$; $p<0,001$; siehe Abbildung 7²⁴). Bezüglich der Kongruenz ließ sich nur die Tendenz zu einem Haupteffekt finden ($F_{1,16}=4,33$; $p=0,054$).²⁵(EEG-Kurven siehe Abbildung 7 und Anhang)

Abbildung 7: EEG-Kurven der Elektrode Cz; sem=semantisch, syn= syntaktisch; ein=eindeutig; mehr=mehrdeutig; r=kongruent; f=inkongruent



Folgende Interaktionen erwiesen sich als signifikant:

Semiotik x Entropie ($F_{1,16}=16,30$; $p=0,001$), Semiotik x Kongruenz ($F_{1,16}=9,73$; $p=0,007$), Semiotik x Entropie x Kongruenz ($F_{1,16}=5,87$; $p=0,028$), Entropie x Kongruenz x Elektrode ($F_{1,16}=5,92$; $p=0,006$) sowie Semiotik x Entropie x Kongruenz x Elektrode ($F_{1,16}=9,66$; $p=0,001$). Im Folgenden sollen diese Interaktionen mit Hilfe der grafischen Darstellung näher erläutert werden.

Semiotik x Entropie ($F_{1,16}=16,30$; $p=0,001$; siehe Abbildung 8):

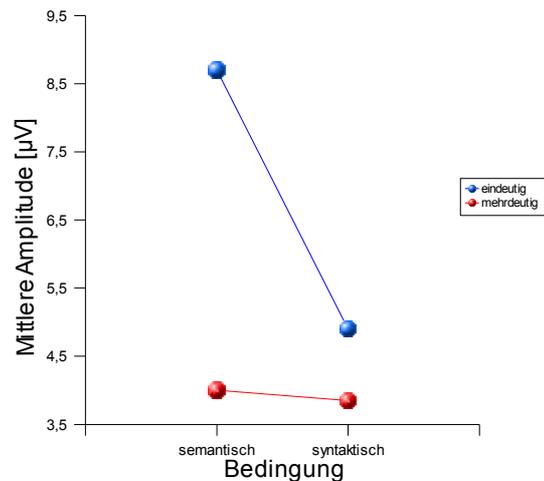
24 Die vollständigen EEG-Kurven aller Bedingungen und Elektroden befinden sich im Anhang unter 2.5 und 3.2.

25 **Achtung:** Je größer der Wert, desto **kleiner** wird die **N400**. Insgesamt wurden keine negativen Werte erreicht, alle sind positiver als die Baseline.

Semantisch eindeutige Bedingungen riefen eine um fast $5\mu\text{V}$ kleinere N400 hervor als semantisch mehrdeutige ($F_{1,16}=15,97$; $p=0,001$). In den syntaktischen Bedingungen konnte ein solcher Unterschied nicht bestätigt werden ($F_{1,16}=2,19$; $p=0,158$).

Während eindeutige syntaktische Bedingungen eine um fast $4\mu\text{V}$ größere N400 als eindeutige semantische erzeugten ($F_{1,16}=21,22$; $p<0,001$), zeigte sich bei Paarvergleichen in den mehrdeutigen Bedingungen kein Semiotik-Unterschied ($F_{1,16}=0,05$; $p=0,825$).

Abbildung 8: mittlere Amplitude der N400 im o.a. Intervall von 200 ms in den Bedingungen der Interaktion Semiotik x Entropie ($F_{1,17}=16,30$; $p=0,001$)

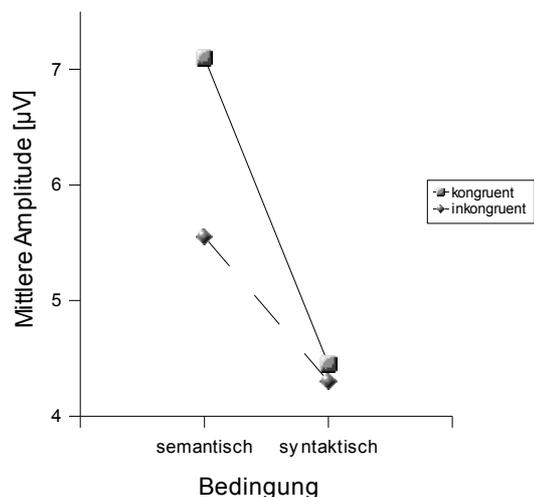


Semiotik x Kongruenz ($F_{1,16}=9,73$; $p=0,007$; siehe Abbildung 9):

Der Unterschied zwischen kongruenten und inkongruenten Trials war nur in den semantischen Bedingungen signifikant ($F_{1,16}=54,44$; $p<0,001$), nicht jedoch in syntaktischen ($F_{1,16}=0,080$; $p=0,782$).

Eine größere Amplitude in den syntaktischen Bedingungen im Vergleich mit den semantischen wurde sowohl in kongruenten ($F_{1,16}=19,63$; $p<0,001$) als auch in inkongruenten ($F_{1,16}=5,21$; $p=0,036$) Trials gefunden.

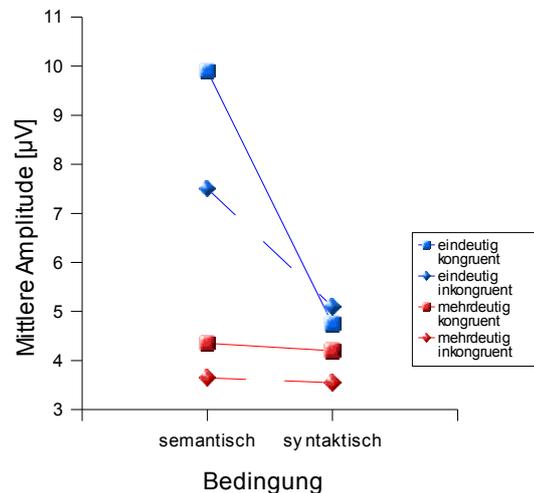
Abbildung 9: mittlere Amplitude der N400 in den Bedingungen der Interaktion Semiotik x Kongruenz ($F_{1,17}=9,73$; $p=0,007$)



Semiotik x Entropie x Kongruenz ($F_{1,16}=5,87$; $p=0,028$; siehe Abbildung 10):

Spaltete man die oben betrachteten Interaktionen weiter auf, so konnte der Kongruenzunterschied nur in der semantisch eindeutigen Bedingung bestätigt werden ($F_{1,16}=12,91$; $p=0,002$). Eindeutige Bedingungen riefen eine kleinere N400 hervor als mehrdeutige in semantisch kongruenten und inkongruenten sowie in den syntaktisch inkongruenten Bedingungen. Sie unterschieden sich nicht in den syntaktisch kongruenten Bedingungen.

Abbildung 10: mittlere Amplitude der N400 in den Bedingungen der Interaktion Semiotik x Entropie x Kongruenz ($F_{1,17}=5,87$; $p=0,028$)

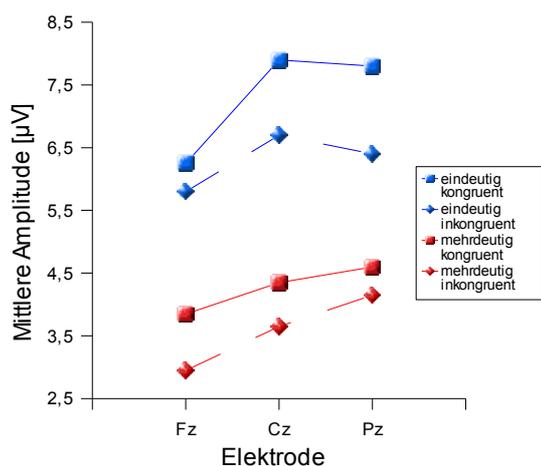


Entropie x Kongruenz x Elektrode ($F_{1,16}=5,92$; $p=0,006$; siehe Abbildung 11):

Während für Entropie x Kongruenz ($F_{1,16}=0,04$; $p=0,849$) die Nullhypothese angenommen werden musste, zeigte sich diese Wechselwirkung doch an den einzelnen Ableitungsorten.

Der Elektrodeneffekt auf die N400 zeigte sich sowohl in den eindeutigen ($F_{1,16}=9,33$; $p<0,001$) als auch in den mehrdeutigen Bedingungen ($F_{1,16}=11,91$; $p<0,001$). Die Amplitude in den mehrdeutigen Bedingungen nahm nach posterior hin ab, eindeutige Bedingungen zeigten für Cz die kleinste Amplitude.

Abbildung 11: mittlere Amplitude der N400 in den Bedingungen der Interaktion Entropie x Kongruenz x Elektrode ($F_{1,17}=5,92$; $p=0,006$)



Bezüglich des N400-Effektes galt aber: Der Kongruenzeffekt zeigte sich nur in eindeutigen Bedingungen ($F_{1,16}=7,39$; $p=0,002$ versus $F_{1,16}=1,11$; $p=0,343$ in den mehrdeutigen) in den zentroparietalen Ableitungen.

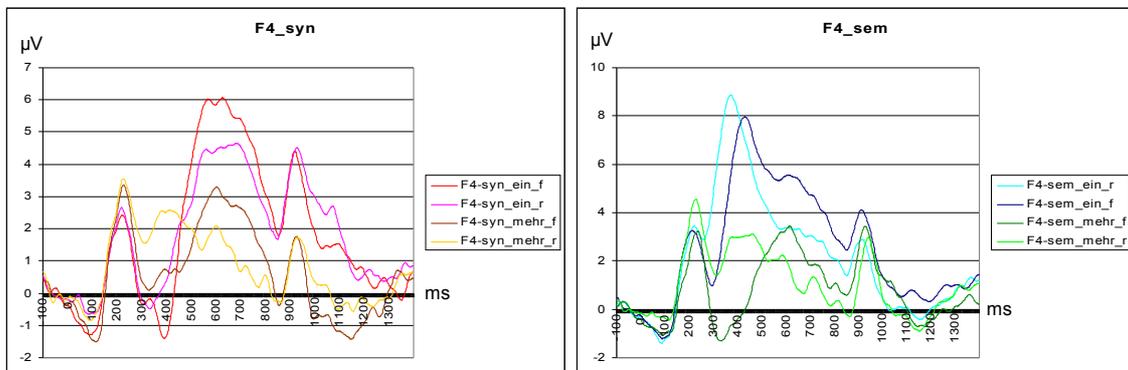
B) medial

In den medialen Ableitungen (F3 nach P3 und F4 nach P4) wiederholten sich dieselben Haupteffekte, nämlich die von Semiotik ($F_{1,16}=13,09$; $p=0,002$; größere N400 in syntaktischen als semantischen Bedingungen), Entropie ($F_{1,16}=30,33$; $p<0,001$; größere N400 für eindeutige als für mehrdeutige Bedingungen) und Elektrode ($F_{1,16}=20,77$; $p<0,001$; N400 frontal größer als zentroparietal).

Außerdem evozierten inkongruente Antworten in den medialen Ableitungen eine größere N400 als kongruente (Haupteffekt Kongruenz: $F_{1,16}=6,30$; $p=0,023$; siehe auch Abbildung 12)

Der neue Faktor Hemisphäre ($F_{1,16}=0,10$; $p=0,754$) zeigte sich nicht signifikant.

Abbildung 12: EEG-Kurven der Elektrode F4; sem=semantisch, syn= syntaktisch; ein=eindeutig; mehr:mehrdeutig; r=kongruent; f=inkongruent



Bis auf die komplexeren Interaktionen Entropie x Kongruenz x Elektrode (medial $F_{1,16}=2,12$; $p=0,137$ / lateral $F_{1,16}=1,90$; $p=0,166$) und Semiotik x Entropie x Kongruenz x Elektrode (medial $F_{1,16}=1,86$; $p=0,012$ / lateral $F_{1,16}=0,20$; $p=0,821$) setzten sich alle signifikanten Interaktionen der Mittellinie nach medial fort.

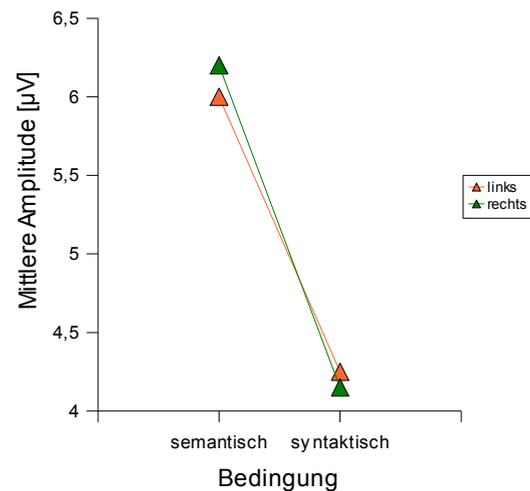
Andererseits wurden in Bezug auf den neuen Faktor Hemisphäre weitere signifikante Interaktionen gefunden, die im Folgenden diskutiert werden:

Hemisphäre x Semiotik ($F_{1,16}=5,19$; $p=0,037$; siehe Abbildung 13):

Im Vergleich zu den Ableitungen der Mittellinie nahm die Amplitude der N400 zu den medialen Ableitungen hin ab, wobei die N400 der semantischen Bedingungen etwas nach links und die der syntaktischen etwas nach rechts verschoben war.

Dieser Unterschied konnte durch Paarvergleiche nicht bestätigt werden.

Abbildung 13: mittlere Amplitude der N400 in den Bedingungen der Interaktion Hemisphäre x Semiotik ($F_{1,17}=5,19$; $p=0,037$)

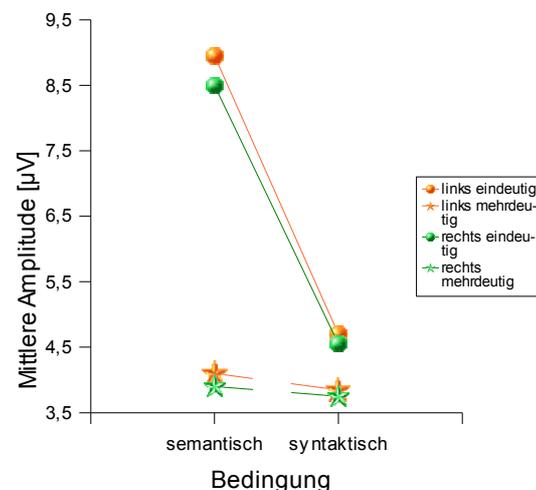


Hemisphäre x Semiotik x Entropie ($F_{1,16}=7,89$; $p=0,013$; siehe Abbildung 14):

Die Amplitude der N400 nahm nach lateral hin ab. Einzige Ausnahme war links die Bedingung „semantisch mehrdeutig“.

Um den Unterschied bezüglich der Hemisphären zu präzisieren, wurden Paarvergleiche durchgeführt: In den semantisch eindeutigen Bedingungen war die Amplitude links größer als rechts ($F_{1,16}=5,87$; $p=0,028$). Alle anderen hemisphärischen Unterschiede waren nicht signifikant.

Abbildung 14: mittlere Amplitude der N400 in den Bedingungen der Interaktion Hemisphäre x Semiotik x Entropie ($F_{1,17}=7,89$; $p=0,013$)

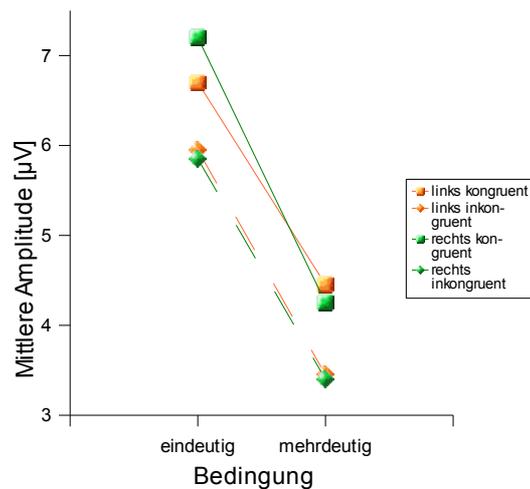


Hemisphäre x Entropie x Kongruenz ($F_{1,16}=7,51$; $p=0,015$; siehe Abbildung 15):

Entropie x Kongruenz war nicht signifikant ($F_{1,16}=0,04$; $p=0,849$), erst in der Interaktion mit dem Faktor Hemisphäre kristallisierte sich ein Unterschied heraus.

Die resultierende N400 aus der Interaktion von Entropie und Kongruenz nahm bis auf die mehrdeutig kongruente Bedingung von der Mittellinie nach medial ab. In weitergehender Analysen konnte aber kein statistisch relevanter Einzelunterschied bezüglich der Hemisphären herausgearbeitet werden.

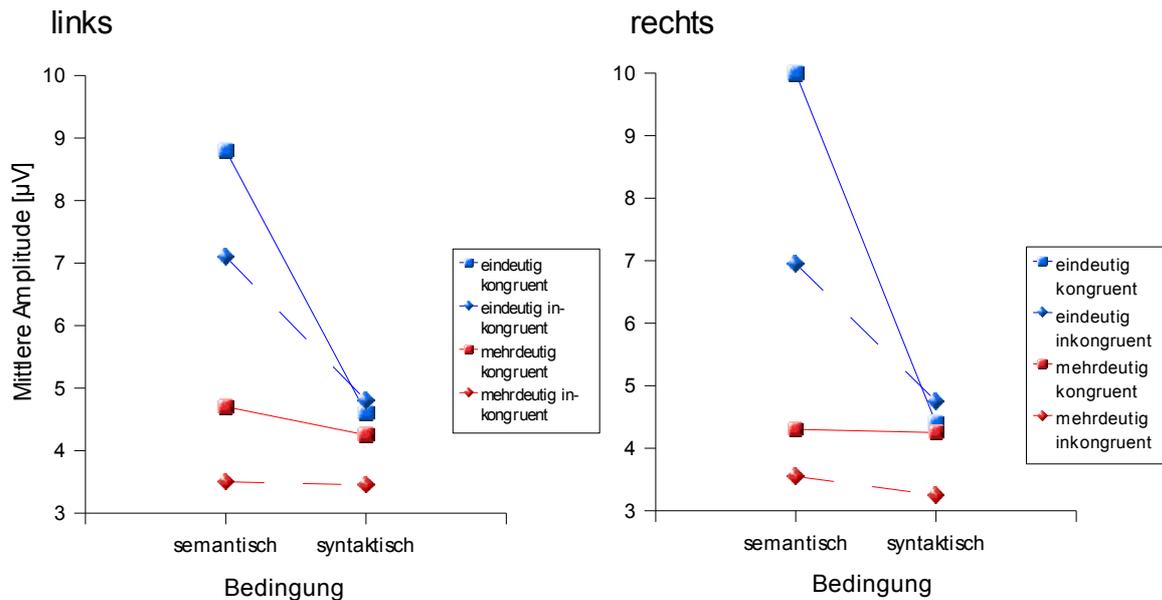
Abbildung 15: mittlere Amplitude der N400 in den Bedingungen der Interaktion Hemisphäre x Entropie x Kongruenz ($F_{1,17}=7,51$; $p=0,015$)



Hemisphäre x Semiotik x Entropie x Kongruenz ($F_{1,16}=14,372$; $p=0,002$; siehe Abbildung 16):

Bis auf die mehrdeutig kongruente Bedingung nahm die Amplitude der N400 nach medial hin ab. Ein signifikanter Hemisphärenunterschied wurde nur für die semantisch eindeutig kongruente Bedingung gefunden (größere N400 links; $F_{1,16}=8,630$; $p=0,010$), nicht jedoch für inkongruente ($F_{1,16}=0,742$; $p=0,402$).

Abbildung 16: mittlere Amplitude der N400 in den Bedingungen der Interaktion Hemisphäre x Semiotik x Entropie x Kongruenz ($F_{1,17}=14,37$; $p=0,002$)



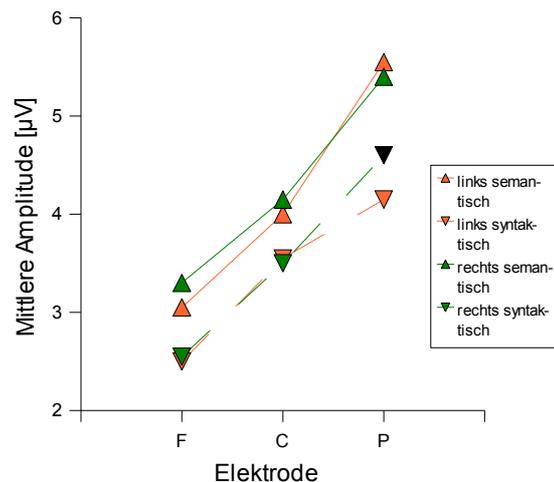
C) lateral

In den lateralen Ableitungen wiederholten sich die Effekte von Entropie ($F_{1,16}=5,76$; $p=0,029$; größere N400 bei mehrdeutigen als bei eindeutigen Bedingungen) und Elektrode ($F_{1,16}=35,92$; $p<0,001$; Abnahme der Amplitude der N400 von frontal nach parietal), sowie die Interaktionen Semiotik x Kongruenz ($F_{1,16}=5,77$; $p=0,029$; siehe unter A) Mittellinie, Abbildung 9) und Hemisphäre x Semiotik x Entropie x Kongruenz ($F_{1,16}=8,46$; $p=0,010$; siehe unter B) medial, Abbildung 16). Zusätzlich erwies sich eine neue Interaktion als relevant:

Hemisphäre x Semiotik x Elektrode ($F_{1,16}=7,24$; $p= 0,003$; siehe Abbildung 17):

Diese bedeutet, dass die Amplitude der N400 in den syntaktischen Bedingungen größer war als in den semantischen, und dass dieser Unterschied links parietotemporal (Ableitung T5) größer erschien als an allen sonstigen Orten. Dennoch waren die Paarvergleiche zwischen den entsprechenden lateralen Orten der beiden Hemisphären nicht signifikant.

Abbildung 17: mittlere Amplitude der N400 in den Bedingungen der Interaktion Hemisphäre x Semiotik x Elektrode ($F_{1,17}=7,24$; $p= 0,003$)



Zusammenfassung N400:

Syntaktische Bedingungen riefen eine größere N400 hervor als semantische. Dieser Unterschied in der Semiotik bestand nur für eindeutige und nicht für mehrdeutige Bedingungen.

Auch mehrdeutige Bedingungen ergaben eine größere N400 als eindeutige, dieser Unterschied bestand nur in der semantischen Bedingung und in der syntaktisch inkongruenten, in der syntaktisch kongruenten bestand kein Unterschied bezüglich der Entropie.

Kongruente und inkongruente Bedingungen unterschieden sich nicht pauschal (kein Haupteffekt in der Mittellinie und lateral, allerdings medial), ein Kongruenzeffekt (eine größere N400 auf inkongruente Reize) zeigte sich ausschließlich in der semantisch eindeutigen Bedingung. Er war in der Mittellinie am stärksten in den zentroparietalen Ableitungen.

Bezüglich der Verteilung der N400 ließ sich finden, dass die absolute Amplitude anterior am größten war, nach posterior und lateral hin abnahm und nicht auf eine Seite lateralisiert war bis auf die kongruenten Sprichwörter (semantisch eindeutige Bedingung), die links eine größere Amplitude als rechts hervorriefen.

II. P600

Die Auswertung der P600 erfolgte auf die gleiche Art und Weise wie die der N400.

A) Mittellinie

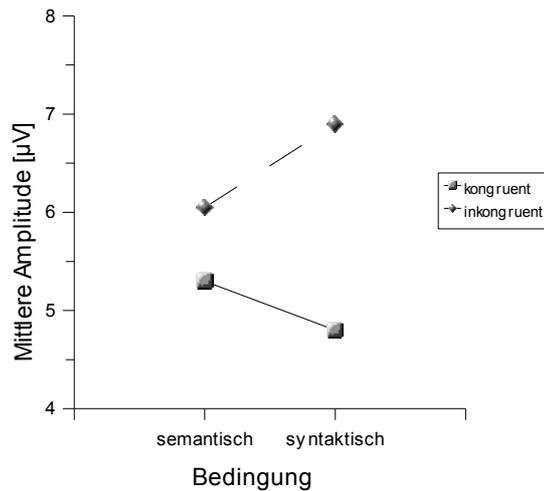
Die Amplitude der P600 war größer in eindeutigen Bedingungen als in mehrdeutigen ($F_{1,16}=48,32$; $p<0,001$), größer auf inkongruente als auf kongruente Trials ($F_{1,16}=39,72$; $p<0,001$) und zentroparietal größer als frontal ($F_{1,16}=56,87$; $p<0,001$), während der Haupteffekt Semiotik nicht signifikant war ($F_{1,16}=0,26$; $p=0,616$).

Die folgenden Wechselwirkungen, die als nächstes in Details besprochen werden, erwiesen sich als signifikant: Semiotik x Kongruenz ($F_{1,16}=6,03$; $p=0,026$), Entropie x Kongruenz ($F_{1,16}=8,49$; $p=0,010$), Semiotik x Elektrode ($F_{1,16}=4,06$; $p=0,027$), Entropie x Elektrode ($F_{1,16}=29,12$; $p<0,001$), Semiotik x Entropie x Elektrode ($F_{1,16}=3,36$; $p=0,047$), Kongruenz x Elektrode ($F_{1,16}=10,71$; $p<0,001$), Semiotik x Entropie x Kongruenz x Elektrode ($F_{1,16}=3,59$; $p=0,039$).

Semiotik x Kongruenz ($F_{1,16}=6,03$; $p=0,026$; siehe Abbildung 19):

Abbildung 19: mittlere Amplitude der P600 im o.a. Intervall von 350 ms in den Bedingungen der Interaktion Semiotik x Kongruenz ($F_{1,17}=6,03$; $p=0,026$)

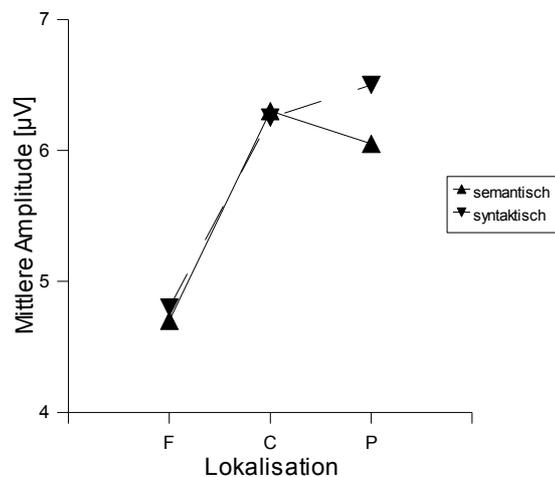
Die Differenz zwischen kongruenten und inkongruenten Trials war in den semantischen Bedingungen kleiner als in den syntaktischen. Semantisch kongruente Bedingungen evozierten eine größere P600 als syntaktisch kongruente. Im Gegensatz dazu evozierten syntaktisch inkongruente Bedingungen eine größere P600 als semantisch inkongruente.



Semiotik x Elektrode ($F_{1,16}=4,06$; $p=0,027$):

Wie in Abbildung 20 dargestellt, zeigte sich nur am Ort Pz ein semiotikbezogener Unterschied, indem die Amplitude in den syntaktischen Bedingungen größer war. Einzel genommen erreichte dieser Unterschied aber nicht die Signifikanzgrenze ($F_{1,16}=2,28$; $p=0,150$).

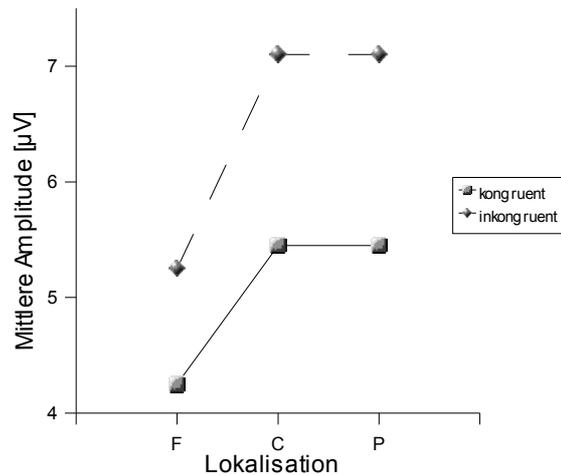
Abbildung 20: mittlere Amplitude der P600 in den Bedingungen der Interaktion Semiotik x Elektrode ($F_{1,17}=4,06$; $p=0,027$)



Kongruenz x Elektrode ($F_{1,16}=10,71$; $p<0,001$; siehe Abbildung 21):

Die Differenz zwischen den kongruenten und inkongruenten Trials war an der frontalen Elektrode kleiner als an den anderen Elektroden ($F_{1,16}=24,86$; $p<0,001$).

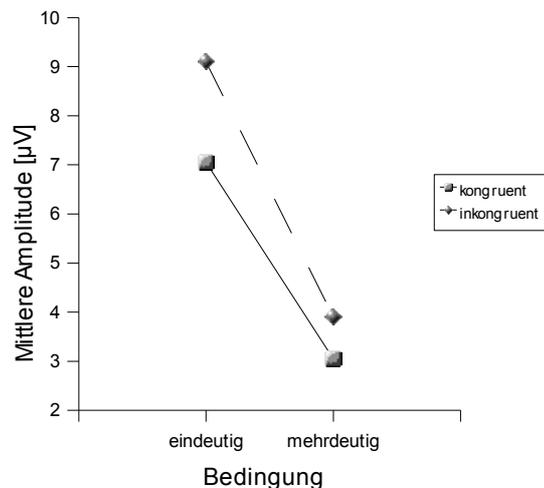
Abbildung 21: mittlere Amplitude der P600 in den Bedingungen der Interaktion Kongruenz x Elektrode ($F_{1,17}=10,71$; $p<0,001$)



Entropie x Kongruenz ($F_{1,16}=8,49$; $p=0,010$; siehe Abbildung 22):

Der Unterschied zwischen kongruenten und inkongruenten Trials war signifikant (eindeutig: $F_{1,16}=37,16$; $p<0,001$; mehrdeutig: $F_{1,16}=11,90$; $p=0,003$) und in den eindeutigen Bedingungen größer als in den mehrdeutigen Bedingungen.

Abbildung 22: mittlere Amplitude der P600 in den Bedingungen der Interaktion Entropie x Kongruenz ($F_{1,17}=8,49$; $p=0,010$)



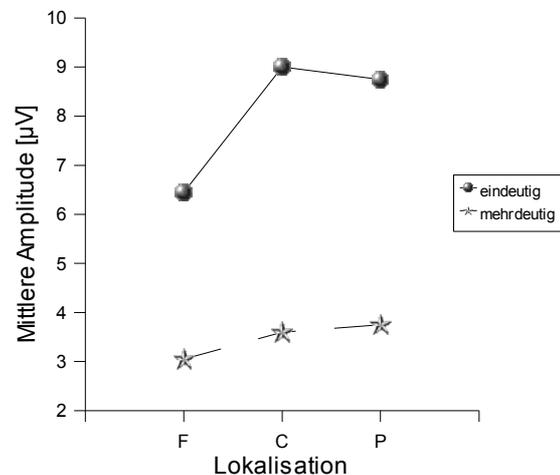
Entropie x Elektrode ($F_{1,16}=29,122$ $p<0,001$; siehe Abbildung 23):

Versuchte man die oben gewonnene Erkenntnis, dass die P600 in eindeutigen Bedingungen größer als in mehrdeutigen war, auf die einzelnen Elektroden aufzuschlüsseln, so sah man, dass die P600 der eindeutigen Bedingungen wiederum an der frontalen Elektrode am kleinsten war.

Während sich Cz und Pz nicht unterschieden, erreichte Fz signifikant kleinere Werte, was die eindeutigen ($F_{1,16}=72,84$; $p<0,001$) und die mehrdeutigen ($F_{1,16}=12,57$; $p=0,003$) Bedingungen angeht.

Die Differenz zwischen Fz und den anderen Elektroden war für eindeutige Bedingungen größer als für mehrdeutige.

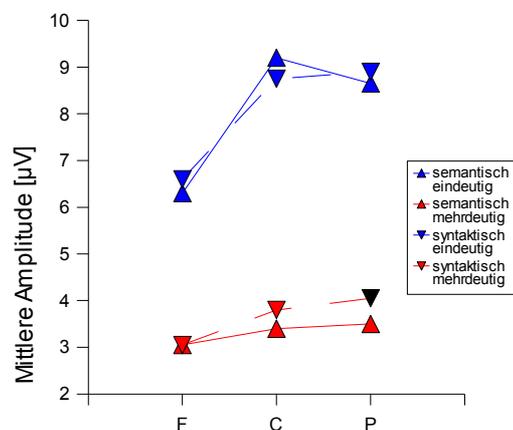
Abbildung 23: mittlere Amplitude der P600 in den Bedingungen der Interaktion Entropie x Elektrode ($F_{1,17}=29,12$; $p<0,001$)



Semiotik x Entropie x Elektrode ($F_{1,16}=3,36$; $p=0,047$; siehe Abbildung 24):

Mehrdeutige syntaktische Bedingungen riefen eine größere P600 hervor als mehrdeutige semantische, dieser Effekt nahm von frontal nach parietal zu. In Paarvergleichen an den einzelnen Elektroden konnte sie aber nicht bestätigt werden. Eindeutige semantische und syntaktische Bedingungen riefen jeweils eine gleich hohe P600 hervor.

Abbildung 24: mittlere Amplitude der P600 in den Bedingungen der Interaktion Semiotik x Entropie x Elektrode ($F_{1,17}=3,36$; $p=0,047$)



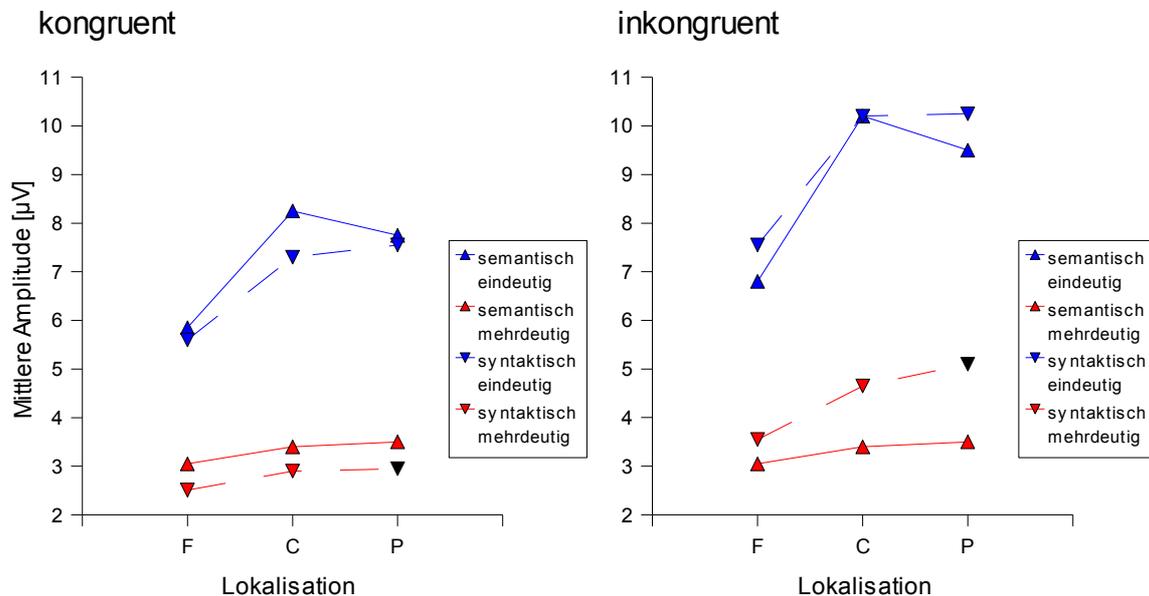
Lokalisation

Semiotik x Entropie x Kongruenz x Elektrode ($F_{1,16}=3,59$; $p=0,039$; siehe Abbildung 25):

Der oben beschriebene Effekt, dass die Differenz zwischen mehrdeutigen syntaktischen und mehrdeutigen semantischen Bedingungen von frontal nach parietal zunimmt, war auf die inkongruente Bedingung beschränkt und konnte nun auch in Paarvergleichen für die zentrale ($F_{1,16}=5,15$; $p=0,037$) und parietale Elektrode ($F_{1,16}=5,15$; $p<0,001$) bestätigt werden.

Alle sonstigen Paarvergleiche bezüglich der Semiotik erreichten nicht die Signifikanzgrenze.

Abbildung 25: mittlere Amplitude der P600 in den Bedingungen der Interaktion Semiotik x Entropie x Kongruenz x Elektrode ($F_{1,17}=3,59$; $p=0,039$)



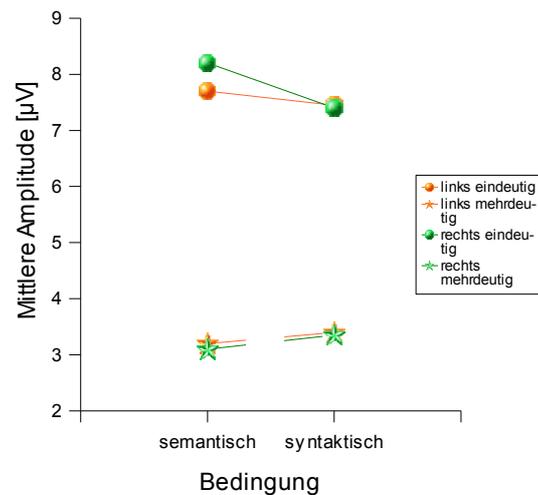
B) medial

In den medialen Ableitungen setzten sich diese Effekte durchgehend fort (vergleiche auch Abbildung 12).

In Kombination mit dem Faktor Hemisphäre zeigte sich lediglich eine neue signifikante Interaktion zwischen Hemisphäre, Semiotik und Entropie ($F_{1,16}=16,43$; $p=0,001$; siehe Abbildung 26).

Im Vergleich zu den Ableitungen der Mittellinie nahm die Amplitude der P600 medial etwas ab. Die semantisch eindeutigen Bedingungen waren rechts stärker ausgeprägt, hemisphärische Unterschiede konnten in den Paarvergleichen zwischen semantischen und syntaktischen Bedingungen allerdings nicht bestätigt werden.

Abbildung 26: mittlere Amplitude der P600 in den Bedingungen der Interaktion Hemisphäre x Semiotik x Entropie ($F_{1,17}=16,43$; $p=0,001$)



C) lateral

In den lateralen Ableitungen traten auch alle zuvor genannten Effekte mit der einzigen Ausnahme der nicht mehr signifikanten Interaktion Entropie x Kongruenz ($F_{1,16}=1,38$; $p=0,257$) auf.

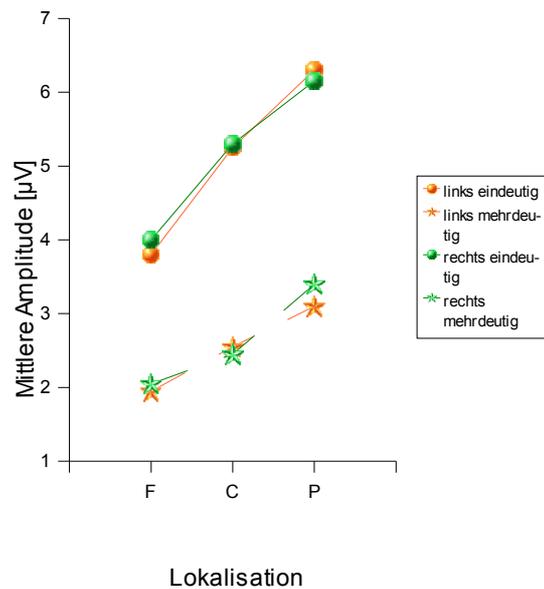
In Kombination mit dem Faktor Hemisphäre erwiesen neben der komplexen Interaktion Hemisphäre x Semiotik x Entropie x Kongruenz x Elektrode ($F_{1,16}=$

4,35; $p=0,021$; durch die anderen Interaktionen ausreichend beschrieben) folgende Effekte als signifikant:

Hemisphäre x Entropie x Elektrode ($F_{1,16}=4,10$; $p=0,026$; siehe Abbildung 27):

Lateral war der Effekt Entropie x Elektrode signifikant ($F_{1,16}=15,60$; $p=0,026$). Betrachtete man zusätzlich den Faktor Hemisphäre, so blieb die Interaktion im Gegensatz zu den medialen Elektroden weiterhin signifikant, allerdings ließ sich in Paarvergleichen kein signifikanter Unterschied in den einzelnen Punkten zwischen den beiden Hemisphären finden.

Abbildung 27: mittlere Amplitude der P600 in den Bedingungen der Interaktion Hemisphäre x Entropie x Elektrode ($F_{1,17}=4,10$; $p=0,026$)



Hemisphäre x Entropie x Kongruenz x Elektrode ($F_{1,16}=5,42$; $p=0,009$) (siehe Abbildung 28):

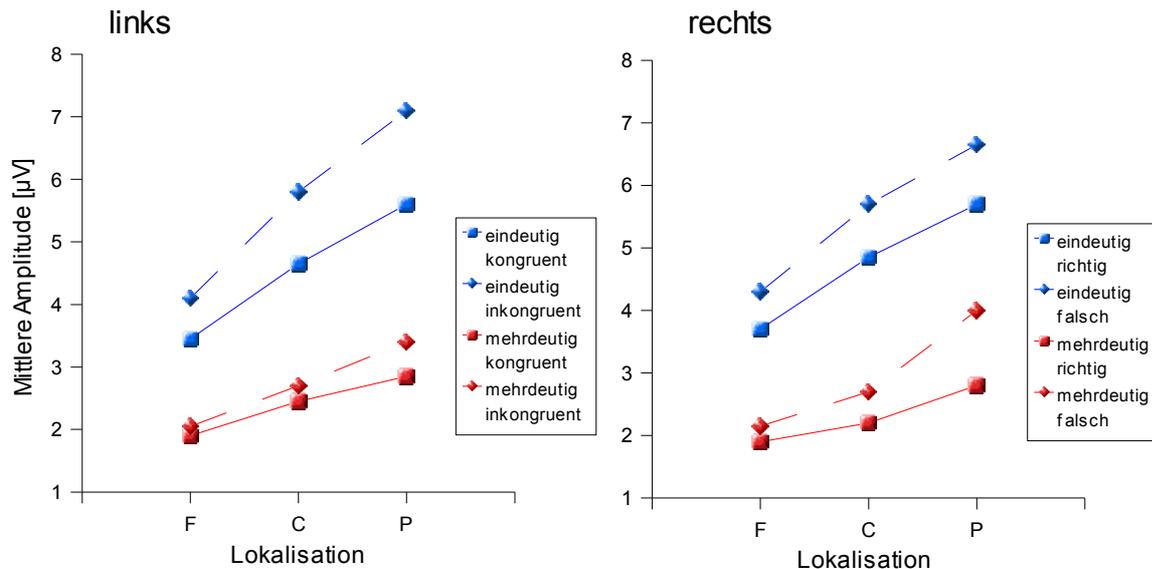
Entropie x Kongruenz x Elektrode ($F_{1,16}=0,39$; $p=0,679$) allein war nicht signifikant, wurde dies aber bei zusätzlicher Betrachtung des Faktors Hemisphäre. Die P600 nahm von frontal nach parietal an den lateralen Elektroden stetig zu.

Dies war dahingehend bemerkenswert, da in der Mittellinie kein Unterschied zwischen zentralen und parietalen Elektroden gefunden werden konnte und sich somit erst in den lateralen Ableitungen die maximale Amplitude der P600 eindeutig in die posteriore Richtung verschob.

Inkongruente Bedingungen evozierten links und kongruente rechts eine größere

Amplitude der P600, in weiteren paarweisen Analysen ließ sich zwischen linker und rechter Hemisphäre jedoch kein signifikanter Unterschied herausfiltern.

Abbildung 28: mittlere Amplitude der P600 in den Bedingungen der Interaktion Hemisphäre x Entropie x Kongruenz x Elektrode ($F_{1,17}=5,42$; $p=0,009$)



Zusammenfassung P600:

In inkongruenten Trials wurde eine größere P600 als in kongruenten gemessen. Dabei waren die Amplitude der P600 sowie der P600-Effekt (Differenz zwischen kongruenten und inkongruenten Trials) zentroparietal am größten.

Eindeutige Bedingungen riefen eine größere P600 hervor als mehrdeutige. Auch der P600-Effekt war in eindeutigen Bedingungen größer als in mehrdeutigen.

Für die Semiotik konnte kein Haupteffekt gefunden werden, auch nicht an den einzelnen Elektroden betrachtet. Es wurde allerdings ein größerer P600-Effekt in syntaktischen als in semantischen Bedingungen gemessen. Außerdem fand sich eine größere P600 in syntaktischen als in semantischen Bedingungen in mehrdeutigen inkongruenten Bedingungen zentroparietal.

Die P600 zeigte an den Elektroden der Mittellinie ein zentroparietales und an den seitlichen Elektroden ein eher nach posterior verschobenes

Aktivierungsmuster. Dabei zeigten die semantisch eindeutigen Bedingungen eine leichte Rechtstendenz.

2.2 Nachversuch

Zur Ermittlung der Zeitfenster für die N400 und die P600 wurde im Nachversuch wie in den Hauptversuchen vorgegangen und folgende Bereiche ermittelt (Tabelle 12):

Tabelle 12: Bereiche der N400/P600 der Nachuntersuchung

Sem_ein_N400	250,00ms – 450,00ms
Syn_ein_N400	270,00ms – 470,00ms
Anto_N400	300,00ms - 500,00ms
Sem_ein_P600	470,00ms - 820,00ms
Syn_ein_P600	470,00ms - 820,00ms
Anto_P600	470,00ms - 820,00ms

Die eindeutigen Bedingungen der Hauptversuche erforderten eine motorische Reaktion (Tastendruck). Um deren Einfluss auf die Ergebnisse zu überprüfen wurden Wiederholungsversuche durchgeführt, in denen die motorische Reaktion durch Zählen der falschen Sätze ersetzt wurde.

Im Folgenden wurden zuerst die Wiederholungsversuche auf Effekte untersucht (Kapitel 2.2.1) und in einem zweiten Schritt (Kapitel 2.2.2) mit den Hauptversuchen verglichen.

Die Antonyme werden vorerst nicht berücksichtigt und im Kapitel 2.3 betrachtet.

2.2.1 Wiederholungsversuche

Die Auswertung erfolgte mittels SPSS. Da nur die Versuche, die im Hauptversuch einen Tastendruck erforderten, wiederholt wurden (also nur die jeweils eindeutigen Bedingungen) ergaben sich folgende Faktoren: Semiotik, Kongruenz, Elektrode und Hemisphäre. Der Faktor Hemisphäre spielte nur in den seitlichen Ableitungen eine Rolle.

I. N400

A) Mittellinie

In den Ableitungen der Mittellinie waren die gleichen Effekte und Interaktionen wie in den Hauptversuchen signifikant:

Syntaktische Bedingungen evozierten eine größere N400 als semantische (Haupteffekt Semiotik: $F_{1,12}=11,11$; $p=0,007$), die absolute Amplitude der N400 nahm von anterior nach posterior hin zu (Haupteffekt Elektrode: $F_{1,12}=2,73$; $p=0,040$). Inkongruente Stimuli riefen eine größere N400 hervor als kongruente, dies allerdings nur in der semantischen Bedingung, nicht in der syntaktischen (Semiotik x Kongruenz: $F_{1,12}=5,52$; $p=0,039$).

In den Nachversuchen zeigten sich durchgängig negativere Werte, also eine größere N400, als in den Hauptversuchen.

B) medial

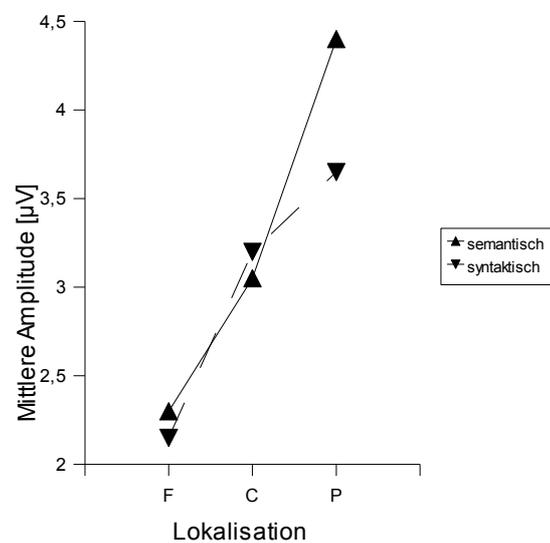
Im Gegensatz zu den Hauptversuchen, in denen kongruente Trials in den medialen Ableitungen eine kleinere N400 evozierten als inkongruente, bestand dieser Unterschied in den Nachversuchen nicht ($F_{1,12}=0,47$; $p=0,508$). Der Faktor Hemisphäre interagierte nur mit dem Faktor Semiotik (Hemisphäre x Semiotik: $F_{1,12}=5,41$; $p=0,040$), in dem Sinne, dass die N400 der semantischen Bedingungen etwas nach links und die der syntaktischen etwas nach rechts verschoben war. Ansonsten entsprachen die Befunde denen der Ableitungen der Mittellinie. Die N400 war in den Nachversuchen wiederum größer als in den Hauptversuchen.

C) lateral

Bis auf eine Ausnahme entsprachen die Befunde denen der Hauptuntersuchung:

Die Faktoren Semiotik und Elektrode zeigten im Gegensatz zu den Mittellinien- und medialen Elektroden eine signifikante Interaktion ($F_{1,12}=6,51$; $p=0,006$; siehe Abbildung 29). Dieser Effekt ließ sich am ehesten auf die größere N400 der syntaktischen gegenüber der semantischen Bedingung in der parietalen Elektrode zurückführen, die sich bei tiefergehender Analyse (Paarvergleiche) allerdings knapp als nicht signifikant erwies ($F_{1,12}=3,76$; $p=0,079$).

Abbildung 29: mittlere Amplitude der N400 in den Bedingungen der Interaktion Semiotik x Elektrode ($F_{1,12}=6,51$; $p=0,006$)



II. P600

A) Mittellinie

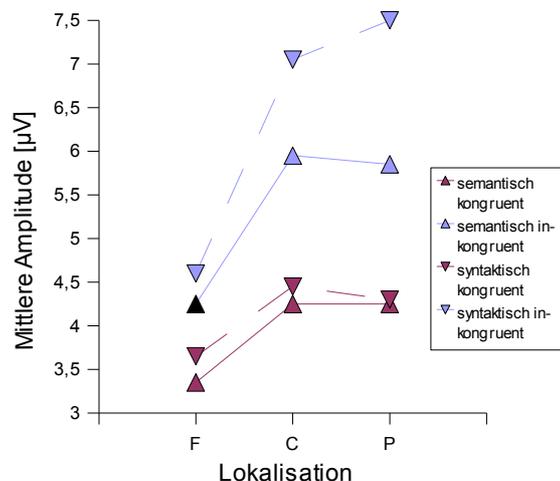
In den Ableitungen der Mittellinie wiederholten sich die Effekte der Hauptuntersuchung: Inkongruente Trials evozierten eine größere P600 als kongruente (Haupteffekt Kongruenz: $F_{1,12}=34,40$; $p<0,001$), die Amplitude war frontal kleiner als zentroposterior (Haupteffekt Elektrode: $F_{1,12}=22,46$; $p<0,001$) und die Differenz zwischen den kongruenten und inkongruenten Trials war an

der frontalen Elektrode kleiner als an den anderen Elektroden (Kongruenz x Elektrode: $F_{1,12}=18,02$; $p=0,028$). Die Amplituden der P600 waren in der Nachuntersuchung durchgehend kleiner als in der Hauptuntersuchung.

Im Gegensatz zu den Ergebnissen der Hauptversuche zeigte sich in den Nachversuchen allerdings auch eine neue Interaktion von Semiotik, Kongruenz und Elektrode ($F_{1,12}=4,25$; $p=0,028$).

Inkongruente syntaktische Trials evozierten eine größere P600 als inkongruente semantische (siehe Abbildung 30). In Paarvergleichen konnte dieser Unterschied nur in der parietalen Elektrode im Gegensatz zu der frontalen und zentralen Elektrode gefunden werden.

Abbildung 30: mittlere Amplitude der P600 in den Bedingungen der Interaktion Semiotik x Kongruenz x Elektrode ($F_{1,12}=4,25$; $p=0,028$):



B) medial

In den medialen Ableitungen wiederholten sich alle Effekte der Mittellinie, die P600 zeigte jeweils kleineren Amplituden als in der Mittellinie. Im Gegensatz zu den Hauptversuchen war keine Interaktion mit dem Faktor Hemisphäre signifikant.

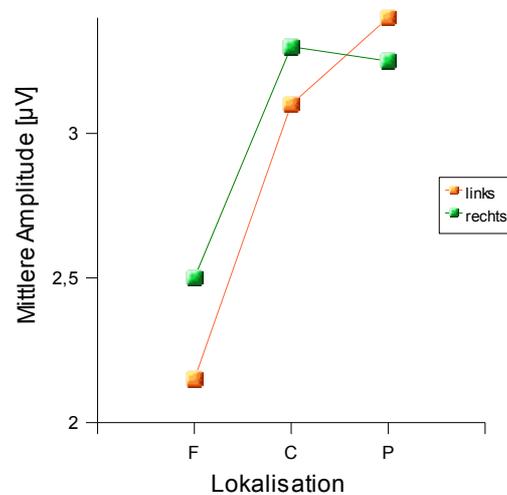
C) lateral

Die Interaktion der medialen Elektroden von Semiotik, Kongruenz und Elektrode wiederholte sich nicht in den lateralen Elektroden ($F_{1,12}=1,55$; $p=0,234$).

In Kombination mit dem Faktor Hemisphäre zeigten sich nun zwei neue Interaktionen signifikant, die Amplituden der P600 waren wiederum kleiner: Hemisphäre x Elektrode ($F_{1,12}=5,26$; $p=0,014$; siehe Abbildung 31):

Frontozentral war die Amplitude der P600 rechts größer, parietal links. In Paarvergleichen konnte dieser Unterschied nur für die frontale Elektrode bestätigt werden.

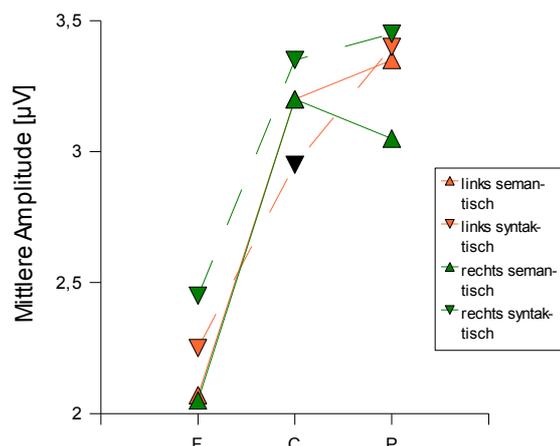
Abbildung 31: mittlere Amplitude der P600 in den Bedingungen der Interaktion Hemisphäre x Elektrode ($F_{1,12}=5,26$; $p=0,014$)



Hemisphäre x Semiotik x Elektrode ($F_{1,12}=5,38$; $p=0,013$; siehe Abbildung 32):

Parietal rechts evozierte die syntaktische Bedingung eine größere P600 als die semantische. In Paarvergleichen konnten allerdings keine Unterschiede zwischen semantischen und syntaktischen Elektroden oder zwischen rechter und linker Hemisphäre gefunden werden.

Abbildung 32: mittlere Amplitude der P600 in den Bedingungen der Interaktion Hemisphäre x Semiotik x Elektrode ($F_{1,12}=5,38$; $p=0,013$)



2.2.2 Bedeutung Tastendruck

Lokalisation

Lassen sich in den Hauptversuchen beobachtete Effekte der eindeutigen Bedingungen auf die abweichende Versuchsbedingung, die motorische Reaktion des Tastendrucks, zurückführen?

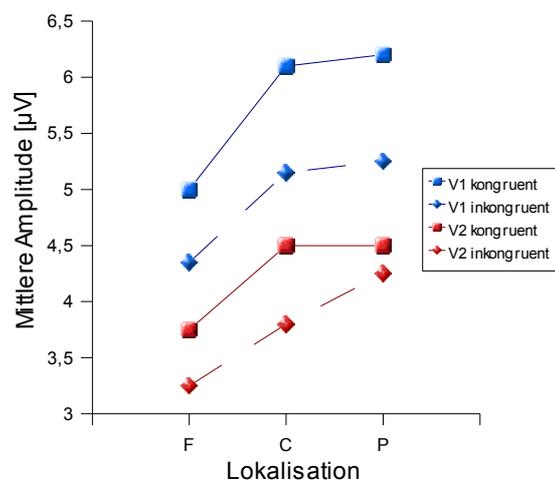
Um dieser Frage weiter nachzugehen, wurde im Folgenden untersucht, ob und inwiefern sich Haupt- und Nachversuche unterschieden. Dazu wurde ein zusätzlicher Faktor „Wiederholung“ mit zwei Stufen eingeführt: V1 für die Hauptversuche und V2 für die Nachversuche.

I. N400

A) Mittellinie

Die N400 in den Nachversuchen war größer als in den Hauptversuchen (Wiederholung: $F_{1,27}=10,48$; $p=0,003$). Allerdings verliefen die EKP-Kurven größtenteils parallel, der Faktor "Wiederholung" interagierte nicht mit den anderen Faktoren bis auf die Wechselwirkung für Kongruenz x Elektrode x Wiederholung ($F_{2,54}=5,48$; $p=0,007$; siehe Abbildung 33):

Abbildung 33: Vergleich der mittleren Amplitude der N400 in den Haupt- und Nachuntersuchungen für die Bedingungen der Interaktion Kongruenz x Elektrode



In den inkongruenten Bedingungen der Nachversuche nahm die N400 von der

zentralen zur parietalen Elektrode im Gegensatz zu den anderen Bedingungen weiter ab. Diese Abnahme war in Paarvergleichen allerdings nicht signifikant.

Führte man die Varianzanalyse für die Gesamtheit der Daten aus den Haupt- und Nachversuchen durch, so evozierten die inkongruenten Trials größere N400 als kongruente, diese Differenz ist frontal kleiner als zentroparietal (Kongruenz x Elektrode; $F_{2,54}=3,52$; $p=0,037$). Für Haupt- und Nachversuche isoliert bestand diese Interaktion nicht.

Dasselbe galt für die medialen Elektroden, nicht aber für die lateralen, wo der Unterschied nicht mehr signifikant war.

B) medial

Medial war die Interaktion von Hemisphäre, Semiotik und Kongruenz nur für die Gesamtheit der Daten aus Haupt- und Nachversuchen signifikant ($F_{1,27}=4,80$; $p=0,037$). In den semantischen Bedingungen evozierten die inkongruenten, in den syntaktischen die kongruenten die jeweils größere N400. Die semantischen Bedingungen waren links, die syntaktischen rechts etwas stärker ausgeprägt.

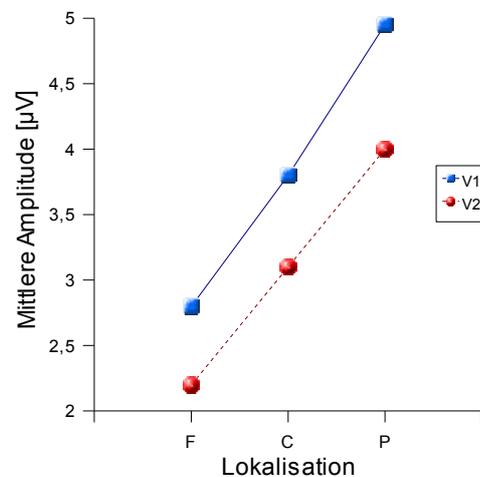
Wie auch in der Mittellinie war die N400 in allen Punkten in den Nachuntersuchungen gegenüber der Hauptuntersuchung kleiner ($F_{1,27}=7,95$; $p=0,009$).

Außerdem zeigte sich wiederum der gleiche Effekt für Wiederholung x Kongruenz x Elektrode wie in den Ableitungen der Mittellinie ($F_{2,54}=7,95$; $p=0,009$; siehe Abbildung 33).

C) lateral

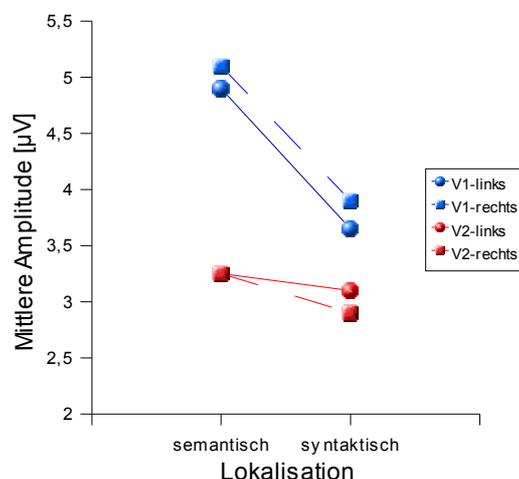
Lateral war beim Vergleich der Haupt- und Nachversuche ein signifikanter Unterschied zwischen den Elektroden zu beobachten, der auch in der Gesamtheit der Daten auftrat (Wiederholung x Elektrode: $F_{2,54}=68,98$; $p<0,001$; siehe Abbildung 34). Dabei war die Differenz der Amplituden der N400 zwischen Haupt- und Nachversuchen in den parietalen Elektroden etwas größer als in den frontozentralen ($F_{1,27}=11,09$; $p<0,001$).

Abbildung 34: Vergleich der mittleren Amplitude der N400 in den Haupt- und Nachuntersuchungen für die Elektroden



Obwohl die Interaktion von Hemisphäre und Semiotik (siehe Abbildung 35) weder in den einzelnen Versuchen noch in den zusammengefassten Daten signifikant war ($F_{1,27}=1,31$; $p=0,268$) erreichte die Interaktion Hemisphäre x Semiotik x Wiederholung das Signifikanzniveau ($F_{1,27}=4,76$; $p=0,038$), indem in den syntaktischen Bedingungen der Hauptversuche die Amplitude links größer war, in den Nachversuchen dagegen rechts.

Abbildung 35: Vergleich der mittleren Amplitude der N400 in den Haupt- und Nachuntersuchungen für die Bedingungen der Interaktion Hemisphäre x Semiotik



Wie oben schon betrachtet, konnte dieser Unterschied in Paarvergleichen nicht nachvollzogen werden.

Auch die Interaktion von Semiotik x Kongruenz x Elektrode war insgesamt nicht signifikant ($F_{2,54}=0,73$; $p=0,488$), erreichte aber als Semiotik x Kongruenz x Elektrode x Wiederholung die Signifikanzgrenze ($F_{2,54}=5,45$; $p=0,007$): In der syntaktisch inkongruenten Bedingung der zentralen Elektrode war die N400 in V1 größer (6,8 vs. 7,0 mV) als in V2.

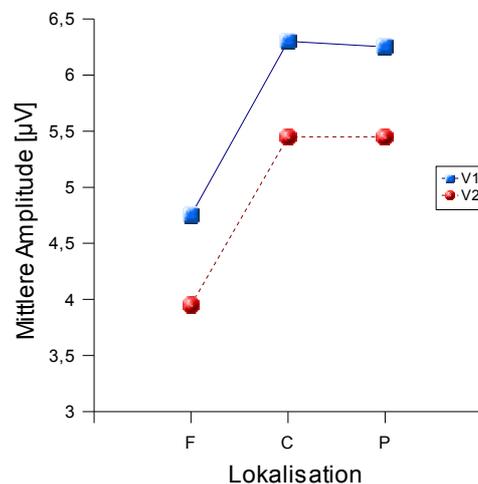
2. P600

A) Mittellinie

In den Versuchen mit Tastendruck, also den Hauptversuchen, war die P600 größer ($F_{1,27}=10,74$; $p=0,003$) als in den Nachversuchen ohne Tastendruck.

Die Differenz der Amplituden der P600 war frontal kleiner als zentroparietal (Elektrode x Wiederholung: $F_{2,54}=4,51$; $p=0,015$; siehe Abbildung 36). Dies gilt auch für die medialen und lateralen Elektroden.

Abbildung 36: Vergleich der mittleren Amplitude der P600 in den Haupt- und Nachuntersuchungen für die Elektroden



B) medial und lateral

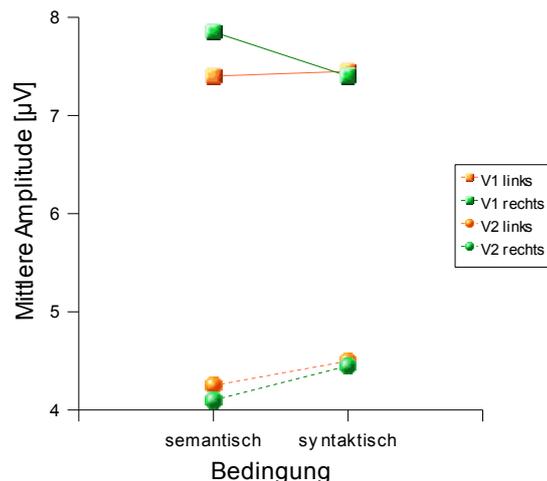
In den seitlichen Ableitungen evozierten die Hauptversuche wiederum eine größere P600 als die Nachversuche.

Außerdem zeigten sich noch weitere Unterschiede zwischen den Versuchen:

Die P600 war in der semantischen Bedingung der Hauptversuche rechts größer als links, in den Nachversuchen dagegen links größer als rechts.

(Hemisphäre x Semiotik x Wiederholung medial: $F_{1,27}=7,30$; $p=0,012$; siehe Abbildung 37). Dieser Unterschied war nicht in den Nachversuchen gefunden worden und war daher auf den Hemisphärenunterschied in der semantischen Bedingung der Hauptversuche zurückzuführen. In der syntaktischen Bedingung bestand kein Unterschied zwischen den Hemisphären.

Abbildung 37: Vergleich der mittleren Amplitude der P600 in den Haupt- und Nachuntersuchungen für die Bedingungen der Interaktion Hemisphäre x Semiotik



Während in den Nachversuchen die Faktoren Semiotik, Kongruenz und Elektrode miteinander interagierten (In der parietalen Elektrode evozierten inkongruente syntaktische Trials eine größere P600 als inkongruente semantische; siehe Abbildung 30.), taten sie das in den Hauptversuchen nicht und darin unterschieden sich Haupt- und Nachversuche (Wechselwirkung Wiederholung x Semiotik x Kongruenz x Elektrode lateral: $F_{2,54}=5,45$; $p=0,007$).

Für die Gesamtheit der Daten konnte ebenfalls keine solche Interaktion gefunden werden.

Dafür war links in der Gesamtheit der Daten im Gegensatz zu den einzelnen Versuchen die Differenz der Amplituden der P600 zwischen frontaler und parietaler Elektrode kleiner als rechts (Hemisphäre x Elektrode medial: $F_{2,54}=4,00$; $p=0,024$).

Zusammenfassung Wiederholungsversuch / Bedeutung Tastendruck:

In den Wiederholungsversuchen ohne Tastendruck zeigten sich insgesamt negativere EKP-Werte als in den Hauptversuchen mit Tastendruck. Dies resultierte in den Nachversuchen in einer größeren N400 und einer kleineren P600. Diese Verschiebung hatte allerdings überwiegend keinen Einfluss auf die Signifikanz der einzelnen Faktoren und der Interaktionen.

Einige Ausnahmen bestanden:

Die N400 zeigte sich medial für Kongruenz und lateral für Semiotik x Kongruenz und Hemisphäre x Semiotik x Elektrode nicht mehr signifikant, dafür lateral für Semiotik x Elektrode. Bei näherer Betrachtung ergaben die jeweils signifikanten Interaktionen allerdings keine neuen Erkenntnisse.

Die P600 unterschied sich jetzt für inkongruente Trials an der parietalen Elektrode, in der syntaktischen Bedingung war die Amplitude hier größer als in der semantischen. Außerdem war lateral an den frontalen Elektroden die Amplitude rechts größer als links.

2.3 Antonyme

Die Daten wurden im Vergleich mit den anderen Bedingungen ausgewertet, um die Hypothese, dass es sich bei Antonymen um ein besseres Modell als Sprichwörter für semantisch eindeutige Bedingungen handelt (da kein Deutungs- / Bewertungseffekt angenommen wird), zu überprüfen.

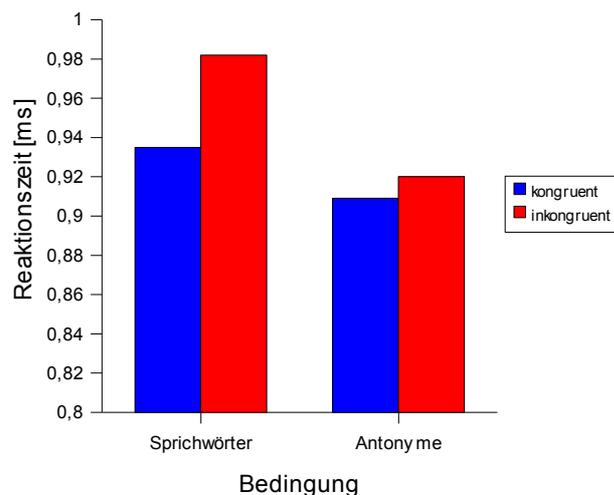
2.3.1 Zusammenfassung Verhaltensdaten

A) Anteil der richtig beantworteten Trials

Kongruente und inkongruente Antonyme wurden im Gegensatz zu Sprichwörtern, bei denen inkongruente Trials häufiger richtig beantwortet wurden, gleich häufig ($F_{1,10}=0,780$; $p=0,393$) richtig beantwortet.

Verglich man die beiden semantischen Bedingungen Sprichwörter und Antonyme (Abbildung 38), so stellte man fest, dass die Reaktion auf Antonyme signifikant häufiger falsch war als auf Sprichwörter ($F_{1,26}=10,64$; $p=0,003$).

Abbildung 38: Anteil der richtig beantworteten kongruenten und inkongruenten Trials für Sprichwörter und Antonyme

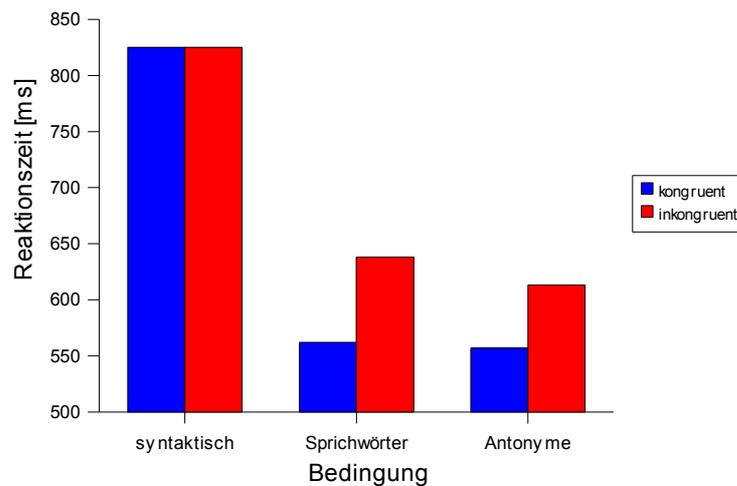


B) Reaktionszeiten

Wie auch auf die Sprichwörter war die Reaktionszeit auf die Antonyme schneller als auf die syntaktische Bedingung. Ebenfalls wie bei den Sprichwörtern und im Gegensatz zur syntaktischen Bedingung war die Reaktionszeit auf kongruente Trials kürzer als auf inkongruente (siehe auch Abbildung 39).

Verglich man die beiden semantischen Bedingungen „Sprichwörter“ und „Antonyme“, zeigte sich kein Unterschied ($F_{1,26}=0,19$; $p=0,670$).

Abbildung 39: Vergleich der Reaktionszeiten (in ms) der semantischen und syntaktischen Bedingung und der Antonyme



2.3.2 Auswertung der Antonyme

Im ersten Schritt wurden die Antonyme getrennt von den anderen Bedingungen betrachtet. Es ergaben sich folgende Faktoren: Kongruenz, Elektrode und Hemisphäre. In den Ableitungen der Mittellinie spielte der Faktor Hemisphäre keine Rolle.

I. N400

A) Mittellinie

Inkongruente Trials riefen eine größere N400 hervor als kongruente (Haupteffekt Kongruenz: $F_{1,10}=27,70$; $p<0,001$), die Amplitude der N400 nahm

von anterior nach posterior hin ab (Haupteffekt Elektrode: $F_{2,20}=15,29$; $p<0,001$; siehe auch Abbildung 40).

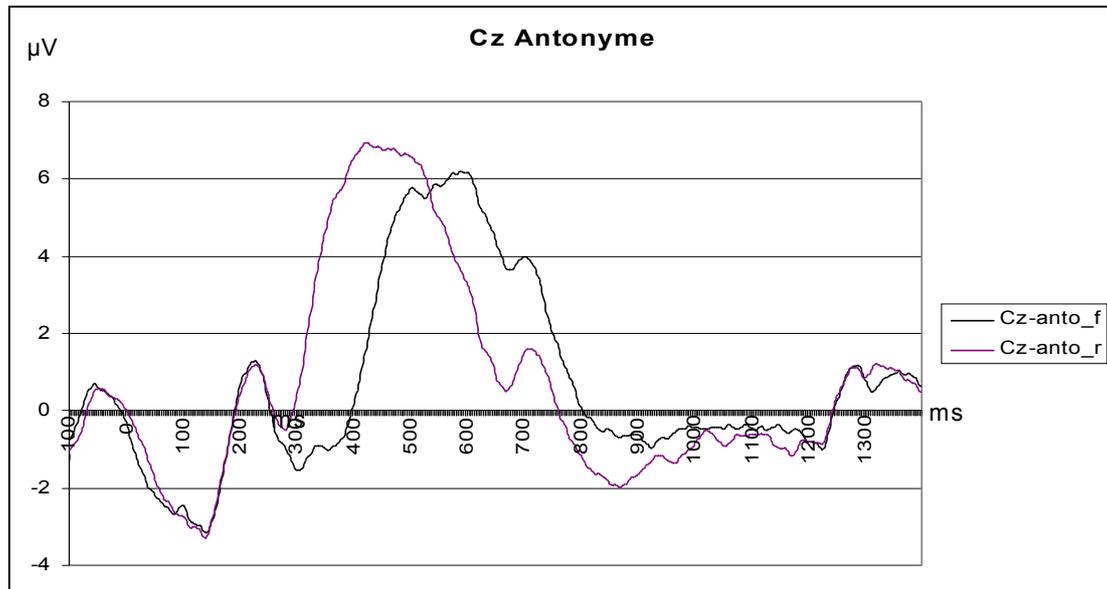
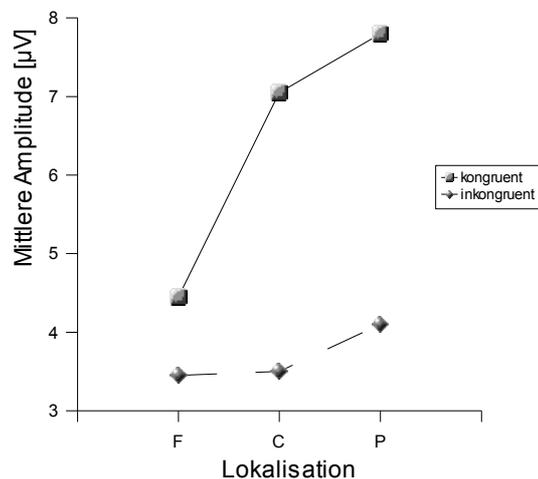


Abbildung 40: EEG-Kurven der Elektrode Cz; anto=Antonyme; r=kongruent; f=inkongruent

In der Mittellinie zeigte sich außerdem eine signifikante Interaktion der Haupteffekte (Kongruenz x Elektrode: $F_{2,20}=29,03$; $p<0,001$; siehe Abbildung 41).

Die inkongruenten Bedingungen zeigten frontozentral eine größere absolute Amplitude als parietal, bei den kongruenten nahm die Amplitude von anterior nach posterior stetig ab. In weiteren Analysen konnte zentroparietal der Unterschied zwischen kongruenten und inkongruenten Bedingungen bestätigt werden, dieser Unterschied bestand frontal nicht ($F_{1,10}=2,99$; $p=0,114$).

Abbildung 41: Vergleich der mittleren Amplitude der N400 für die Bedingungen der Interaktion Kongruenz x Elektrode ($F_{2,20}=29,03$; $p<0,001$)



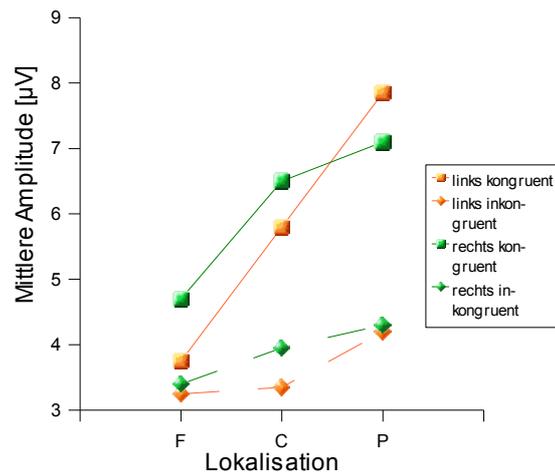
Damit bestand nur zentroparietal ein N400-Effekt.

B) medial

Die Effekte der Mittellinie setzten sich medial fort. Der neue Faktor Hemisphäre interagierte signifikant mit Elektrode ($F_{2,20}=6,42$; $p=0,007$) und mit Elektrode x Kongruenz ($F_{1,10}=7,05$; $p=0,005$):

In der frontalen und zentralen Elektrode evozierten kongruente Bedingungen links eine größere N400, in der parietalen rechts (siehe Abbildung 42). In Paarvergleichen konnte dieser Unterschied für die frontale Elektrode bestätigt werden. In der inkongruenten Bedingung bestand kein Hemisphärenunterschied bis auf die zentrale Elektrode, wo die die N400 links größer war. Die Paarvergleiche waren nicht signifikant.

Abbildung 42: Vergleich der mittleren Amplitude der N400 für die Bedingungen der Interaktion Hemisphäre x Kongruenz x Elektrode ($F_{1,10}=7,05$; $p=0,005$)



C) lateral

An den lateralen Elektrode setzten sich die Effekte bis auf den Haupteffekt Kongruenz ($F_{1,10}=1,19$; $p=0,301$) fort.

II. P600

A) Mittellinie

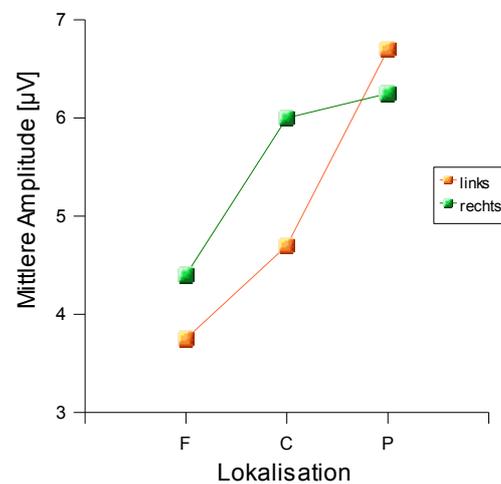
An den Elektroden der Mittellinie war nur der Haupteffekt Elektrode ($F_{2,20}=6,04$; $p=0,009$) und keine Interaktion signifikant. Die Amplitude der P600 nahm von anterior nach posterior stetig zu (für EEG-Kurven siehe auch Abbildung 40).

B) medial

Dieser Effekt setzte sich nach medial hin fort.

Betrachtete man den Unterschied zwischen rechter und linker Hemisphäre über die Elektroden (Elektrode x Hemisphäre: $F_{2,20}=4,52$; $p=0,024$; siehe Abbildung 43), so war die P600 frontozentral rechts größer als links, parietal konnte kein Unterschied gefunden werden ($F_{1,10}=1,50$; $p=0,248$).

Abbildung 43: Vergleich der mittleren Amplitude der P600 für die Bedingungen der Interaktion Elektrode x Hemisphäre ($F_{2,20}=4,52$; $p=0,024$)



C) lateral

An den lateralen Elektroden setzten sich diese Effekte fort, dazu war die Amplitude rechts größer als links (Hemisphäre: $F_{1,10}=13,24$; $p=0,005$).

Zusammenfassung Antonyme:

Inkongruente Trials riefen eine größere N400 hervor als kongruente, diese Differenz nahm nach lateral hin ab. Die absolute Amplitude der N400 war frontal am größten, aber der Kongruenzeffekt nahm in der posterioren Richtung zu, und somit auch der N400-Effekt. Die N400 in den kongruenten Bedingungen war frontozentral etwas nach links verschoben.

Es gab keinen Kongruenzeffekt auf die P600. Deren Amplitude war frontozentral rechts größer als links.

2.3.3 Vergleich Antonyme – Sprichwörter

Im nächsten Schritt wurden die Daten der Antonyme mit denen der Sprichwörter verglichen um Vorzüge des einen oder anderen Modells zu finden. Für die Sprichwörter wurden die Daten aus den Hauptversuchen herangezogen, da auf diese auch mit Tastendruck reagiert werden musste und somit die Versuchsbedingungen möglichst ähnlich waren.

Als Variablen ergaben sich: Hemisphäre, Kongruenz und Elektrode sowie ein neuer Faktor Versuch (Antonyme – Sprichwörter). Dieser wurde als Zwischensubjektcontrast behandelt um das Problem der ungleichen Probandenzahl zu lösen.

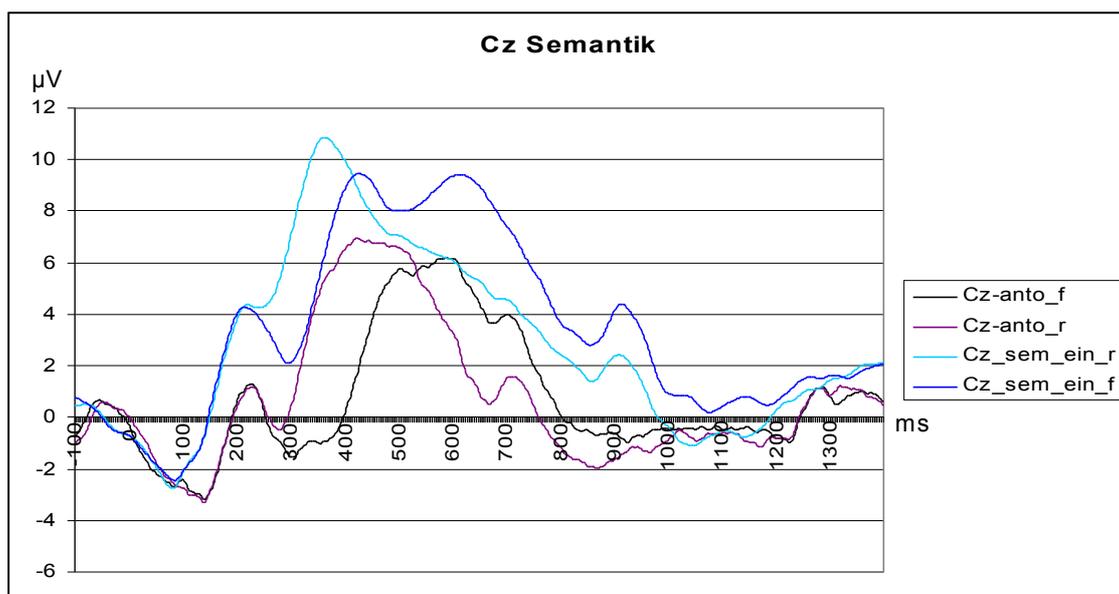
I. N400

A) Mittellinie

Nahm man alle Daten zusammen, so war die Amplitude der N400 größer in kongruenten als inkongruenten Trials ($F_{1,26}=30,27$; $p<0,001$), größer frontozentral als parietal (Haupteffekt Elektrode: $F_{2,52}=16,70$; $p<0,001$), und der Kongruenzeffekt nahm von vorne nach hinten zu (Wechselwirkung Kongruenz x Elektrode: $F_{2,52}=32,86$; $p<0,001$). Die EEG-Kurven sind in Abbildung 44 dargestellt.

Antonyme evozierten eine größere N400 als Sprichwörter (Haupteffekt Versuch: $F_{1,26}=11,29$; $p=0,002$), allerdings verliefen die Kurven praktisch parallel, so dass der Faktor Versuch nicht mit den anderen Faktoren interagierte.

Abbildung 44: EEG-Kurven der Elektrode Cz; anto=Antonyme; sem=semantisch: ein=eindeutig; r=kongruent; f=inkongruent



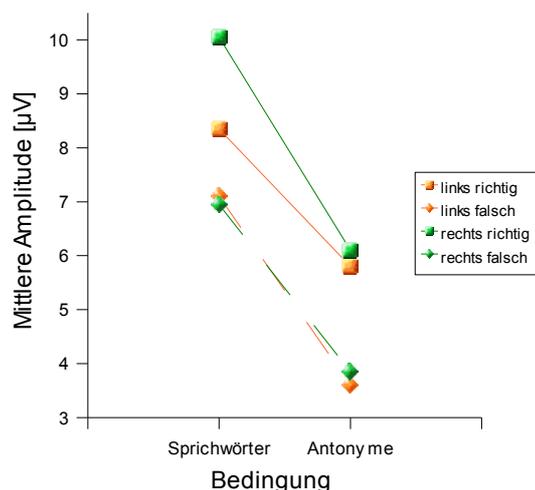
B) medial

Für die Gesamtheit aller Daten wiederholten sich an den medialen Elektroden alle Effekte der Mittellinie. Außerdem war links die N400 größer als rechts (Haupteffekt Hemisphäre: $F_{1,26}=5,57$; $p=0,026$), der Unterschied bestand vor allem in den frontozentralen im Gegensatz zur parietalen Elektrode, wo kein Unterschied festgestellt werden konnte (Interaktion Hemisphäre x Elektrode $F_{2,52}=5,34$; $p=0,030$). Kongruente Trials riefen in der linken Hemisphäre eine größere N400 als rechts hervor, für die inkongruenten bestand dieser Unterschied nicht (Interaktion Hemisphäre x Kongruenz ($F_{1,26}=5,28$; $p=0,030$)). Bei weiterer Analyse konnte nur in der kongruenten Bedingung an den frontozentralen Elektroden links eine größere Amplitude als rechts gemessen werden (Interaktion Hemisphäre x Kongruenz x Elektrode: $F_{2,52}=4,57$; $p=0,015$). Betrachtete man den Unterschied zwischen Antonymen und Sprichwörtern (Haupteffekt Versuch: $F_{1,26}=12,74$; $p=0,001$), so fielen neben der Tatsache, dass Antonyme eine größere N400 als Sprichwörter evozierten, zwei Interaktionen auf: einerseits mit den Faktoren Hemisphäre und Kongruenz ($F_{1,26}=4,46$; $p=0,045$), andererseits mit den Faktoren Hemisphäre und Elektrode ($F_{2,52}=3,22$; $p=0,048$):

Versuch x Hemisphäre x Kongruenz
(siehe Abbildung 45):

Abbildung 45: Vergleich der mittleren Amplitude der N400 für die Bedingungen der Interaktion Versuch x Hemisphäre x Kongruenz ($F_{1,26}=4,46$; $p=0,045$)

In der kongruenten Bedingung riefen Sprichwörter links eine größere N400 als rechts hervor ($F_{1,26}=8,63$; $p=0,010$). Dadurch unterschieden sie sich von den Antonymen. Ansonsten verliefen die Kurven annähernd parallel und es konnte kein weiterer Unterschied



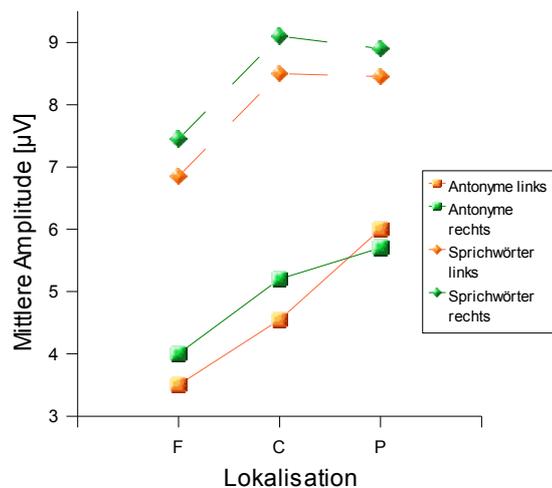
bezüglich der Hemisphären gefunden werden.

Versuch x Elektrode x Hemisphäre (siehe Abbildung 46)

Abbildung 46: Vergleich der mittleren Amplitude der N400 für die Bedingungen der Interaktion Versuch x Elektrode x Hemisphäre ($F_{2,52}=3,22$; $p=0,048$)

Die Amplitude der N400 war bei Antonymen und Sprichwörtern links größer als rechts bis auf die parietale Elektrode, wo kein Unterschied gefunden werden konnte.

Die Antonyme zeigten links in Gegensatz zur rechten Hemisphäre und zu den Sprichwörtern ein weitere Abnahme der N400 von der zentralen zur parietalen Elektrode.



C) lateral

Bis auf Kongruenz x Elektrode wiederholten sich in den lateralen Ableitungen alle Interaktionen der medialen Ableitungen. Die Antonyme riefen wieder eine größere N400 als Sprichwörter hervor ($F_{1,26}=8,92$; $p=0,006$). Der Faktor Versuch interagiert aber nicht mit den anderen Bedingungen.

II. P600

A) Mittellinie

Betrachtete man alle Daten zusammengenommen, so riefen inkongruente Bedingungen eine größere P600 als kongruente hervor (Haupteffekt Kongruenz: $F_{1,26}=8,65$; $p=0,007$), und die Amplitude nahm von anterior nach

posterior zu (Haupteffekt Elektrode: $F_{2,52}=29,01$; $p<0,001$; EEG-Kurven in Abbildung 44)

Diesmal riefen die Sprichwörter eine größere P600 als Antonyme hervor (Haupteffekt Versuch: $F_{1,26}=5,83$; $p=0,023$). Allerdings bestand zwischen diesem und den anderen Faktoren keine Interaktion.

B) medial

Auch an den medialen Elektroden bestand keine Interaktion. Für die Gesamtheit der Daten war die P600 rechts größer als links ($F_{1,26}=9,80$; $p=0,004$), diese Differenz bestand nur für die frontozentrale, nicht für die parietale Elektrode (Interaktion Hemisphäre x Elektrode: $F_{2,52}=9,96$; $p<0,001$).

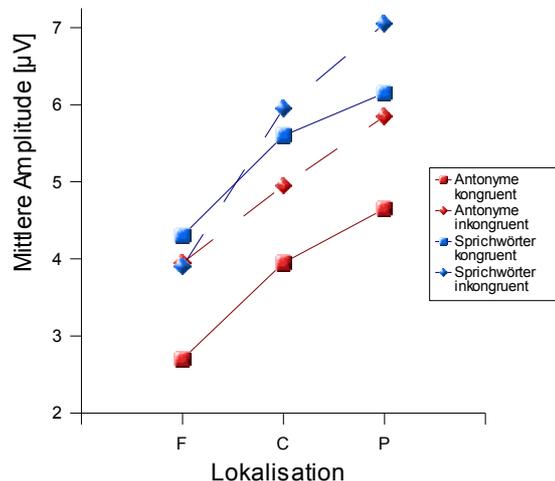
C) lateral

An den lateralen Elektroden nahm neben diesen Effekten für die Gesamtheit der Daten die Differenz zwischen kongruenten und inkongruenten Bedingungen von anterior nach posterior hin zu (Kongruenz x Elektrode: $F_{2,52}=3,69$; $p=0,032$). Außerdem bestanden zwei Unterschiede zwischen Antonymen und Sprichwörtern:

Versuch x Kongruenz x Elektrode ($F_{2,52}=4,27$; $p=0,019$; siehe Abbildung 47):

Sprichwörter riefen eine größere P600 hervor als Antonyme. Die Differenz zwischen inkongruenten (größere P600) und kongruenten Sprichwörtern nahm nach posterior hin zu (Kongruenz x Elektrode $F_{2,52}=9,61$; $p=0,001$). Diesen Effekt findet man bei den Antonymen nicht ($F_{2,20}=0,22$; $p=0,801$), die Differenz zwischen

Abbildung 47: Vergleich der mittleren Amplitude der P600 für die Bedingungen der Interaktion Versuch x Kongruenz x Elektrode ($F_{2,52}=4,27$; $p=0,019$)

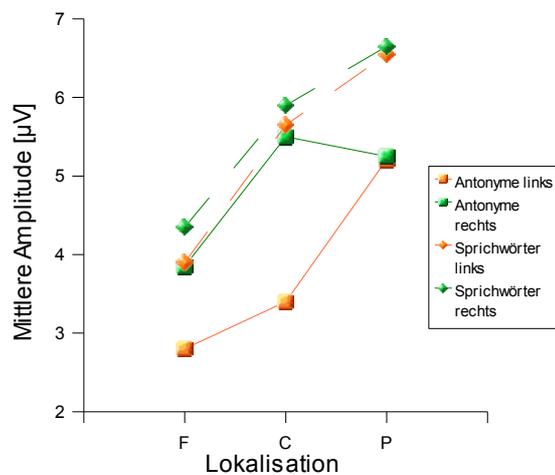


kongruenten und inkongruenten Trials blieb gleich.

Hemisphäre x Versuch x Elektrode ($F_{2,52}=7,26$; $p=0,002$; siehe Abb. 48):

In beiden Versuchen wurde frontozentral rechts eine größere P600 als links evoziert, für die parietale Elektrode bestand kein Unterschied zwischen den Hemisphären. Die Differenz zwischen rechts und links war frontozentral bei den Antonymen jedoch mindestens doppelt so groß wie bei den Sprichwörtern. In allen Bedingungen bis auf die Antonyme rechts (Amplituden zentral und parietal gleich) nahm die Amplitude der P600 von frontal nach parietal stetig zu.

Abbildung 48: Vergleich der mittleren Amplitude der P600 für die Bedingungen der Interaktion Hemisphäre x Versuch x Elektrode ($F_{2,52}=7,26$; $p=0,002$)



Zusammenfassung Vergleich Antonyme-Sprichwörter:

Die EKPs der Antonyme befanden sich insgesamt auf einem elektrophysiologisch negativerem Niveau als die der Sprichwörter und riefen dadurch eine größere N400 und eine kleinere P600 als diese hervor. Bis auf wenige topografische Abweichungen konnte sonst kein Unterschied zwischen den beiden Versuchen gefunden werden:

An den medialen Elektroden war die N400 der Sprichwörter in kongruenten Bedingungen im Gegensatz zu den Antonymen etwas nach links verschoben. Antonyme zeigten hier dagegen auf der linken Seite eine stetige Abnahme der N400 von frontal nach parietal im Gegensatz zu den anderen Bedingungen, die zentral und parietal die gleiche N400 aufwiesen.

Bezüglich der P600 zeigten sich nur an den lateralen Elektroden weitere Unterschiede: Die Differenz der P600 der Sprichwörter nahm, im Gegensatz zu den Antonymen, nach posterior hin zu. Bei den Antonymen nahm rechts die

Amplitude in Gegensatz zu den anderen Bedingungen von zentral nach parietal nicht weiter zu.

2.3.4 Vergleich Antonyme – Sprichwörter – Syntax

In einem dritten Schritt wurden die Antonyme und Sprichwörter zusätzlich noch der syntaktisch eindeutigen Bedingung (im Folgenden auch der Einfachheit wegen als „Syntax“ bezeichnet) gegenübergestellt. Dadurch kann sich ein Unterschied, der sich zwischen der Verarbeitung der beiden semantisch eindeutigen Bedingungen (Antonyme/Sprichwörter) herausgestellt hat, in der Gesamtheit des Versuches als relevant oder irrelevant für die Fragestellung erweisen.

Als Variablen ergaben sich wiederum: Hemisphäre, Kongruenz und Elektrode sowie „Versuch“ (mit den Stufen „Antonyme“, „Sprichwörter“ und „Syntax“) als Zwischensubjektcontrast.

I. N400

A) Mittellinie

In der Mittellinie unterschieden sich die drei Versuche ($F_{2,42}=8,50$; $p=0,001$): Die N400 war in der Syntax größer als in den Antonymen und hier größer als in den Sprichwörtern. Dies entspricht den oben gewonnenen Erkenntnissen.

In der Gesamtheit der Daten riefen kongruente Bedingungen eine kleinere N400 hervor als inkongruente (Haupteffekt Kongruenz: $F_{1,42}=17,48$; $p<0,001$), die absolute Amplitude nahm von frontal nach parietal hin ab (Haupteffekt Elektrode: $F_{2,84}=20,60$; $p<0,001$), und die Differenz zwischen kongruenten und inkongruenten Stimuli, und damit der N400-Effekt, nahm von frontal nach parietal hin zu (Interaktion Kongruenz x Elektrode: $F_{2,84}=20,97$; $p<0,001$).

Betrachtete man die Unterschiede der drei Versuche für die verschiedenen

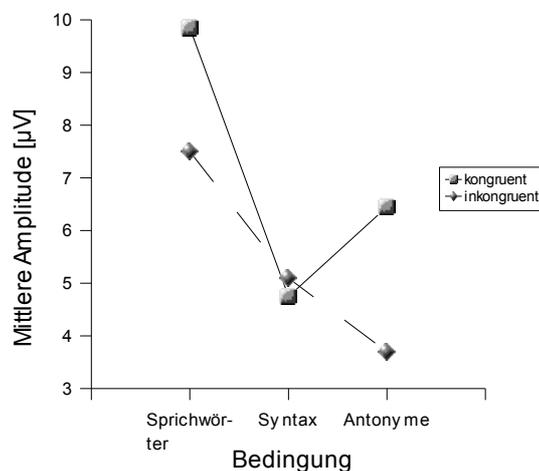
Faktoren und Interaktionen, ergaben sich folgende Ergebnisse:

Versuch x Kongruenz ($F_{2,42}=7,01$; $p=0,002$):

Der Faktor Versuch entsprach sinngemäß in den Hauptversuchen dem Faktor Semiotik, und Semiotik x Kongruenz war in den Hauptversuchen auch signifikant ($F_{1,16}=9,73$; $p=0,007$).

Aus Abbildung 49 kann man ersehen, dass der Kongruenzeffekt nur für Sprichwörter und Antonyme aber nicht für Syntax galt. Die Antonyme erreichten im Gegensatz zu den Sprichwörtern eine größere N400, so dass kongruente Trials eine kleinere und inkongruente eine größere N400 als in der syntaktische Bedingung evozierten, während die Sprichwörter durchgehend eine kleinere Amplitude als die Syntax evozierten.

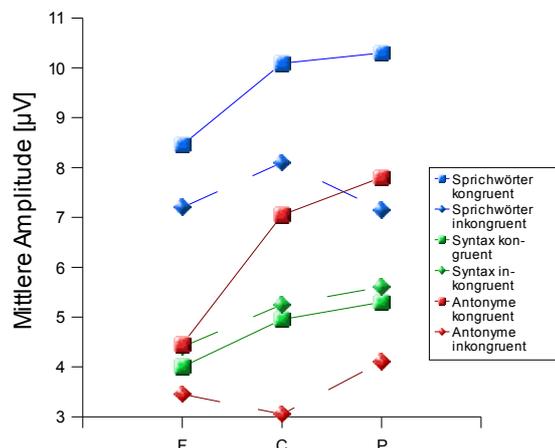
Abbildung 49: Vergleich der mittleren Amplitude der N400 für die Bedingungen der Interaktion Versuch x Kongruenz ($F_{2,42}=7,01$; $p=0,002$)



Versuch x Kongruenz x Elektrode ($F_{4,84}=5,34$; $p=0,001$; siehe Abbildung 50):

Im Gegensatz zu den Sprichwörtern riefen die Antonyme eine größere N400 hervor und damit entsprach die Amplitude eher der der Syntax als der der Sprichwörter. Die inkongruenten Antonyme evozierten eine größere und die kongruenten eine kleinere N400 als die entsprechenden kongruenten und inkongruenten Stimuli in den syntaktischen Bedingungen.

Abbildung 50: Vergleich der mittleren Amplitude der N400 für die Bedingungen der Interaktion Versuch x Kongruenz x Elektrode ($F_{4,84}=5,34$; $p=0,001$)



Lokalisation

Ebenso wie in der syntaktischen Bedingung nahm die absolute Amplitude der N400 nach parietal stetig ab (Im Gegensatz zum N400-Effekt, der in den semantischen Bedingungen nach posterior hin zunahm.)

Bei den Sprichwörtern dagegen zeigte die N400 an der zentralen Elektrode die jeweils kleinste Amplitude.

In der syntaktischen Bedingung konnte – im Gegensatz zu den semantischen Bedingungen (Antonyme und Sprichwörter) – kein Unterschied zwischen kongruenten und inkongruenten Trials gefunden werden, auch nicht auf einzelne Elektroden aufgeschlüsselt (Interaktion Kongruenz x Elektrode: $F_{1,16}=0,02$; $p=0,979$).

B) medial

Betrachtete man die Gesamtheit aller Daten, so fand man zusätzlich in den medialen Ableitungen, dass kongruente Bedingungen links eine größere Amplitude als rechts evozierten wohingegen die inkongruenten Bedingungen sich nicht zwischen den Hemisphären unterschieden (Interaktion Kongruenz x Hemisphäre: $F_{1,42}=4,23$; $p=0,046$). Diese Differenz wurde nur frontozentral, nicht parietal gefunden (Interaktion Kongruenz x Elektrode x Hemisphäre: $F_{2,84}=3,46$; $p=0,036$).

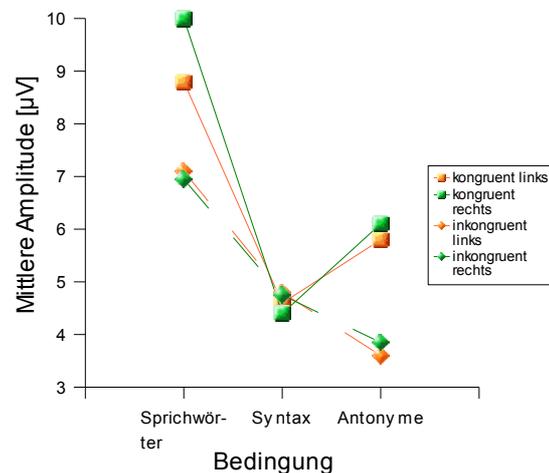
Sprichwörter und Antonyme unterschieden sich dadurch, dass in den medialen Elektroden in der kongruenten Bedingung Sprichwörter im Gegensatz zu Antonymen links eine größere N400 als rechts hervorriefen (Interaktion Versuch x Hemisphäre x Kongruenz: $F_{1,26}=4,46$; $p=0,045$) und die N400 der Antonyme links im Gegensatz zu rechts und zu den Sprichwörtern weiter von der zentralen zur parietalen Elektrode abnahm (Interaktion Versuch x Hemisphäre x Elektrode: $F_{2,52}=3,24$; $p=0,048$) (siehe 2.3.3).

Wenn man Sprichwörter und Antonyme zusätzlich der Syntax gegenüberstellt, waren die gleichen Interaktionen signifikant:

Versuch x Hemisphäre x Kongruenz ($F_{2,42}=5,74$; $p=0,006$):

Es gelten die gleichen Betrachtungen wie in 2.3.3, die in Abbildung 51 nochmals zusammengefasst werden. Die kongruenten Sprichwörter riefen links eine größere Amplitude als rechts hervor, ein Unterschied, der sonst in keiner Bedingung gefunden wurde. Vergleich man in einem zweiten Schritt die Antonyme mit der Syntax, ergab sich für Hemisphäre x Kongruenz kein signifikanter Unterschied ($F_{1,16}=0,25$; $p=0,623$), der Hemisphäreneffekt wird allein durch die Sprichwörter verursacht.

Abbildung 51: Vergleich der mittleren Amplitude der N400 für die Bedingungen der Interaktion Versuch x Hemisphäre x Kongruenz: $F_{2,42}=5,74$; $p=0,006$

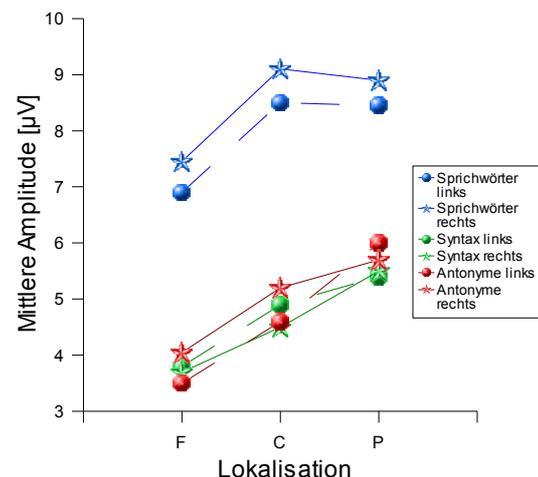


Versuch x Hemisphäre x Elektrode ($F_{4,84}=3,27$; $p=0,015$):

Die N400 der Sprichwörter war immer kleiner als die der anderen Bedingungen (siehe Abbildung 52).

Abbildung 52: Vergleich der mittleren Amplitude der N400 für die Bedingungen der Interaktion Versuch x Hemisphäre x Elektrode ($F_{4,84}=3,27$; $p=0,015$)

Für die Syntax allein und auch für die Sprichwörter konnte in den Hauptversuchen kein Unterschied zwischen rechter und linker Hemisphäre an den einzelnen Elektroden gefunden werden, wohl aber für die Antonyme, wo links die



Amplitude frontozentral kleiner als rechts war.

Zusätzlich zeigte sich noch Versuch x Hemisphäre x Kongruenz x Elektrode ($F_{4,84}=3,27$; $p=0,015$) signifikant.

C) lateral

An den lateralen Elektroden zeigten sich keine neuen Erkenntnisse, für die verschiedenen Versuche bestand knapp kein Unterschied mehr ($F_{2,42}=2,63$; $p=0,084$).

II. P600

A) Mittellinie

Zwischen den verschiedenen Versuchen bestand knapp kein signifikanter Unterschied ($F_{2,42}=2,94$; $p=0,064$). Für die Gesamtheit der Daten zeigte sich ein Effekt für Kongruenz ($F_{1,42}=21,73$; $p<0,001$; größere Amplitude auf inkongruente Stimuli) und Elektrode ($F_{2,84}=58,22$; $p<0,001$; frontal kleiner als zentroparietal), diese Faktoren interagierten aber nicht mit dem Faktor Versuch.

B) medial

Es bestand knapp kein Haupteffekt für den Faktor Versuch ($F_{2,42}=2,83$; $p=0,070$). Für alle Daten zusammengenommen galt zusätzlich zu den Interaktionen der Mittellinie, die sich medial fortsetzen: Die Differenz zwischen kongruenten und inkongruenten Bedingungen war frontal kleiner als zentroparietal (Interaktion Kongruenz x Elektrode: $F_{2,84}=3,23$; $p<0,001$), rechts war die Amplitude größer als links (Haupteffekt Hemisphäre: $F_{1,42}=4,79$; $p=0,034$) und die Differenz bezüglich der Hemisphäre bestand nur frontozentral, nicht parietal (Interaktion Hemisphäre x Elektrode ($F_{2,84}=9,85$; $p<0,001$)). Für die

letztgenannte Interaktion bestand auch ein Unterschied zwischen den einzelnen Versuchen:

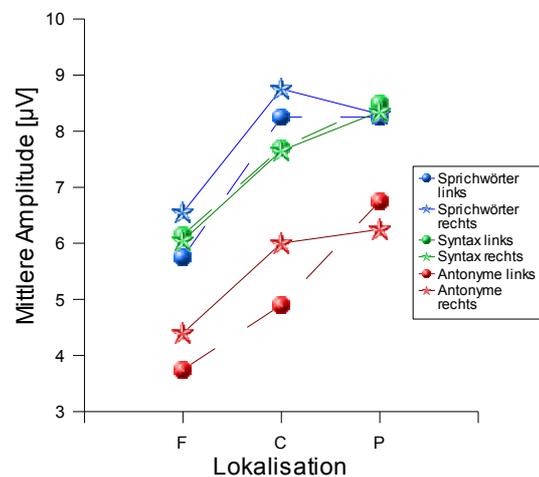
Versuch x Hemisphäre x Elektrode ($F_{4,84}=3,155$; $p=0,02$):

Was die P600 angeht, war die

Amplitude der syntaktische Bedingung ähnlicher der der Sprichwörter als der der Antonyme (siehe Abbildung 53). *Abbildung 53: Vergleich der mittleren Amplitude der P600 für die Bedingungen der Interaktion Versuch x Hemisphäre x Elektrode.* ($F_{4,84}=3,16$; $p=0,018$)

Für Syntax und Sprichwörter bestand kein signifikanter Unterschied zwischen den Hemisphären. Die Antonyme weisen frontozentral rechts eine größere Amplitude als links auf.

Vergleich man nur Antonyme mit Syntax, zeigt sich weiter ein signifikanter Unterschied ($F_{1,16}=4,49$; $p=0,016$), der für die Syntax allein nicht besteht ($F_{1,16}=0,11$; $p=0,895$). Der Hemisphärenunterschied wird also durch die Antonyme verursacht.



C) lateral

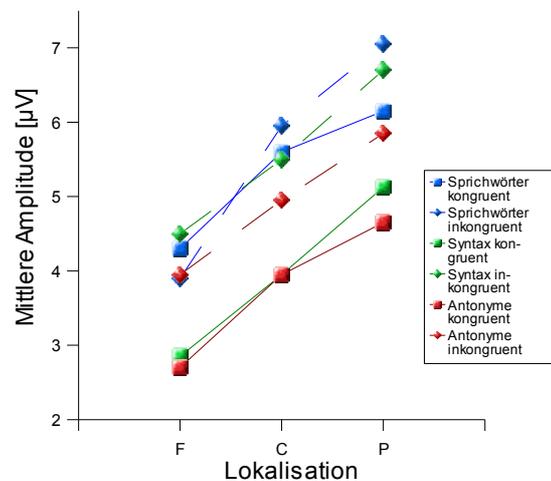
Lateral setzten sich die Effekte für die Gesamtheit der Daten bis auf die Interaktion von Kongruenz und Elektrode ($F_{2,84}=2,08$; $p=0,132$) fort.

Für alle drei Versuche zeigten sich lateral zusätzlich die gleiche Interaktionen signifikant, die auch schon beim Vergleich der beiden semantischen Bedingungen (Sprichwörter und Antonyme) aufgefallen war:

Versuch x Kongruenz x Elektrode ($F_{4,84}=3,18$; $p=0,017$; siehe Abbildung 54):

Die Kurven von Antonymen und Syntax verliefen parallel ($F_{1,16}=0,12$; $p=0,891$), und zeigten keine Interaktion mit Kongruenz und Elektrode. Der Effekt rührt von den Sprichwörter her (siehe Betrachtung zu Abbildung 51).

Abbildung 54: Vergleich der mittleren Amplitude der P600 für die Bedingungen der Interaktion Versuch x Kongruenz x Elektrode ($F_{4,84}=3,18$; $p=0,017$)



Zusammenfassung Vergleich Sprichwörter – Antonyme – Syntax:

Was die N400 angeht, fanden die EKPs der drei Bedingungen insgesamt auf elektrophysiologisch unterschiedlichem Niveau statt.

Die Sprichwörter evozierten kleinere Werte als die Syntax und auch als die Antonyme. Zwischen Antonymen und Syntax war kein solcher Unterschied festzustellen.

Sowohl Sprichwörter als auch Antonyme wiesen im Gegensatz zur Syntax einen Kongruenzunterschied auf. Die beiden semantisch eindeutigen Bedingungen (Antonyme und Sprichwörter) unterschieden sich nur insofern, als dass in den Sprichwörtern die absolute Amplitude der N400 im Gegensatz zu den anderen Bedingungen nicht klar von anterior nach posterior abnahm und nicht klar anterior lokalisiert war. Zentroparietal war die Differenz bezüglich der Kongruenz (N400-Effekt) in den Antonymen größer als in den Sprichwörtern

und in den syntaktischen Bedingungen nicht nachweisbar.

Die Antonyme wiesen insgesamt einen Unterschied bezüglich der Hemisphären auf: Frontozentral war die N400 nach links verschoben. Aber nur die Sprichwörter unterschieden sich bezüglich der Kongruenz zwischen rechts und links.

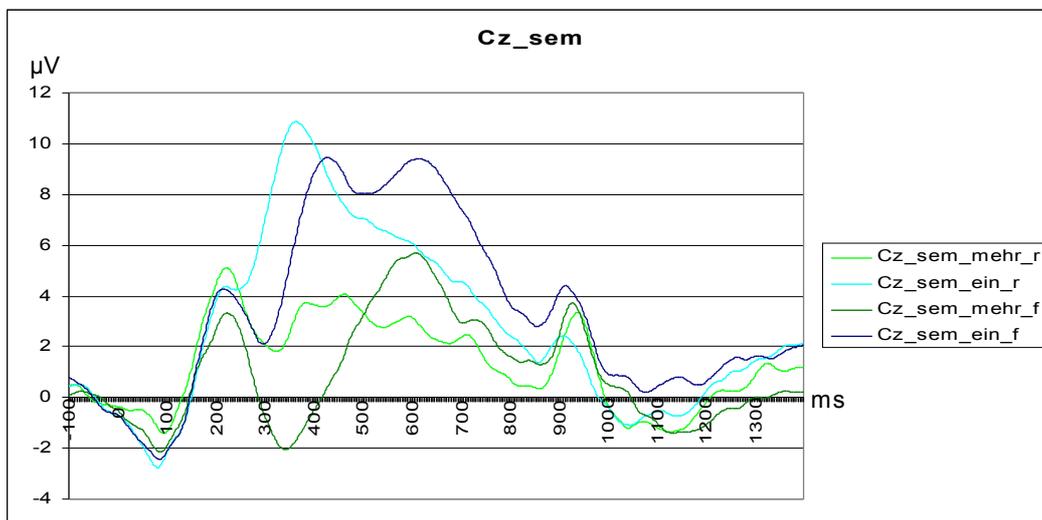
Was die P600 angeht, ließ sich pauschal kein Unterschied zwischen den drei Versuchen feststellen. Medial evozierten die Antonyme aber eine kleinere P600 als Sprichwörter und Syntax. Die P600 war bei ihnen im Gegensatz zu den Antonymen frontozentral auch etwas nach rechts verlagert. Lateral bestand nur für die Sprichwörter eine Interaktion von Kongruenz x Elektrode, die beim Vergleich von Antonymen und Sprichwörtern aber schon betrachtet wurde.

3. Anmerkung

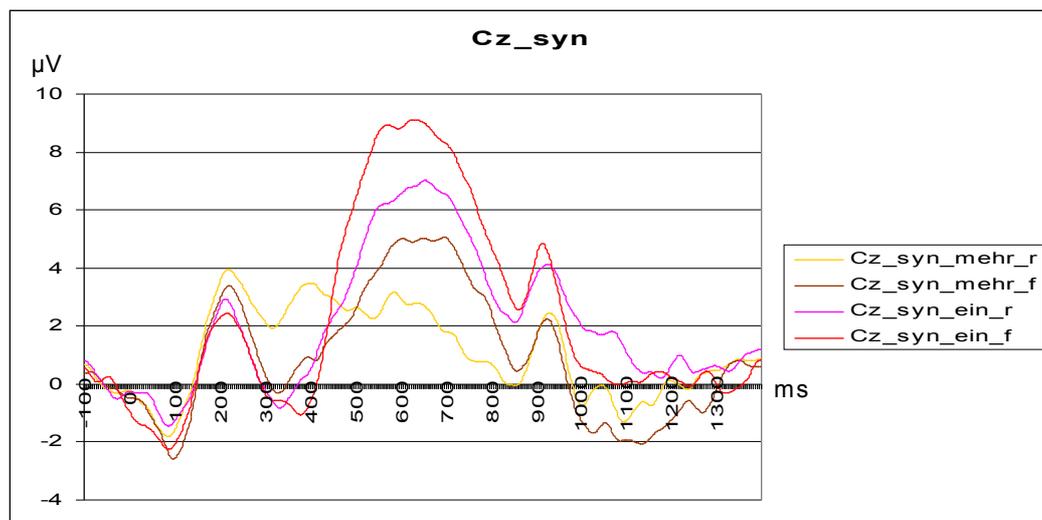
Nach Ende der Präsentation eines Stimulus, in den Hauptversuchen also 700 ms, in den Nachversuchen 500 ms nach Stimulus-onset, konnte man eine negative EKP-Komponente nach etwa 100 ms mit einer Dauer von etwa 150 ms mit einer anschließenden Positivierung beobachten (siehe Abbildung 55).

1. Abbildung 55: EEG-Kurven der Elektrode Cz

A)



B)



IV. DISKUSSION

Im Folgenden sollen die Ergebnisse vor dem Hintergrund der beiden zugrundeliegenden Theorien, dem Modularismus (linguistisches Modell) und dem Konnektionismus (biophysiolgisches Modell) dargestellt und gedeutet werden.

Das Hauptproblem der bisherigen Forschungsansätze war, dass beide Hypothesen als Ursache der elektrophysiologischen Ergebnisse möglich waren. Linguistische Verletzungen waren eng mit einer physiologischen Korrelation verknüpft:

Semantische Verletzungen, die eine N400 hervorriefen, waren meist mehrdeutig (hohe Entropie), das System benötigte weitere semantische Information, um die Verletzung einzuordnen. Deswegen wurde die Erregbarkeit erhöht, was in einer Negativierung resultierte. Semantik und Unsicherheit (hohe Entropie) waren also eng verknüpft.

Ähnliches galt für die P600: Sie wurde von beiden Theorien vorhergesagt. Einerseits wurde eine Syntaxspezifität postuliert (Modularismus), andererseits konnte man nach der Theorie des Konnektionismus annehmen, dass syntaktische Verletzungen meist eindeutig sind und dadurch die Neurone den eindeutig falschen Input ohne Probleme und ohne weitere Information verarbeiten konnten, was ebenfalls eine Positivierung auslöste. Somit waren syntaktische Verletzungen immer mit einer hohen Sicherheit und daher einer niedrigen Entropie verbunden.

Fragestellung dieser Forschungsarbeit ist es, die verschiedenen Prinzipien Syntax/Semantik (Modularismus) und Sicherheit/Unsicherheit (Konnektionismus) zu trennen. Dies sollte dadurch möglich sein, dass semantische Verletzungen mit einer hohen Sicherheit (eindeutig, das heißt niedrige Entropie) und im Gegensatz dazu syntaktische Verletzungen mit einer hohen Unsicherheit (mehrdeutig, das heißt hohe Entropie) verknüpft werden. Wenn also semantische, aber eindeutige Fehler mit einer Negativierung einhergingen, würde das für die Theorie des Modularismus sprechen. Wenn dagegen eine Positivierung einträte, unterstützte das den Konnektionismus. Eine syntaktische, aber mehrdeutige Versuchsanordnung würde dagegen dann den Modularismus unterstützen, wenn eine Positivierung einträte. Die Theorie des Konnektionismus ließe eine Negativierung erwarten (siehe Tabelle 13).

Tabelle 13: Darstellung der erwarteten Ergebnisse nach modularistischer (mod) bzw. konnektionistischer (kon) Theorie (N = Negativierung, P = Positivierung).

		Entropie			
		<i>eindeutig</i>		<i>mehrdeutig</i>	
Semiotik	<i>semantisch</i>	mod: N kon: P	<i>semantisch</i> <i>eindeutig</i>	mod: N kon: N	<i>semantisch</i> <i>mehrdeutig</i>
	<i>syntaktisch</i>	mod: P kon: P	<i>syntaktisch</i> <i>eindeutig</i>	mod: P kon: N	<i>syntaktisch</i> <i>mehrdeutig</i>

1. Argumente für den Konnektionismus

1.1 N400

Ein wichtiges Argument, das für die Theorie des Konnektionismus spricht, ist die Tatsache, dass mehrdeutige Bedingungen immer eine größere N400 als die eindeutigen hervorriefen. In mehrdeutigen Bedingungen konnte kein Unterschied zwischen semantischen und syntaktischen Bedingungen gefunden werden. Es besteht also keine Spezifität für die Semiotik, relevant scheint die Sicherheit über die Bedeutung eines Satzes zu sein. Diese war kleiner, je mehr Lösungsmöglichkeiten bestanden, weil dann die verschiedenen Lösungsmöglichkeiten gegeneinander abgewägt werden mussten, um den Satz zu verstehen.

Damit spielte in mehrdeutigen Bedingungen der Entropie-Effekt die entscheidende Rolle.

Es ist dabei nicht gelungen, semantisch und syntaktisch mehrdeutige Bedingungen mit einem ähnlichen Maß an Mehrdeutigkeit auszustatten. Für syntaktische Bedingungen standen zwei bis drei Lösungsmöglichkeiten zur Verfügung, für semantische bei manchen Sätzen bis über zehn (siehe Beispiele). Dennoch reicht schon diese Unsicherheit, sich zwischen wenigen gleichberechtigten Möglichkeiten für ein Verständnis entscheiden zu müssen, aus, um eine große N400, die sich in semantischen und syntaktischen Bedingungen entspricht, hervorzurufen.

Beispiele:

semantisch mehrdeutig: *Die Polizei kontrolliert die Schönheit.*

Lösungsmöglichkeiten: schöne Frauen, schöne Gemälde, schöne Autos, ...

syntaktisch mehrdeutig: *Er spielt mit leidenschaftlich.*

Lösungsmöglichkeiten: leidenschaftlich, mit Leidenschaft

Diese Tatsache, dass semantisch mehrdeutige Verletzungen mehrdeutiger sind als syntaktisch mehrdeutige erklärt auch, warum inkongruenten Trials eine größere Amplitude für semantische als syntaktische Bedingungen evozieren.

In den eindeutigen Bedingungen ist die Kurve für semantisch kongruente (und sogar, wenn auch deutlich weniger) für semantisch inkongruente Trials im Vergleich mit den beiden syntaktischen Bedingungen sehr stark ins Positive verschoben. Diese Positivierung erklärt sich problemlos aus konnektivistischer Sicht: Im Vergleich mit mehr oder weniger "normalen" syntaktischen eindeutigen Sätzen brauchen die Sprichwörter noch wesentlich weniger kortikale Ressourcen, da ein Sprichwort nicht modifiziert werden kann (zum Beispiel etwas hinzufügen oder kürzer oder anders sagen), es ist entweder völlig richtig oder falsch.

Lokalisation:

Für den N400-Effekt wird klassischerweise eine zentroparietale, eventuell leicht nach rechts verschobene Lokalisation gefunden (Johnson & Hamm, 2000). Bei den vorgestellten Ergebnissen galt für fast alle Bedingungen, dass die absolute Amplitude frontal am größten war und nach posterior abnahm. Der N400-Effekt, also die Differenz zwischen kongruenten und inkongruenten Trials war immer zentroparietal am größten und entspricht damit der beschriebenen Lokalisation. Eine eindeutige Seitverschiebung konnte nicht gefunden werden.

Eine Ausnahme bildeten die Sprichwörter. Hier war das Maximum der N400 in den kongruenten Sprichwörtern nach links verschoben.

Folgt man der Theorie, dass die linke Hemisphäre sprachspezifische Prozesse verarbeitet, zu denen auch die höhere syntaktische Analyse zählt, und im Gegensatz dazu die rechte Hemisphäre globalere Integrations- und Verstehensprozesse beziehungsweise Verknüpfungen zu anderen Hirnzentren, zu denen die semantische Aufarbeitung gezählt werden kann, widerspiegelt (siehe zum Beispiel Coney & Evans, 2000), so kann man vermuten: Bei Sprichwörtern steht nicht die semantische Verarbeitung, ein Verstehen und

Integrieren in einen Kontext im Vordergrund, sondern es laufen vorwiegend sprachspezifische Prozesse ab. Beachtet man die Versuchsbedingungen, die die Probanden gerade nicht dazu animieren sollten, über die Bedeutung nachzudenken, stützt dies zusätzlich die Annahme, dass eher Sprach- als Verständnisprozesse ablaufen.

1.2 P600

Der Faktor Entropie spielt auch eine entscheidende Rolle bei der Betrachtung der P600: Eindeutige Bedingungen riefen eine größere P600 hervor als mehrdeutige, und zwar unabhängig von der Semiotik. Dadurch werden die Voraussagen, die vor dem Hintergrund der physiologischen Theorie (Konnektionismus) getroffen wurden, bestätigt. Eindeutige Bedingungen erklären sich selbst (und auch inkongruente Trials benötigen keinen weiteren Input). Dies resultiert in einer Positivierung, die dadurch erklärt werden kann, dass das System sich nach außen abschottet und im Inneren weitere Verarbeitungsmechanismen stattfinden, wohingegen mehrdeutige Bedingungen einer Erklärung bedürfen und deswegen keine vergleichbare P600 ausbilden. Bestätigend kam hinzu, dass die P600 in der eindeutigen Bedingung posteroparietal am stärksten ausgebildet war und damit der Lokalisation der typischen P600 entsprach.

Im Vergleich mit dem Faktor Semiotik, der für sich genommen keine Signifikanz zeigte, beeinflusste der Faktor Entropie die Amplitude der P600 in sehr viel stärkerem Maße und sollte deswegen als vorrangig eingestuft werden.

2. Argumente für den Modularismus

2.1 N400

Bezüglich der Kongruenz fiel auf, dass inkongruente Trials eine größere N400 evozierten als kongruente, dies als Haupteffekt jedoch nur in den lateralen Elektroden. In den Elektroden der Mittellinie war insgesamt kein Unterschied zwischen kongruenten und inkongruenten Bedingungen nachweisbar. Wenn man allerdings nur die semantischen Bedingungen betrachtete, war die Amplitude in inkongruenten Trials größer als in kongruenten. Bezüglich der syntaktischen Bedingungen war der Kongruenzunterschied so klein, dass er nicht mehr signifikant war. Vor dem Hintergrund der Modultheorie, die EKP-Komponenten in *Verletzungen* (also in inkongruenten Trials) bestimmt, kann man sagen, dass die N400 spezifisch für semantische *Verletzungen* war und somit auf syntaktische *Verletzungen* nicht sensibel reagierte.

Eine Erklärungsmöglichkeit für die durchgängig größere N400 in syntaktischen Experimenten liegt in der Darbietung der verschiedenen Bedingungen in Blöcken. Weil man in semantisch und syntaktisch kongruenten Bedingungen eine ähnliche N400 erwarten konnte, die hier aber nicht auftrat, kann man behaupten, dass zwischen semantischen und syntaktischen Bedingungen insgesamt ein Verarbeitungsunterschied bestand, der nicht auf linguistischen oder physiologischen Ursachen beruhte. Kongruente Trials könnten somit unterschiedlich verarbeitet worden sein, wenn sie in einem Block mit semantischen oder syntaktischen, eindeutigen oder mehrdeutigen *Verletzungen* dargeboten wurden.

Dabei fällt es allerdings schwer, den Faktor zu benennen, der die syntaktischen Bedingungen pauschal mehr negativiert. Außerdem fällt bei näherer Betrachtung auf, dass die der Unterschied in der N400 nur durch die Sprichwörter hervorgerufen wird, also nicht für die semantisch mehrdeutigen Bedingungen gilt.

2.2 P600

Der P600-Effekt, also der Unterschied zwischen kongruenten und inkongruenten Bedingungen war in den semantischen Bedingungen kleiner als in den syntaktischen, was auch bei Betrachtung der Kurven bestätigt wurde. Inkongruente Trials evozierten eine größere P600 als kongruente.

In den kongruenten Trials war die Amplitude der P600 in den semantischen Bedingungen größer als in den syntaktischen.

In den inkongruenten Trials war dagegen die Amplitude der P600 in den semantischen Bedingungen kleiner als in den syntaktischen.

3. semantisches Netzwerk als vereinbarende Alternativhypothese

Im Folgenden wird weiterhin der feststehende Begriff des "semantischen Netzwerkes" verwendet, wenn er hier auch im Zusammenhang mit der "automatic spreading activation" anders verstanden wird: "Semantisches Netzwerk" bedeutet, dass die Wortverarbeitung in einem "Wortnetzwerk" erfolgt, in dem nach jedem Wort (eines Satzes oder Zusammenhangs) die inhaltlich (und daher "semantisch") naheliegenden Netzwerkknoten voraktiviert werden, um die Verarbeitung zu beschleunigen und zu vereinfachen. Wenn ein so gebahnter Knotenpunkt nicht aktiviert wird, sondern ein anderes Wort erscheint, wird ein Fehler wahrgenommen. Ist er eindeutig, wird er korrigiert; ist er mehrdeutig, wird im umgebenden Netzwerk nach einer Lösungsmöglichkeit gesucht. Dabei spielen nicht nur semantische (im ursprünglichen Sinne), sondern auch syntaktische Alternativen eine Rolle. Bisher wurde immer nur von semantischen Knotenpunkten ausgegangen, da für diese eine Mehrdeutigkeit bestand, während syntaktische Fehler meist eindeutig waren. Da es gelungen war, syntaktische Fehler ebenso mehrdeutig zu gestalten, kann den Begriff des "semantischen" Netzwerkes auf oben eingeführte Weise aktualisiert und präzisiert werden.

Der bedeutsame Vorteil des Modells der semantischen Netzwerke gegenüber dem Konnektionismus ist, dass es sich nicht ausschließlich auf die Entropie bezieht, sondern auch eine Komponente des linguistischen Modells beinhaltet dadurch, dass es sich um "semantische" Netzwerke handelt. Hierdurch ist es möglich, die Erkenntnisse aus beiden Modellen zu vereinbaren.

Allerdings gibt es keine Hinweise dafür dass die Satzverarbeitung wirklich automatisch und ohne Bewusstsein und Aufmerksamkeit verlaufen kann (in Gegensatz zu bei einzelnen Wörtern, wo dies in einem bestimmten Umfang tatsächlich möglich ist). Deswegen soll hier der vollständigen Automatismus der Knotenerregung nicht unbedingt vorausgesetzt werden, was die Interpretationsmöglichkeiten, die sich durch das Modell ergeben, aber nicht schmälert.

3.1 EEG-Daten

Auffallend bei Betrachtung der N400 war in den Hauptversuchen der Einfluss des Faktors Semiotik. Die N400 war in *syntaktischen* Versuchsbedingungen größer als in *semantischen*.

Weder durch die modularistische, noch durch die konnektionistische Theorie gelangte man zu dieser Vorhersage.

Mehr Klarheit ergab sich, wenn man die Interaktion von Semiotik und Kongruenz betrachtete. Neben der Tatsache, dass diesbezüglich in den syntaktischen Bedingungen keine relevante Differenz nachgewiesen werden konnte, fiel auf, dass auch hier die syntaktischen Bedingungen durchweg eine größere N400 evozierten. Man hätte erwartet, dass *kongruente* Trials ähnliche Aktivierungsmuster zeigten, ob in semantischen oder syntaktischen Bedingungen, da keine spezifische Verletzung vorlag. Da aber die semantisch kongruenten Bedingungen eine kleinere N400 evozierten, ergab sich eine andere Interpretationsmöglichkeit durch die Eigenart der semantischen

Verletzung: Der Semiotik-Unterschied war hauptsächlich durch den Einfluss der semantisch eindeutigen Bedingung verursacht.

Um weiter Licht in diese Frage zu bringen, wurden zusätzlich die Antonyme betrachtet. Im Vergleich mit den Sprichwörtern fiel auf, dass die N400 größer war. Warum riefen die Sprichwörter aber eine kleinere N400 hervor? Sicherlich lag es nicht an der niedrigen Wortfrequenz der Reizwörter in der Alltagssprache, denn dann hätte man eine größere N400 der Sprichwörter erwarten müssen.

Man kann dies so interpretieren, dass die Sprichwörter im Gegensatz zu anderen, variierbaren Sätzen den Probanden so geläufig und in ihrer Wortfolge so festgelegt waren, dass sie fast automatisch abliefen und dass keine besondere Leistung des Gehirns erbracht werden musste, um sie zu verstehen. Aus diesem Grund war die N400 kleiner. Das neuronale Netzwerk wurde während des Ablaufens des Satzes so auf einen speziellen Knotenpunkt hin vorbereitet, dass keine Alternativen mehr bestanden und sowohl die kongruente als auch die inkongruente Lösung schnell und ohne großen Aufwand als solche erkannt und eventuell korrigiert werden konnte.

Die syntaktisch eindeutigen Bedingungen, also umgangssprachliche Sätze mit einem grammatikalischen Fehler, waren klar zu verstehen und der Fehler klar zu erkennen. Für das letzte Wort bestand nur *eine* syntaktische Alternative, allerdings hätte es durch viele semantisch unterschiedliche Wörter ersetzt werden können. Bis das letzte Wort erschien, wurden also viele Knotenpunkte des semantischen Netzwerkes aktiviert, die bei Erscheinen unterdrückt wurden. Nun musste die Aktivität auf einen Punkt gelenkt werden, der in einem zweiten Schritt noch grammatikalisch überprüft wurde.

Auf diese Weise musste in den syntaktisch eindeutigen Sätzen mehr inhaltliche, sprich: (in diesem Modell) semantische, Arbeit geleistet werden, was dem Auftreten einer N400 entsprach, als in den semantisch eindeutigen Sätzen. Mit dieser Eigenschaft sind sie mehrdeutiger, da mehrere semantische Lösungsmöglichkeiten bestehen.

Diese Interpretationsmöglichkeit wird durch das Ergebnis gestützt (neben der Erklärung durch das Modell des Modularismus), dass kongruente Sprichwörter eine kleinere N400 hervorriefen als inkongruente. In inkongruenten muss eine kurze Analyse und Korrektur stattfinden.

3.2 Verhaltensdaten²⁶

Auffallend war, dass inkongruente Trials häufiger richtig beantwortet wurden als kongruente. Dieser Unterschied bezüglich der Kongruenz war nur in den Sprichwörtern und nicht in den syntaktisch eindeutigen Bedingungen zu finden. Dies widerspricht der Erkenntnis, dass Wörter in einem inkongruenten semantischen Kontext die Worterkennung behindern und dadurch mehr Fehler verursachen (Stanovitch & West, 1983).

In Anbetracht der vorliegenden besonderen Situation ist die Tatsache, dass inkongruente Trials häufiger richtig beantwortet wurden zu verstehen, wenn man die Reaktionszeiten ebenfalls in Betracht zieht. Die durchschnittliche Reaktionszeit auf Sprichwörter, insbesondere die kongruenten, erfolgte nach etwa 560 ms (kongruente) beziehungsweise 640 ms (inkongruente). Daher kann man den Einfluss eines Speed-Accuracy-Tradeoff annehmen. Der Begriff Speed-Accuracy-Tradeoff bezeichnet das in der kognitiven Psychologie bekannte Phänomen, dass die Genauigkeit zurückgeht, wenn die Geschwindigkeit einer Entscheidung oder Handlung steigt (siehe zum Beispiel Townsend & Ashby, 1983). Dadurch ist die Tatsache, dass inkongruente Trials häufiger richtig beantwortet wurden, erklärbar.

Mit anderen Worten: Für Sprichwörter kann man eine starke semantische Bahnung postulieren, die nur ein Lösungswort zulässt. Ist das Sprichwort bekannt, so besteht eine große Sicherheit für die richtige Lösung, Fehler in der Bewertung unterlaufen im Vergleich zu anderen semantischen Verletzungen

²⁶ Beachte: Verhaltensdaten wurden nur für eindeutige semantische (Sprichwörter und Antonyme) und eindeutige syntaktische Bedingungen ermittelt, da nur bei ihnen ein Tastendruck stattfand.

fast nie. Ist das Sprichwort allerdings unbekannt, gibt es durchaus mehrere Möglichkeiten für ein richtiges Endwort und das kongruente kann eher ungewöhnlich und nicht die erste persönliche Wahl, also nicht der nächstliegende Knotenpunkt des semantischen Netzwerkes, sein. Deswegen erfolgen mehr Fehlentscheidungen.

Bei inkongruenten Sprichwörtern werden sowohl bekannte als auch unbekannte sicher identifiziert. Entweder es besteht eine feste semantische Bahnung, die eine sichere Ablehnung (und Korrektur) zulässt, oder das Endwort ist so abwegig, dass es auch ohne Kenntnis des Wortlautes eines Sprichwortes sicher abgelehnt werden kann (eventuell ohne Korrektur).

Bei den Antonymen wurde kein Unterschied bezüglich der Kongruenz gefunden. Das bedeutet, dass kongruente und inkongruente Partner sicher als solche erkannt wurden und die kongruenten Antonympaare in dieser Hinsicht den Sprichwörtern überlegen zu sein schienen. Allerdings war der Tastendruck auf Antonyme, verglichen mit den Sprichwörtern, insgesamt häufiger falsch. Dies ließ sich schon während des Versuchsablaufs beobachten und ist wahrscheinlich darauf zurückzuführen, dass die Präsentation mit nur 500 ms pro Wort statt mit 700 ms schneller erfolgte und nur 1000 ms nach Erscheinen des letzten Wortes anstatt 1400 ms wie in den Sprichwörtern zur Beantwortung blieben. Damit ist dieses Ergebnis ebenfalls auf den Speed-Accuracy-Tradeoff zurückzuführen.

Außerdem musste die Entscheidung zum Tastendruck viel schneller, nämlich nach einem Wort, und nicht wie in den Sprichwörtern nach einem ganzen Satz, der das letzte Wort vorbereitet, getroffen werden.

Die Reaktion auf semantische Bedingungen war häufiger richtig als auf syntaktische. Dieser Unterschied bestand vor allem in den inkongruenten Trials. Syntaktisch inkongruente Bedingungen sind beim ersten Eindruck vom Inhalt her immer noch gut zu verstehen, und ein Fehler springt nicht auf dieselbe Weise ins Auge wie in semantischen Verletzungen. Wenn also auf einen syntaktischen Fehler reagiert werden soll, ist die Wahrscheinlichkeit höher, sich

für die falsche Lösung zu entscheiden, zumal die Reaktion möglichst schnell und ohne tiefergehende Reflexion erfolgen muss. Um im Bild des Netzwerkes zu sprechen: Eine erste semantische Analyse stuft das Wort als passend ein und für die darauffolgende syntaktische Überprüfung bleibt weniger Zeit und deswegen erfolgen mehr Fehler. In der semantischen Bedingung dagegen konnte schon in der semantischen Analyse ein Fehler erkannt werden und damit waren diese offensichtlicher, was in einer häufiger richtigen Antwort resultierte.

Dies ist eine mögliche Erklärung für die geringere Differenz zwischen kongruenten und inkongruenten syntaktischen Bedingungen und den im Vergleich mit den semantischen Bedingungen größeren Anteil an falschen Antworten in den inkongruenten Trials.

Bezüglich der Reaktionszeit unterschieden sich Sprichwörter und Antonyme nicht signifikant voneinander. Bei beiden erfolgte die Reaktion auf kongruente Trials signifikant schneller, wie auch schon früher beschrieben (siehe zum Beispiel Stroop, 1935). Diese Tatsache ist außerdem einleuchtend mit dem System der "automatic spreading activation" erklärbar. Durch das Primewort beziehungsweise den vorangegangenen Satz findet eine semantische Bahnung innerhalb des kortikal aktivierten Netzwerkes statt. Erscheint schließlich der passende Stimulus, erfolgt die Aktivierung entlang dieser Bahn und kann schneller in eine motorische Reaktion weiterverarbeitet werden. Ist der Stimulus dagegen inkongruent, muss zuerst dieser Knoten verworfen werden, das Netzwerk eventuell nochmals überprüft werden (vielleicht konnte der Stimulus auch eine andere Bahn nehmen?) – auch wenn versucht wurde, dies durch die Versuchsbedingungen möglichst auszuschließen. Ein Fehler schien aber immer noch eine gewisse Verwirrung zu stiften, die zu einer Verzögerung der Reaktionszeit führte.

Dieses Konzept kann auch erklären, warum in den syntaktischen Bedingungen die Reaktionszeiten signifikant länger ausfielen und kein Unterschied zwischen kongruenten und inkongruenten Trials bestand.

Die Voraussetzung in syntaktisch eindeutigen Bedingungen bestand darin, dass das letzte Wort eindeutig falsch war und nicht, dass es die einzig semantisch richtige Lösung war. Die Bahnung während des Satzes aktiviert also ein größeres Netzwerk mit mehreren semantisch möglichen Lösungen. Wenn das Schlüsselwort erscheint, muss zuerst die Entscheidung stattfinden, ob dieses Wort überhaupt semantisch möglich ist. Wenn diese Entscheidung getroffen wurde, erfolgt im nächsten Schritt die Entscheidung darüber, ob dieses letzte Wort nun auch die richtige grammatikalische Form hat.

Auch bezüglich der Reaktionszeit lag der Unterschied zwischen Semantik und Syntax in der Tatsache, dass Sprichwörter aufgrund ihres häufigen Vorkommens in dieser festgelegten Form von vorneherein schon eine gewisse Bahnung mitbringen, die bei alltäglichen, aber nicht in dieser festen Form existenten, Sätzen, die für die syntaktische Verletzung benutzt wurden, nicht in dieser Intensität besteht.

Haagort (2003) präsentierte seinen Probanden semantische, syntaktische und kombinierte Verletzungen am Ende und in der Mitte eines Satzes. Er fand, dass die Reaktion auf semantische Verletzungen verzögert gegenüber der syntaktischen und der kombinierten Verletzung stattfand. Münte, Heinze & Mangun (1993) berichten von ähnlichen Ergebnissen. Im Gegensatz zu den vorliegenden Ergebnissen verwendeten sie allerdings immer die gleiche Baseline, also immer den Vergleich mit den gleichen kongruenten Bedingungen. Dies war in den durchgeführten Versuchen nicht möglich, unter anderem, da die Sprichwörter häufig mit seltenen Wörtern endeten und einer N400 auf seltene Reize vorgebeugt werden sollte.

Wenn nun also entgegengesetzte Ergebnisse erzielt werden, kann das nicht einfach nur mit dem Semiotik-Effekt wie bei den anderen Autoren zusammenhängen, sondern die Besonderheit, dass es sich ausschließlich um eindeutige Bedingungen handelte, spielte hier die entscheidende Rolle.

3.3 Ergebnisse anderer Autoren

Nieuwland & van Berkum (2006) führten jüngst Versuche durch, die dieses Sprachverarbeitungsmodell unterstützen:

Es war ihnen gelungen, semantische Anomalien (Beispiel: *The girl comforted the clock.*), die isoliert präsentiert eine klare N400 evozierten, in einen erklärenden Zusammenhang zu stellen (Beispiel: *A girl talking to a clock about his depression*). Dadurch verschwand der N400-Effekt komplett. Sie hatten sogar erreicht, dass dadurch, dass sie einen nachvollziehbaren Kontext (zum Beispiel eine Geschichte über eine verliebte Erdnuss) vorgaben, dem Unbelebten nicht zugeschriebene Eigenschaften (Beispiel: *The peanut was in love*) einfacher verarbeitet wurden als anerkannte Eigenschaften (Beispiel: *The peanut was salted*).

Dadurch bestätigten sie, dass der Zusammenhang, in dem eine scheinbare semantische Unstimmigkeit steht, essenziell für die Sprachverarbeitung ist und in der täglichen Anwendung von Sprache sogar über den Kontext eines Satzes hinausgeht. Dies ist eine weitere Bestätigung für das Modell der semantischen Netzwerke, in denen die N400, die auf ein Wort folgt, abhängig von der vorherigen Aktivierung der auf einen Knotenpunkt hinführenden Bahnen ist.

Weitere Ergebnisse dieser Art finden sich bei van Berkum, Brown, Hagoort & Zwitterlood (2003), van Berkum, Brown, Zwitterlood, Kooijman & Hagoort (2005), van Berkum, Hagoort & Brown (1999).

Van Berkum et al. (2003) fanden heraus, dass, wenn in einer Geschichte eine gewisse Nominalphrase (beispielsweise *das Mädchen*) wiederkehrt, die im vorangegangenen Kontext eindeutig definiert wurde, dies eine kleinere N400 hervorruft, als wenn eine mehrdeutige Definition voranging (wenn zuvor zum Beispiel zwei Mädchen vorgestellt wurden).

Dass durch den vorangegangenen Kontext während eines Satzes bestimmte Wörter antizipiert wurden, fanden van Berkum et al. (2005) heraus. In einer hinführenden Geschichte wurde die Antizipation eines bestimmten Substantivs vorbereitet. Die Geschichte wurde mit einem Adjektiv fortgesetzt, dessen Suffix mit dem erwarteten Wort zusammenpasste oder nicht. Bei unpassenden Suffixen wurde eine EKP-Komponente gefunden, die bei passenden verschwand. Dadurch kann angenommen werden, dass eine Antizipation durch den vorherigen Kontext möglich ist.

Wenn in einem Satz, der auf eine kurze Geschichte folgte, ein Wort enthalten war, das zwar im Zusammenhang des einzelnen Satzes, nicht aber im Zusammenhang des weiteren Kontextes passend war (Beispiel: Jane sagt ihrem Bruder, dass er außerordentlich langsam war, in einem Kontext, in dem er tatsächlich sehr schnell war), so ruft diese semantische Anomalie einen großen N400-Effekt hervor. Wenn dieser Satz ohne Kontext präsentiert wurde, verschwand der große N400-Effekt.

Van Berkum et al. (1999) argumentieren, dass diese Ergebnisse mit den Modellen zusammenpassen, die keinen Unterschied in der Integration eines Wortes in einen Satz oder in einen größeren Kontext sehen.

4. Anmerkungen

4.1 Nachversuche

Um nachzuweisen, dass die Effekte der eindeutigen Bedingungen nicht durch den Tastendruck der Hauptversuche entstanden waren, wurden Nachversuche durchgeführt. Bezüglich der N400 zeigte sich eine parallele Verschiebung der Amplituden, die räumliche Verteilung war etwas nach posterior versetzt. Die P600 dagegen nahm in den Nachversuchen ab.

Warum verschoben sich in den Wiederholungsversuchen die Effekte auf eine elektrophysiologisch negativere Ebene? Die Ursache kann man in den zwei Veränderungen gegenüber den Hauptversuchen suchen: dem Wegfall des Tastendrucks oder der verkürzten Wortpräsentationszeit.

4.1.1 Effekt Tastendruck

Eine möglich Erklärung für die Negativverschiebung liegt in der ständigen Belastung des Arbeitsgedächtnisses durch das Zählen, unabhängig von der Art der Aufgabe.

Bei der motorischen Antwort (Tastendruck) musste bei Erscheinen des letzten Wortes eine Entscheidung getroffen und in eine motorische Reaktion umgesetzt werden, der nächste Satz begann wieder auf einer „tabula rasa“.

Bei der Zählaufgabe musste dagegen parallel Aufmerksamkeit auf den Zählprozess gerichtet werden, die aktuelle Zahl im Gedächtnis behalten und dann eventuell (wenn ein inkongruenter Stimulus wahrgenommen wurde) verändert werden. Außerdem war es möglich, die Entscheidung, die bei einem Satz getroffen wurde, im Nachhinein zu revidieren.

In der Literatur findet man frontale Negativierungen bei Gedächtnisbelastungen, die auch nicht Semiotik-spezifisch auftreten (Rösler et al., 1993b; Heil et al., 1996).

Gegen diese Annahme spricht allerdings einerseits die zeitliche Komponente, denn die Negativierungen bei Gedächtnisbelastungen treten auch zeitlich gebunden auf und nicht als generelle Negativverschiebung wie in den vorgestellten Versuchen auf. Dieses Argument kann aber durch einen allgemeinen, übergreifenden Gedächtnisprozess, der nicht an den einzelnen Stimulus, wie oben aufgeführt (ständige Gedächtnisbelastung, Korrekturmöglichkeit), gebunden ist, entkräftigt werden. Andererseits kann für die Negativierung über alle Elektroden, nicht nur frontal wie bei Gedächtnisprozessen, keine Erklärung gefunden werden.

Aus diesem Grund muss auch das Argument, dass bei der Ausführung von motorischen Reaktionen auf entsprechende Stimuli, im Gegensatz zu der Zähltaufgabe, Positivierungen zu beobachten sind, verworfen werden: Es kann weder eine topische noch eine zeitliche Spezifität der allgemeinen Negativierung des Nachversuchs bzw. Positivierung des Hauptversuchs beobachtet werden.

Die Ursache für die Negativverschiebung der Nachversuche ist wohl nicht auf den Tastendruck zurückzuführen. In diesem Fall würde man einen abgrenzbaren zeitlichen oder topografischen Effekt erwarten, der hier aber nicht zu finden war. Damit kann die Nullhypothese, dass durch den Tastendruck kein Effekt erzielt wurde, angenommen werden.

4.1.2 Effekt Zeitfaktor

Von den Haupt- zu den Nachversuchen wurde die Präsentationszeit von 700 auf 500 ms pro Wort verkürzt.

Der Grund hierfür war die Vorstellung, dadurch die automatische Verarbeitung zu unterstützen, es blieb sozusagen weniger Zeit, um nachzudenken.

Lag der Unterschied zwischen Haupt- und Nachversuchen eventuell in dieser Versuchsvariation und nicht in dem Tastendruck?

Für diese Annahme spricht die Tatsache, dass sowohl die Sprichwörter und syntaktisch eindeutigen Bedingungen in den Nachversuchen eine durchgehende Negativverschiebung gegenüber den Sprichwörtern beziehungsweise den syntaktisch eindeutigen Bedingungen der Hauptversuche zeigten.

Würde die Annahme zutreffen, dass die eindeutigen Bedingungen der Nachversuche automatischer verarbeitet wurden, müssten sie im Gegensatz zu den mehrdeutigen Bedingungen noch deutlicher zutage treten. Die P600 müsste größer und die N400 kleiner werden. Das bedeutet, man würde insgesamt eine Positivverschiebung erwarten können. Genau das Gegenteil ist hier jedoch der Fall.

Der Grund für die Negativverschiebung in den Nachversuchen könnte im Gegenteil auch darin liegen, dass die Probanden aufmerksamer waren, wenn die Sätze schneller präsentiert wurden und das Gehirn damit eher und schneller bereit war, Input aufzunehmen.

Holcomb (1988) fand allerdings heraus, dass aufmerksam verarbeitete Stimuli im Gegensatz zu eher automatischen Prozessen zwischen 200 und 525 ms negativere EKPs und zwischen 525 und 1100 ms positivere EKPs hervorriefen. Diese Theorie kann also nur die größere N400 erklären.

Auf das Verschwinden eines Stimulus beobachtet man ebenso wie auf dessen Auftreten eine Reihe endogener EKP-Komponenten, zu denen auch die N1 zählt. In den vorgestellten Versuchen konnte nach Ausschalten des Reizes eine negative EKP-Komponente nach etwa 100 ms mit einer Dauer von zirka 150 ms beobachtet werden. Bei einer Reizdauer von 700 ms wie in den Hauptversuchen tritt sie also 800 bis 950 ms nach Stimulusbeginn auf. In den Nachversuchen ist diese Komponente ebenfalls zu erkennen und tritt von 600 bis 750 ms auf. Der Bereich der P600 der Nachversuche wurde auf den Bereich von 470 bis 820 ms festgelegt, damit überschneiden sich die beiden EKP-Komponenten und die P600 wird durchgehend kleiner gemessen, unabhängig von Tastendruck oder Versuchsbedingung.

Allerdings ist die P600 sehr breit, die N1 dagegen sehr eng und scharf. Und eine Bestätigung dieser Theorie kann aus den EKP-Bildern nicht bestätigt werden.

Dieser Effekt kann also weder durch den Einfluss des Tastendruck noch durch den Zeitfaktor erklärt werden, hängt also nicht mit der Variation der Versuchsbedingungen zusammen, was auszuschließen war.

Für den Vergleich der Antonyme mit den Sprichwörtern wurden dennoch die Daten der Hauptversuche herangezogen, mit dem ursprünglichen Hintergedanken, dass die Negativverschiebung durch den Tastendruck bedingt sei.

4.2 Antonyme

Eine erste Auswertung erbrachte Probleme mit den Ergebnissen der semantisch eindeutigen Bedingungen der Hauptversuche, da starke Hinweise sowohl für die modularistische als auch für die konnektionistische Theorie gefunden wurden. Die Ursache kann am ehesten angesehen werden, dass auch falsche Sprichwörter verschiedene Lösungsmöglichkeiten bieten können, wenn sie beispielsweise als Witz verstanden wurden und dadurch die Voraussetzung der Eindeutigkeit nicht perfekt erfüllten. Durch die Versuchsbedingungen und die Anleitung, auf falsche Endwörter mit Tastendruck zu reagieren, wurde versucht diese Ursache zu minimieren. Dennoch wurde ein weiterer Versuch mit Antonymen durchgeführt um dadurch ein besseres Modell für semantisch eindeutige Bedingungen zu finden. Die Probleme mit den Sprichwörtern stellten sich bei weiterer Betrachtung als nicht so schwerwiegend heraus, wie zuerst angenommen, dennoch wiesen sie in Vergleich mit den anderen semantischen und auch mit den syntaktisch eindeutigen Bedingungen manche Besonderheit auf:

- (a) Auf die inkongruenten Sprichwörter wurden signifikant häufiger richtig reagiert als auf die kongruenten. Dieser Unterschied existierte nicht in syntaktisch eindeutigen Bedingungen. Der Tastendruck auf kongruente Sprichwörter erfolgte schneller als auf inkongruente.
- (b) Sprichwörter riefen im Gegensatz zu den anderen Bedingungen eine sehr viel kleinere N400 hervor und verschoben dadurch die gesamte semantische Bedingung in einen positiveren Bereich. Bezüglich der N400 bestand ein sehr viel größerer Kongruenzunterschied als in den anderen Bedingungen.
- (c) Die N400 kongruenter Sprichwörter war frontozentral mehr nach links verschoben.

- (d) Bezüglich der P600 waren solche auffallend extremen Unterschiede nicht zu finden. Eine Ausnahme stellte das Maximum der P600 dar, das medial in inkongruenten Sprichwörter nicht so weit posterior wie in den anderen Bedingungen lag.

Wenn die Ursache dafür in einer Besonderheit der Sprichwörter lag, beispielsweise in einer kognitiven Bewertung oder inhaltlichen Deutung durch die Probanden, bestand in dem Modell der Antonyme eine Chance, diese Besonderheit zu benennen und zu korrigieren.

Vergleich der Sprichwörter mit den Antonymen:

Die Daten der Antonyme wurden im Vergleich mit den anderen Bedingungen ausgewertet, um die Hypothese, dass es sich bei Antonymen um ein besseres Modell für semantisch eindeutige Bedingungen handelt (da kein Deutungs-/Bewertungseffekt angenommen wird), zu überprüfen.

zu (a) Auch bei den Antonymen existierte wie in syntaktisch eindeutigen Bedingungen kein Unterschied in der Häufigkeit richtig beantworteter kongruenter und inkongruenter Trials. Damit fallen nur die Sprichwörter diesbezüglich auf. Insgesamt wurden Die motorische Reaktion auf Antonyme war häufiger falsch als auf Sprichwörter, zwischen Sprichwörtern und syntaktisch eindeutigen Bedingungen existierte dieser Unterschied nicht.

In beiden semantischen Bedingungen erfolgte der Tastendruck auf die kongruenten Trials schneller als auf die inkongruenten, zwischen Sprichwörtern und Antonymen bestand im Blick auf die Reaktionszeit kein Unterschied.

- zu (b) Der Kongruenzunterschied wie bei den Sprichwörtern (verglichen mit den syntaktischen Bedingungen) blieb auch bei den Antonymen bestehen. Antonyme riefen verglichen mit den Sprichwörtern eine größere N400 hervor, es existierte also nicht die Positivverschiebung in gleichem Maße wie in den Sprichwörtern.
- zu (c) Ein spezifischer Kongruenzunterschied zwischen beiden Hemisphären wie bei den Sprichwörtern existierte bei den Antonymen ebenfalls, die N400 der kongruenten Antonyme war frontozentral ebenfalls mehr nach links verschoben. Zentroposterior war die Differenz bezüglich der Kongruenz bei den Antonymen größer als bei den Sprichwörtern.
- zu (d) Bezüglich der P600 bestanden zwischen Antonymen und Sprichwörtern leichte topografische Unterschiede, die nicht weiter ausschlaggebend sind. Bemerkenswert ist die Tatsache, dass auch für die P600 eine Negativverschiebung der Antonyme gegenüber den Sprichwörtern bestand und die Antonyme dadurch eine auffallend kleinere P600 als die syntaktisch eindeutige Bedingung hervorriefen.

Der hervorstechendste Unterschied zwischen Sprichwörtern und Antonymen ist eine allgemeine Negativverschiebung der Antonyme, also eine größere N400 und eine kleinere P600, gegenüber den Sprichwörtern. Als Ursache wird eine Verschiebung der Baseline in die negative Richtung angesehen.

Misst man allgemein die EKPs, die auf einzelne Wörter eines Satzes folgen, so fällt auf, dass sie durch eine mit jedem Wort zunehmende Negativverschiebung überlagert werden (Fischler et al., 1983; Kutas & Hillyard, 1980a; Kutas, van Petten, & Besson, 1988; Neville, Kutas & Schmidt, 1982).

Die vor jeweils einem Wort gemessene Spannung entspricht bei der Messung der Baseline des EKPs dieses Wortes. Die relative Abweichung der Spannung von dieser Baseline wird als negative oder positive EKP-Komponente gemessen. Die allgemeine Negativierung nimmt im Verlauf eines Satzes zu.

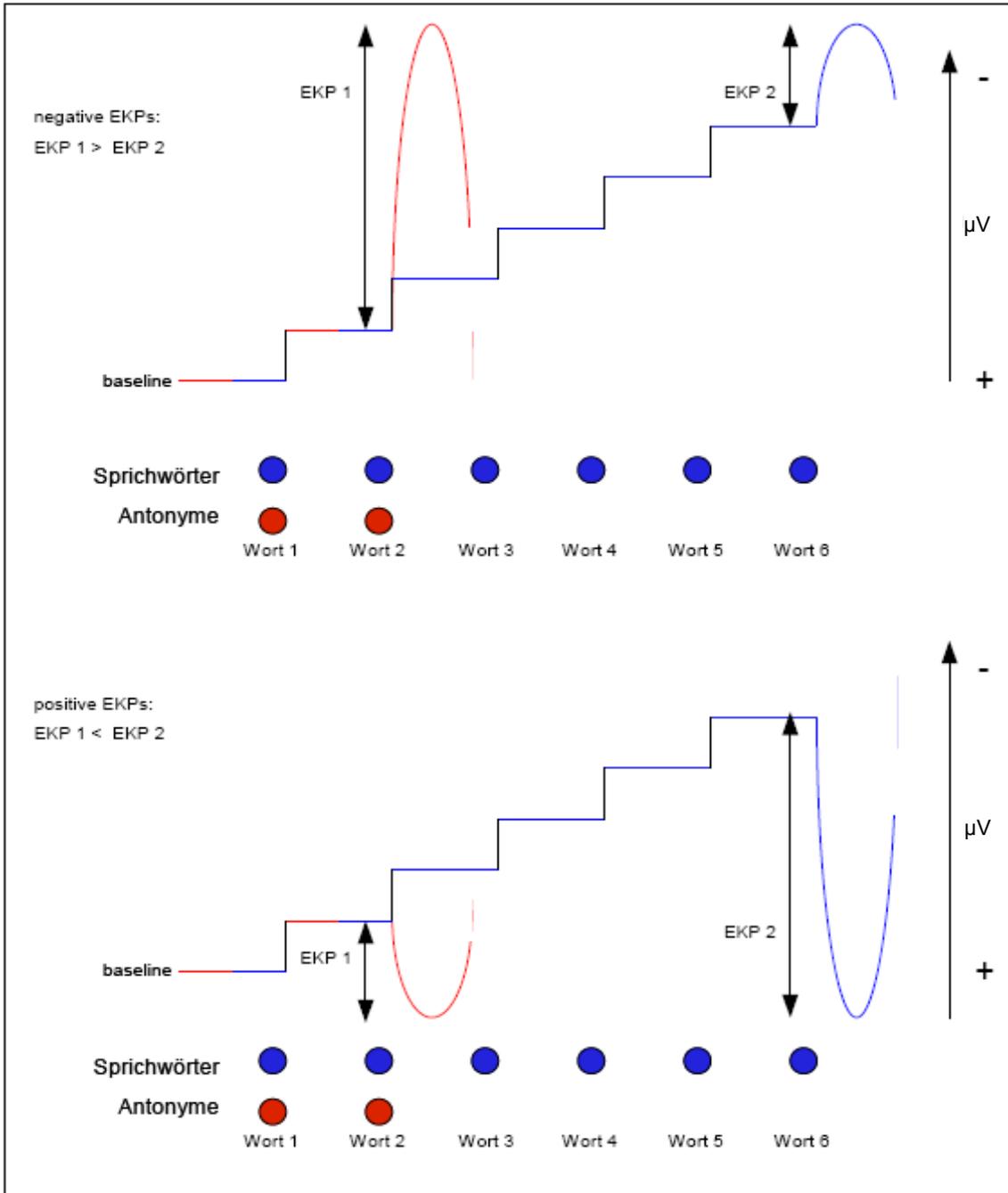
Deswegen wird eine theoretisch absolut gleiche negative Amplitude nach jedem Wort wegen einer Verschiebung der Baseline in die negative Richtung mit jedem Wort eines Satzes relativ kleiner gemessen (siehe Abbildung 56, erster Teil).

Der umgekehrte Fall gilt für die positiven EKP-Komponenten. Die Baseline wird wiederum mit jedem Wort eines Satzes in die negative Richtung verschoben. Daher erscheint bei gleicher absoluter Amplitude positiver Potenziale die gemessene Amplitude nach frühen Wörtern eines Satzes kleiner als nach späten Wörtern (siehe Abbildung 56, zweiter Teil).

Nach Antonympaaren, die lediglich aus zwei Wörtern bestehen, ist also eine größere N400 und eine kleinere P600 als nach Sprichwörtern, die aus sechs bis acht Wörtern bestehen, zu erwarten.

Abbildung 56: Modell zur Erklärung der Abnahme der Amplitude negativer EKPs und der Zunahme der Amplitude positiver EKPs mit jedem Wort eines Satzes. Sprichwörter bestehen hier theoretisch aus sechs Wörtern, Antonyme aus Wörtern.

EKP1=Amplitude des EKPs nach Erscheinen des zweiten Wortes eines Antonympaares
 EKP2=Amplitude des EKPs nach Erscheinen des sechsten Wortes eines Sprichworts



Welches Modell für semantisch eindeutige Bedingungen ist nun also vorzuziehen?

Die Sprichwörter unterscheiden sich mit ihren Besonderheiten in manchen Punkten auffallen von den restlichen Bedingungen, wie oben mehrfach dargestellt. Allerdings wiederholen sich viele dieser Besonderheiten auch bei den Antonymen und sind daher durch die Voraussetzung "semantisch eindeutig" bedingt. Bis auf die Betrachtung der Verhaltensdaten, wo der Tastendruck nach inkongruente Sprichwörter häufiger richtig war (Erklärung siehe 3.2), ist kein bedeutenden Unterschied zwischen Sprichwörtern und Antonymen ersichtlich.

Spruchwörter sind allerdings Sätze, nicht nur einzelne Wörter, und ergeben einen Sinnzusammenhang. Dadurch entsprechen sie dem täglichen Gebrauch der Sprache. Gerade in Vergleich mit anderen Sätzen aber auch mit dem Ziel, die Sprache mit ihren natürlichen, gesprochenen Eigenschaften zu erforschen und tiefere Einblicke zu gewinnen, sind sie allerdings den Antonymen weit überlegen.

5. weitere Forschungsansätze

Die Entropie spielt sicher eine entscheidende Rolle bei der Sprachverarbeitung, wie aus den Ergebnissen hervorgeht. Dabei konnten aber nur zwei Entropiestufen betrachtet werden: eindeutig und mehrdeutig. Für die genauere Erfassung des Entropie-Effektes würden sich Untersuchungen anbieten, in denen die Entropie bewusst auf mehreren Stufen variiert wird.

Aufgrund dieser Erkenntnis wurden bereits Überlegungen angestellt, wie die bestehenden Sätze in mehrere Entropiestufen eingeteilt werden könnten und hatten zur Entropiemessung die möglichen kongruenten Satzendungen gezählt. Entropie wird dabei als Summe der Verständnismöglichkeiten eines Satzes definiert. Diese kann nicht vollständig mit Korrekturvorschlägen, zum Beispiel alternativen Endwörtern, erfasst werden, denn auch wenn man einen Satz

beispielsweise als Witz oder als typischen Fehler eines Nicht-Muttersprachlers versteht, ist auch dies als Verständnismöglichkeit zu werten, die erfasst werden sollte. Der nächste Schritt sollte also zusätzlich zu der qualitativen in der quantitativen Erfassung von Verständnismöglichkeiten eines Fehlers am Ende eines Satzes bestehen. Dann wird man die EKPs auf verschiedenen Entropiestufen erfassen und vergleichen können.

Viele Modelle für die semantisch eindeutige Bedingung wurden vor der Durchführung der Versuche durchdacht und die zwei subjektiv eindeutigsten (Sprichwörter und Antonyme) umgesetzt. Bei den Sprichwörtern bestand aber weiterhin das Problem, dass sie den Probanden eventuell unbekannt waren (und daher über die Bedeutung nachgedacht wurde und Bewertung stattfand) oder aber, dass die inkongruenten Satzendigungen als Witz verstanden wurden. Die Antonyme dagegen haben das Problem eines kurzen Prime (hier nur ein Wort im Gegensatz zu den anderen betrachteten Bedingungen, bei denen der Prime in einem fast vollständigen Satz bestand) und sind nicht so gut mit den anderen Stimuli, die in einem Satz präsentiert wurden, vergleichbar. Daher sollten noch weitere Modelle angedacht werden, die das Kriterium der Eindeutigkeit eventuell noch besser erfüllen.

Ein Beispiel dafür wären faktische Fehler (Beispiel: *Ein Huhn hat drei Beine*). Die methodische Herausforderung dabei besteht darin, dass diese aber überzeugend eindeutig und einfach verständlich sein müssen, damit der Fehler klar erkennbar ist und nicht zum Beispiel über Weltanschauungen (Beispiel: *Der Irak besaß Massenvernichtungswaffen*) oder Ausnahmen (Beispiel: *Katzen ernähren sich von Fleisch*) gestritten werden kann.

Eine weitere Idee sind Fehler aus dem Zusammenhang, der entweder davor hergestellt wurde (Aussagen über zuvor gemachten Aussagen) oder falsche Aussagen in einem bestimmten Zusammenhang (Beispiel: *Das Bild eines Mannes, der davon spricht, an Schwangerschaftsbeschwerden zu leiden*).

Eine Idee eines Fehlers aus dem Zusammenhang haben Nieuwland & van

Berkum bereits 2005 umgesetzt, als sie überprüften, ob Zuhörer spontan entdeckten, dass ein menschlicher Darsteller einer Geschichte (zum Beispiel ein Tourist) plötzlich durch ein unbelebtes Objekt (zum Beispiel einen Koffer) ausgetauscht wurde. Die Ergebnisse bestätigen obige Erkenntnisse: Keine normale N400 wurde gemessen, sondern eine spätere Positivierung um 500-600 ms. Einigen Zuhörern fiel dieser radikale Fehler nicht einmal auf. In dem Zusammenhang benutzen die Autoren den Begriff "semantic change deafness".

Der Vorteil des EEG gegenüber anderen Messmethoden besteht darin, dass a) die Erfassung einfach und mit bescheidenem Aufwand erfolgt, b) eine direkte Messung von funktionellen Gehirnzuständen und c) hohe zeitliche Auflösung möglich ist. Nachteil ist dagegen die nur mäßige räumliche Auflösung und die Erfassung vorwiegend radiale Dipole (quasi senkrecht zur Kopfoberfläche). Daher können neben den Möglichkeiten zur inhaltlichen Weiterentwicklung der Experimente auch technisch weitere Potenziale ausgeschöpft werden: Neben dem EEG steht das MEG (Magnetenzephalografie) zur Verfügung, das ebenfalls ohne zeitliche Verzögerung die momentane Gesamtaktivität wiedergibt. Vorteile des MEG ist die genauere Lokalisation der Gehirnaktivität im Vergleich zum EEG. Der größte Nachteil der MEG-Lokalisation besteht in der selektiver Erfassung tangenziale Dipole (d.h. quasi parallel zur Oberfläche). Hier liegen die Vorteile der funktionellen metabolischen Methode: Beim fMRT (funktionelle Magnetresonanztomografie) ist es möglich, Stoffwechselforgänge, die aufgrund von Hirnaktivität entstehen, sichtbar zu machen. Rückschlüsse auf den Ort einer Aktivität können dann in Form von Wahrscheinlichkeiten berechnet werden. Im Vergleich zu anderen neurophysiologischen Untersuchungsmethoden zeigt das fMRT mehr Möglichkeiten in der lokalisierenden Untersuchung, jedoch eine sehr viel kleinere zeitliche Auflösung. Außerdem besteht eine Unsicherheit durch einen indirekten Faktor, der nicht direkt von der neuronalen Aktivität, sondern dem unabhängigen Stoffwechsel herrührt.

Durch Kombination der vorliegenden Ergebnisse und der Erkenntnisse durch eine dieser weiteren Untersuchungsverfahren könnte eine genauere Aussage über die Lokalisation der beobachteten Prozesse und über die zugrundeliegenden Gehirnstruktur gemacht werden. Beispielsweise kann mittels fMRT die Frage nach der Linksverschiebung bei Sprichwörtern angegangen werden. Die N400 entsteht wahrscheinlich im Temporallappen, mit Hilfe des fMRTs könnte man vielleicht den Beitrag von rechts und links bei verschiedenen Bedingungen vergleichen und dadurch die Interpretation verfeinern.

6. Schlussfolgerung

In den vorliegenden Ergebnissen findet man eine Bestätigung des konnektionistischen Modells aber auch Hinweise auf das modularistische Modell. Am einleuchtendsten scheint das Modell der semantischen Netzwerke zu sein, das mit der "automatic spreading activation" arbeitet und eine Verbindung beider Modelle mit einem Schwerpunkt auf das konnektionistische Modell darstellt, wie es auch den vorliegenden Ergebnissen entspricht.

Grundlage dabei ist immer, dass Sprache ein Kommunikationsmittel ist, in dem es darum geht, das Gegenüber zu verstehen und verständliche Botschaften zu transportieren. Und um eine schnelle und reibungslose Kommunikation zu gewährleisten ist es essenziell, dass eindeutige Signale vermittelt werden. Muss sich das Gegenüber erst für eine Möglichkeit entscheiden und besteht Unklarheit über das Gesagte verzögert das den Informationsfluss erheblich.

Insgesamt erfolgt die Verarbeitung von Sprache in zwei Schritten (in manchen Punkten ähnlich wie von Friederici (1995) vorgeschlagen):

In einem ersten Schritt erfolgen die Initiierung der für das Verständnis zuständigen Prozesse, in einem zweiten die eventuell nötige Korrektur (für ein korrektes Deutsch).

Die für das Verständnis notwendigen Prozesse bedürfen der Information von

außen und sind für Sprache und Kommunikation essenziell. Dabei geht die Information über semantischen Input hinaus, auch die Syntax wird mit einbezogen, denn es darf in beiden Punkten keine Mehrdeutigkeit mehr bestehen, sondern muss Klarheit herrschen. (Hinweis hierauf ist die N400 bei syntaktisch mehrdeutigen Fehlern, Erklärung siehe unten). Hierbei besteht keine starre linguistische Einteilung und dies ist am einleuchtendsten zu verstehen, wenn man das Sprachverarbeitungssystem als Netzwerk auffasst: Bei Erscheinen²⁷ der Wörter eines Satzes wird ein Netzwerk aktiviert, das die jeweils naheliegenden Knotenpunkte voraktiviert, um die Verarbeitung zu beschleunigen und zu vereinfachen ("semantische Bahnung"²⁸). In den vorgestellten Versuchen wird das Netzwerk bis zum letzten Wort immer weiter fortgeführt und aktualisiert, bis entweder ein einzelnes Wort (Eindeutigkeit) oder eine bestimmte Auswahl einzelner Wörter oder Ausdrucksformen (Mehrdeutigkeit) übrigbleiben. Wird mit dem letzten Wort einer dieser Knotenpunkte aktiviert (semantisch und syntaktisch kongruent), erfolgt keine weitere direkte Reaktion durch das Gehirn und weder eine N400 noch eine P600 ist messbar. Wenn der letzte Knotenpunkt zwar eindeutig festgelegt, aber der Input falsch ist (syntaktisch: falsche grammatikalische Form; semantisch: falsches Wort), misst man eine P600, die auf die interne Weiterverarbeitung und Korrektur des Stimulus hindeutet. Von außen ist kein weiterer Input und keine Erklärung nötig. Wird mit dem letzten Wort allerdings nicht ein definierter Knotenpunkt angesteuert und es bleiben mehrere semantische oder syntaktische Alternativen offen, so muss eine Entscheidung stattfinden um den Input verstehen und weiterverarbeiten zu können. Dazu ist weitere externe Information nötig. Um deren Aufnahme und Verarbeitung möglichst einfach und schnell zu gewährleisten, findet eine Negativierung statt, resultierend wird eine N400 gemessen. Wenn der Entscheidungsprozess für einen Knotenpunkt angestoßen wurde (N400), kann dieser intern (P600) eventuell korrigiert und weiterverarbeitet werden.

27 "Erscheinen" in diesem Fall, sonst: Hören, Lesen,...

28 Definition siehe 3. semantisches Netzwerk als vereinbarende Alternativhypothese

Mit diesem Modell der "automatic spreading activation" ist es möglich, die beiden Modelle des Modularismus und des Konnektionismus bis zu einem gewissen Grad zu vereinen und eine anschauliche Grundlage für das Verständnis der Prozesse, die bei der Sprachverarbeitung und der Kommunikation stattfinden, zu bilden.

V. Zusammenfassung

Ziel der vorliegenden Studie war es mit der Methode des EEGs und der Analyse der ereigniskorrelierten Potentiale N400 und P600 zwei grundlegende Theorien zur Sprachverarbeitung zu unterscheiden und gegeneinander abzuwägen.

Die N400 kann dabei nach der Theorie des Modularismus als Indikator für semantische Verletzungen und die P600 als Indikator für syntaktische Verletzungen gewertet werden. Nach der Theorie des Konnektionismus spiegeln N400 und P600 aber uneindeutige und eindeutige Informationsverarbeitung wider. Um zwischen den beiden Theorien unterscheiden zu können, müssen die beiden Faktoren Semiotik (Semantik-Syntax) und Entropie (eindeutig-mehrdeutig) gegeneinander abgewogen werden.

Dafür wurden in der vorliegenden Forschungsarbeit zwei Methoden gewählt: Versuchsanleitung und Stimulusmaterial. Insgesamt wurden vier Bedingungen untersucht: semantisch eindeutig, semantisch mehrdeutig, syntaktisch eindeutig und syntaktisch mehrdeutig. Für die semantisch eindeutige Bedingung wurden sowohl Sprichwörter als auch Antonyme untersucht.

Sowohl die Verhaltensdaten (Reaktionszeit und Anzahl der richtigen Antworten) als auch die EEG-Daten wurden registriert und ausgewertet. Dabei ergaben sich folgende Faktoren, für die mehrere mehrfaktorielle Varianzanalysen durchgeführt wurden: Semiotik (Semantik-Syntax), Entropie (eindeutig-mehrdeutig), Kongruenz (richtig-falsch), Elektrode (frontal-zentral-parietal) und Hemispäre (links-rechts). In einer separaten Analyse wurden außerdem Antonyme und Sprichwörter miteinander verglichen (Faktor Versuch)

In einem Nachversuch wurden die Versuche, auf die ein Tastendruck erfolgte, nochmals präsentiert, diesmal jedoch mit mentalem Zählen um den Effekt der motorischen Reaktion zu überprüfen (Faktor Wiederholung).

Ein N400-Effekt wurde nur durch semantisch eindeutige Reize hervorgerufen wobei syntaktische Bedingungen eine größere N400 hervorriefen als semantische Bedingungen.

Der P600-Effekt war in eindeutigen Bedingungen größer als in mehrdeutigen und in syntaktischen als in semantischen Bedingungen.

In den Nachversuchen ohne Tastendruck zeigten sich insgesamt negativere EKP-Werte als in den Hauptversuchen mit Tastendruck. Diese Verschiebung hatte allerdings keinen bedeutsamen Einfluss auf die Signifikanz der einzelnen Faktoren und der Interaktionen. Somit lässt sich feststellen, dass die Ergebnisse der Theorienprüfung nicht durch die Bewegungen (Tastendruck) beeinflusst wurden.

Die EKPs der Antonyme befanden sich insgesamt auf einem elektrophysiologisch negativerem Niveau als die der Sprichwörter, zeigten sonst aber wenige Unterschiede zu diesen.

Die Ergebnisse liefern Hinweise sowohl für die Theorie des Modularismus als auch für die des Konnektionismus. Am einleuchtendsten scheint das Alternativmodell der semantischen Netzwerke zu sein, dem die "automatic spreading activation" zugrunde liegt und das Teile beider Theorien, mit dem Schwerpunkt auf dem Konnektionismus, beinhaltet. Grundlegendes Prinzip ist dabei, dass die Funktion von Sprache darin besteht verständliche Informationen zu transportieren. Für eine schnelle und unbehinderte Kommunikation ist es essenziell, dass eindeutige Signale vermittelt werden. Wenn sich das Gegenüber erst für eine Alternative entscheiden muss, wird der Informationsfluss verlangsamt.

Für die Sprachverarbeitung finden dabei Prozesse zum Verständnis und außerdem die formale Korrektur statt. Dabei besteht keine starre linguistische Einteilung, sondern ein Netzwerk, in dem ein Wort das umgebende Netzwerk voraktiviert um die Verarbeitung zu beschleunigen und zu vereinfachen.

Im Fall der Eindeutigkeit bleibt letztendlich nur ein in Frage kommender Knoten übrig. Im Fall der Mehrdeutigkeit verbleibt eine Auswahl an Wörtern oder Ausdrücken. Wenn einer dieser in Frage kommenden Knotenpunkte aktiviert wird, ist keine spezifische Hirnantwort messbar. Wenn der Input inkongruent ist, wird im eindeutigen Fall eine P600 gemessen. Dies ist ein Hinweis darauf, dass ein interner Prozess stattfindet und keine externe Information von Nöten ist. Wenn der Input allerdings mehrdeutig ist, muss eine Entscheidung für einen der möglichen Knotenpunkte stattfinden und dafür wird Information von außen benötigt. Um deren Wahrnehmung und Verarbeitung zu vereinfachen wird eine Negativität produziert, eine N400 wird gemessen.

VI. Literaturverzeichnis

Adams, R.D., Victor, M. & Ropper, A.H. (Hrsg.) (1999): *Prinzipien der Neurologie*. Frankfurt a.M., McGraw-Hill, 327-361.

Anderson, J.R. (1983): A spreading activation theory of memory. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior* 22, 261-295.

Anderson, J.E. & Holcomb, P.J. (2005): An electrophysiological investigation of the effects of coreference on word repetition and synonymy. *Brain Lang* 94(2), 200-216.

Assadollahi, R. (2003): *Psychophysiologische Korrelate der Sprachverarbeitung im menschlichen Gehirn*. Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades des Doktors der Naturwissenschaften an der Universität Konstanz; Naturwissenschaftliche Sektion, Fachbereich Psychologie.

Barrett, S.E., Rugg, M.D. & Perrett, D.I. (1988): Event-related potentials and the semantic matching of familiar and unfamiliar faces. *Neuropsychologia* 26(1), 105–117.

Bauer, H. (1984): Regulation of slow brain potentials affects task performance. In: Elbert, T. (Hrsg.), *Self-regulation of Brain and Behavior*. Berlin u.a., Springer.

Bauer, H. & Nirnberger, G. (1981): Concept identification as a function of preceding negative or positive spontaneous shifts in slow brain potentials. *Psychophysiology* 18(4), 466–469.

Bear, M.F., Cooper, L.N. & Ebner, F.F. (1987): A physiological basis for a theory of synapse modification. *Science* 237(4810), 42-48.

Bentin, S. (1987): Event-related potentials, semantic processes, and expectancy factors in word recognition. *Brain Lang* 31(2), 308-327.

Bentin, S., Kutas, M. & Hillyard, S. (1995): Semantic processing and memory for attended and unattended words in dichotic listening: Behavioral and electrophysiological evidence. *J Exp Psychol Hum Percept Perform* 21(1), 54-67.

Bentin, S., McCarthy, G. & Wood, C.C. (1985): Event-related potentials associated with semantic priming. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 60, 343-355.

Birbaumer N. (1999): Slow cortical Potentials: Plasticity, Operant control, and Behavioral Effects. *Neuroscientist* 5, 74-78.

Birbaumer, N., Elbert, T., Canavan, A.G.M. & Rockstroh, B. (1990): Slow cortical Potentials of the Cerebral Cortex and Behavior. *Physiological Review* 70, 1-41.

Birbaumer, N., Roberts, L.E., Lutzenberger, W., Rockstroh, B. & Elbert, T. (1992): Area-specific self-regulation of slow cortical potentials on the sagittal midline and its effects on behavior. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 84(4), 351–361.

Birbaumer, N. & Schmidt, R.F. (2003⁵): *Biologische Psychologie*. Berlin u.a., Springer, 493-501.

Bobes, M.A., Valdes-Sosa, M. & Olivares, E. (1994): An ERP study of expectancy violation in face perception. *Brain Cogn* 26(1), 1–22.

Bortz, J. (2004⁶): *Statistik für Human- und Sozialwissenschaftler*. Berlin u.a., Springer.

Braitenberg, V. (1978): Cell assemblies in the cerebral cortex. In: Heim, R. & Palm, G. (Hrsg.): *Theoretical approaches to complex systems*. Berlin u.a., Springer, 171-188.

Braitenberg, V. (1984): *Vehicles*. Cambridge, MA: MIT Press.

Caldara, R., Jermann, F., Arango, L. & Van der Linden, M. (2004): Is the N400 category-specific? A face and language processing study. *Neuroreport* 15 (17), 2589–2593.

Caplan, D. (1992): *Language: Structure, processing, and disorders*. Cambridge, MA: MIT Press.

Chwilla, D.J., Brown, C.M. & Hagoort, P. (1995): The N400 as a function of the level of processing. *Psychophysiology* 32, 274-285.

Coles, M.G.H. & Rugg, M.D. (1995): Event-related brain potentials: An introduction. In: Rugg, M.D. & Coles, M.G.H. (Hrsg.): *Electrophysiology of mind: Event-related brain potentials and cognition*. New York, Oxford University Press, 1-26.

Collins, A.M. & Loftus, E.F. (1975): A spreading-activation theory of semantic processing. *Psychol Rev* 82, 407-428.

Coney, J. & Evans, K.D. (2000): Hemispheric asymmetries in the resolution of lexical ambiguity. *Neuropsychologia* 38(3), 272-282.

Coulson, S., King, J. & Kutas, M. (1998): Expect the unexpected: Event-related brain response to morphosyntactic violations. *Lang Cogn Process* 13, 21-58.

Deacon, D., Grose-Fifer, J., Hewitt, S., Nagata, M., Shelley-Tremblay, J. & Yanget, C.M. (2004): Physiological evidence that a masked unrelated intervening item disrupts semantic priming: implications for theories of semantic representation and retrieval models of semantic priming. *Brain Lang* 89(1), 38-46.

Debener, S. (2001): Individuelle Unterschiede in der frontalen EEG Alphaasymmetrie: Emotionalität und intraindividuelle Veränderungen. Berlin, dissertation.de.

Donchin, E. (1981): Surprise! ... Surprise? *Psychophysiology* 18(5), 493-513.

Donchin, E. & Coles, M. (1988): Is the P300 component a manifestation of context updating? *Behav Brain Sci* 11, 357-374.

Elbert, T. (1986): Patterns of stimulus- and self-induced slow brain potentials – a sign of task-specific preparation. *Hum Neurobiol* 5 (1),6–69.

Elbert, T. & Rockstroh, B. (1987): Threshold regulation – a key to the understanding of the combined dynamics of EEG and event-related potentials. *Journal of psychophysiology* 1, 33–69.

Fischler, I. & Raney, G.E. (1991): Language by eye: Behavioral, autonomic and cortical approaches to reading. In: Jennings, J.R. & Coles, M.G.H. (Hrsg.): *Handbook of Cognitive Psychology: Central and Autonomic Nervous System*. New York, Wiley, 511-577.

Fodor, J.A. (1983): *The modularity of mind: an essay on faculty psychology*. Cambridge, MA: MIT Press.

Friederici, A.D. (1995): The time course of syntactic activation during language processing: A model based on neuropsychological and neurophysiological data. *Brain Lang* 50(3), 259 -281.

Friederici, A.D. (1999): The neurobiology of language comprehension. In: Friederici, A.D. (Hrsg.): *Language comprehension: A biological perspective*. Berlin u.a., Springer, 263-301.

Friederici, A.D., Hahne, A. & Mecklinger, A. (1996): Temporal structure of syntactic parsing: Early and late ERP effects elicited by syntactic anomalies. *J Exp Psychol Learn Mem Cogn* 22(5), 1219-1248.

Friederici, A.D., Pfeifer, E. & Hahne, A. (1993): Event-related brain potentials during natural speech processing: Effects of semantic, morphological and syntactic violations. *Brain Res Cogn Brain Res* 1(3), 183-192.

Friederici, A.D., Steinhauer, K. & Frisch, S. (1999): Lexical integration: Sequential effects of syntactic and semantic information. *Mem Cognit* 27(3), 438-453.

Gunter, T.C., Friederici, A.D. & Schriefers, H. (2000): Syntactic gender and semantic expectancy: ERPs reveal early autonomy and late interaction. *J Cogn Neurosci* 12(4), 556-569.

Gunter, T.C., Stowe, L.A. & Mulder, G. (1997): When syntax meets semantics. *Psychophysiology* 34(6), 660-676.

Gurtubay, I.G. & Artieda, J. (1999): The characteristics of evoked potentials due to omission of stimuli in a sequence of rhythmic auditory tones. *Rev Neurol* 29(5), 403-407.

Hagoort, P. (2003): Interplay between syntax and semantics during sentence comprehension: ERP effects of combining syntactic and semantic violations. *J Cogn Neurosci* 15(6), 883-899.

Hagoort, P., Brown, C. & Groothusen, J. (1993): The syntactic positive shift (SPS) as an ERP measure of syntactic processing. *Lang Cogn Process* 8, 439-483.

Hahne, A. & Friederici, A.D. (1999): Electrophysiological evidence for two steps in syntactic analysis: Early automatic and late controlled processes. *J Cogn Neurosci* 11(2), 194-205.

Hamm, J.P., Johnson, B.W. & Kirk, I.J. (2002): Comparison of the N300 and N400 ERPs to picture stimuli in congruent and incongruent contexts. *Clin Neurophysiol* 113(8), 1339-1350.

Heil, M., Rösler, F. & Henninghausen, E. (1996): Topographically distinct cortical activation in episodic long-term memory: the retrieval of spatial versus verbal information. *Mem Cognit* 24(6), 777-795.

Heil, M., Rolke, B. & Pecchinenda A. (2004): Automatic semantic activation is no myth: semantic context effects on the N400 in the letter-search task in the absence of response time effects. *Psychol Sci* 15(12), 852-857.

Hinojosa, J.A., Martin-Loeches, M. & Rubia, F.J. (2001): Event-related potentials and semantics: an overview and an integrative proposal. *Brain Lang* 78(1), 128-139.

Hoer, M. & Dominey, P.F. (2000): ERP analysis of cognitive sequencing: a left anterior negativity related to structural transformation processing. *Neuroreport* 11(14), 3187-3191.

Holcomb, P.J. (1988): Automatic and attentional processing: an event-related brain potential analysis of semantic priming. *Brain Lang* 35(1), 66-85.

Holcomb, P.J. (1993): Semantic priming and stimulus degradation: implications for the role of the N400 in language processing. *Psychophysiology* 30(1), 47-61.

Holcomb, P.J. & Neville, H.J. (1990): Auditory and visual semantic priming in lexical decision: A comparison using event-related brain potentials. *Lang Cogn Process* 5, 281-312.

Johnson, B.W. & Hamm, J.P. (2000): High density mapping in an N400 paradigm: evidence for bilateral temporal lobe generators. *Clin Neurophysiol* 111(3), 532-545.

Kaan, E. & Swaab, T.Y. (2003): Repair, revision, and complexity in syntactic analysis: an electrophysiological differentiation. *J Cogn Neurosci* 15(1), 98-110.

Koelsch, S., Gunter, T.C., Wittfoth, M. & Sammler, D. (2005): Interaction between syntax processing in language and in music: an ERP Study. *J Cogn Neurosci* 17(10), 1565-1577.

Kotchoubey, B. (2006): Event-related potentials, cognition, and behavior: A biological approach. *Neurosci Biobehav Rev* 30(1), 42-65.

Kotchoubey, B., Lang, S., Bostanov, V. & Birbaumer, N. (2002): Is there a Mind? *Electrophysiology of Unconscious Patients. News Physiol Sci* 17, 38-42.

Kotchoubey, B., Wascher, E. & Verleger, R. (1997): Shifting attention between global features and small details: an event-related potential study. *Biol Psychol* 46(1), 25-50.

Kounios, J. & Holcomb, P.J. (1994): Concreteness effects in semantic processing: ERP evidence supporting dual-coding theory. *News Physiol Sci* 20(4), 804-823.

Kutas, M. (1998): Current thinking on language structures. *Curr Psychol Cogn* 17(45), 951-965.

Kutas, M. & Hillyard, S.A. (1980a): Reading senseless sentences: Brain potentials reflect semantic incongruity. *Science* 207, 203-205.

Kutas, M. & Hillyard, S.A. (1980b): Event-related potentials to semantically inappropriate and surprisingly large words. *Biol Psychol* 11(2), 99-116.

Kutas, M. & Hillyard, S.A. (1984): Brain potentials during reading reflect word expectancy and semantic association. *Nature* 307(5947), 161-163.

Kutas, M. & Van Petten, C.K. (1994): Psycholinguistics electrified: Event-related brain potential investigations. In Gernsbacher, M.A. (Hrsg.): *Handbook of Psycholinguistics*. San Diego, Academic Press, 83-143.

Kutas, M., Van Petten, C.K. & Besson, M. (1988): Event-related potential asymmetries during the reading of sentences. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 69, 218-233.

Lutzenberger, W., Elbert, T., Rockstroh B. & Birbaumer, N. (1979): The effects of self-regulation of slow cortical potentials on performance in a signal detection task. *Int J Neurosci* 9, 175-183.

Marchand, Y., D'Arcy, R.C.N. & Connolly, J.F. (2002): Linking neurophysiological and neuropsychological measures for aphasia assessment. *Clin Neurophysiol* 113, 1715-1722.

McLeod, C.M. (1991): Half a century of research on the Stroop effect: An integrative review. *Psychol Bull* 109, 163-203.

McPherson, W.B. & Holcomb, P.J. (2002): An electrophysiological investigation of semantic priming with pictures of real objects. *Psychophysiology* 36(1), 53-65.

Misra, M. & Holcomb, P.J. (2003): Event-related potential indices of masked repetition priming. *Psychophysiology* 40(1), 115-130.

Mitzdorf, U. (1987): Properties of the evoked potentials Generator: Current source-density analysis of visually evoked potentials in the cat cortex. *Int J Neurosci* 33, 33-59.

Mitzdorf, U. (1994): Properties of Cortical Generators of Event-Related Potentials. *Pharmacopsychiatry* 27, 49-51.

Morris, J. & Holcomb, P.J. (2005): Event-related potentials to violations of inflectional verb morphology in English. *Brain Res Cogn Brain Res* 25(3), 963-981.

Müller, H.M., Weiss, S. & Rickheit, G. (1997): Experimentelle Neurolinguistik. In: Bielefelder Linguistik (Hrsg.): *Linguistik: Die Bielefelder Sicht*. Bielefeld, Aisthesis, 125-128.

Münter, T.F., Heinze, H.-J. & Mangun, G.R. (1993): Dissociation of brain activity related to syntactic and semantic aspects of language. *J Cogn Neurosci* 5(3), 335-344.

Münter, T.F., Heinze, H.-J., Matzke, M., Wieringa, B.M. & Johannes, S. (1998a): Brain potentials and syntactic violations revisited: No evidence for specificity of the syntactic positive shift. *Neuropsychologia* 36, 217-226.

Münter, T.F., Schlitz, K. & Kutas, M. (1998b): When temporal terms belie conceptual order. *Nature* 395, 71-73.

Neely, J.H. (1991): Semantic priming effects in visual word recognition: A selective review of current findings and theories. In: Besner, D. & Humphreys, G.W. (Hrsg.): *Basic processes in reading: Visual word recognition*. Hillsdale/NJ, Erlbaum, 264-336.

Neely, J.H. & Kahan, T.A. (2001): Is semantic activation automatic? A critical re-evaluation. In: Roediger, H.L. III., Nairne, J.S., Neath, I. & Surprenant, A.M. (Hrsg.): *The nature of remembering: Essays in honor of R.G. Crowder*. Washington, D.C., APA, 69-93. (Science Conference Series)

Neville, H.J., Kutas, M. & Schmidt, A. (1982): Event-related potentials studies of cerebral specialization during reading: II studies of congenitally deaf adults. *Brain Lang* 16, 316-337.

Neville, H.J., Nicol, J.L., Barss, A., Forster, K.I. & Garrett, M.F. (1991): Syntactically based sentence processes classes: evidence from event-related brain potentials. *J Cogn Neurosci* 3(2), 151-165.

Niedeggen, M., Rösler, F. & Jost, K. (1999): Processing of incongruous mental calculation problems: evidence for an arithmetic N400 effect. *Psychophysiology* 36, 307-324.

Nieuwland, M.S. & Van Berkum, J.J. (2005): Testing the limits of the semantic illusion phenomenon: ERPs reveal temporary semantic change deafness in discourse comprehension. *Brain Res Cogn Brain Res* 24(3); 691-701.

Nieuwland, M.S. & Van Berkum, J.J. (2006): When peanuts fall in love: n400 evidence for the power of discourse. *J Cogn Neurosci* 18(7), 1098-1011.

Nigam, A., Hoffman, J.E. & Simons, R.F. (1992): N400 to semantically anomalous pictures and words. *J Cogn Neurosci* 4, 15-22.

Nobre, A.C. & McCarthy, G. (1994): Language-related ERPs: Scalp distributions and modulation by word type and semantic priming. *J Cogn Neurosci* 6, 233-255.

Osterhout, L. & Hagoort, P.J. (1999): A superficial resemblance does not necessarily mean that you are part of the family: Counterarguments to Coulson, King, and Kutas (1998) in the P600/SPSP300 debate. *Lang Cogn Process* 14, 1-14.

Osterhout, L. & Holcomb, P.J. (1992): Event-related brain potentials elicited by syntactic anomaly. *J Mem Lang* 31, 785-806.

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. *J Exp Psychol Learn Mem Cogn* 20(4), 786-803.

Osterhout, L., McKinnon, R., Bersick, M., & Corey, V. (1996): On the language specificity of the brain response to syntactic anomalies: Is the syntactic positive shift a member of the P300 family? *J Cogn Neurosci* 8, 507-526.

Osterhout, L. & Nicol, J. (1999): On the distinctiveness, independence, and time course of the brain responses to syntactic and semantic anomalies. *Lang Cogn Process* 14, 283-317.

Pratarelli, M.E. (1994): Semantic processing of pictures and spoken words: evidence from event-related brain potentials. *Brain Cogn* 24, 259-276.

Rockstroh, B. & Elbert, T. (1990): On the regulation of excitability in cerebral cortex – a bridge between EEG and attention? In: Geissler, H.G., Müller, H.G. & Prinz, M.H. (Hrsg.): *Psychophysical Exploration of Mental Structures*. Toronto, Hogrefe & Huber.

Rockstroh, B., Elbert, T., Canavan, A., Lutzenberger, W. & Birbaumer, N. (1989²): *Slow cortical potentials and behaviour*. München, Urban & Schwarzenberg.

Rockstroh, B., Elbert, T., Lutzenberger, W. & Birbaumer, N. (1982): The effects of slow cortical potentials on response speed. *Psychophysiology* 19(2), 211-217.

Rösler, F., Bajric, J., Heil, M., Henninghausen, E., Niedeggen, M., Pechmann, T., Roder, B., Russeler, J. & Streb, J. (1997): Memory traces in EEG. *Z Exp Psychol* 44, 4-37.

Rösler, F. & Hahne, A. (1993a): Hirnelektrische Potentiale des Sprachverstehens: Zur psycholinguistischen Bedeutung der N400 im EEG. *Sprache & Kognition* 11, 149-161.

Rösler, F., Heil, M. & Glowalla, U. (1993b): Monitoring retrieval from longterm memory by slow event-related brain potentials. *Psychophysiology* 30, 170-182.

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.

Rolke, B., Heil, M., Streb, J. & Hennighausen, E. (2001): Missed prime words within the attentional blink evoke an N400 semantic priming effect. *Psychophysiology* 38(2), 165-174.

Rossi, S., Gugler, M.F., Hahne, A. & Friederici, A.D. (2005): When word category information encounters morphosyntax: an ERP study. *Neurosci Lett* 384(3), 228-233.

Rugg, M.D. (1990): Event-related brain potentials dissociate repetition effects of high- and low-frequency words. *Mem Cognit* 18(4), 367-379.

Schiller, N.O., Münte, T.F., Horemans, I. & Jansma, B.M. (2003): The influence of semantic and phonetic factors on syntactic decisions: an event-related brain potential study. *Psychophysiology* 40, 869-877.

Schon, D. & Besson, M. (2005): Visually induced auditory expectancy in music reading: a behavioral and electrophysiological study. *J Cogn Neurosci* 17(4), 694-705.

Schupp, H.T., Lutzenberger, W., Rau, H. & Birbaumer, N. (1994): Positive shifts of event-related potentials: a state of cortical disfacilitation as reflects by the startle reflex probe. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 90(2), 135-144.

Schwarz, M. (1996²): Einführung in die kognitive Linguistik. Tübingen, Basel, A. Francke, 13-38.

Silva-Pereyra, J., Harmony, T., Villanueva, G., Fernandez, T., Rodriguez, M., Galan, L., Diaz-Comas, L., Bernal, J., Fernandez-Bouzas, A., Marosi, E. & Reyes, A. (1999): N400 and lexical decisions: automatic or controlled processing? *Clin Neurophysiol* 110, 813-824.

Sommer, F.T. (2000): On cell assemblies in a cortical column. *Neurocomputing* 32-33, 517-522.

Speckman, E.J., Caspers, H. & Elger, C. (1984): Neuronal mechanisms underlying the generation of field potentials. In: Elbert, T., Rockstroh, B., Lutzenberger, W. & Birbaumer, N. (Hrsg.): *Selfregulation of the brain and behavior*. Berlin u.a., Springer, 9-25.

Stanovich, K.E. & West, R.F. (1983): On priming by a sentence context. *J Exp Psychol Genl* 112(1), 1-36.

Stroop, J.R. (1935): Studies of interference in serial verbal reaction. *J Exp Psychol* 18, 643-662.

Townsend, J.T. & Ashby, F. (1983): The stochastic modeling of elementary psychological processes. Cambridge, University Press.

Trautner, P, Dietl, T, Staedtgen, M, Mecklinger, A, Grunwald, T, Elger, C.E. & Kurthen, M. (2004): Recognition of famous faces in the medial temporal lobe: an invasive ERP study. *Neurology* 63(7), 1203-1208.

van Berkum, J.J., Brown, C.M., Hagoort, P. & Zwitterlood, P. (2003): Event-related brain potentials reflect discourse-referential ambiguity in spoken language comprehension. *Psychophysiology* 40(2), 235-248.

van Berkum, J.J., Brown, C.M., Zwitterlood, P., Kooijman, V. & Hagoort, P. (2005): Anticipating upcoming words in discourse: evidence from ERPs and reading times. *J Exp Psychol Learn Mem Cogn* 31(3), 443-467.

van Berkum, J.J., Hagoort, P. & Brown, C.M. (1999): Semantic integration in sentences and discourse: evidence from the N400. *J Cogn Neurosci* 11(6), 657-671.

van den Brink, D. & Hagoort, P. (2004): The influence of semantic and syntactic context constraints on lexical selection and integration in spoken-word comprehension as revealed by ERPs. *J Cogn Neurosci* 16(6), 1068-1084.

van Petten, C.K. & Kutas, M. (1990): Interactions between sentence context and word frequency in event-related brain potentials. *Mem Cognit* 18(4), 380-393.

van Petten, C.K. & Kutas, M. (1991): Influences of semantic and syntactic context on open-class and closed-class words. *Mem Cognit* 19(1), 95-112.

Weckerly, J. & Kutas, M. (1999): An electrophysiological analysis of animacy effects in the processing of object relative clauses. *Psychophysiology* 36(5), 559-570.

West, W.C. & Holcomb, P.J. (2002): Event-related potentials during discourse-level semantic integration of complex pictures. *Brain Res Cogn Brain Res* 13(3), 363-375.

Internet:

www.random.org (Rev. 29.08.2005)

ANHANG

1. Voruntersuchung

1.1 Auswertung Sprichwörter

Nr.	Spruchwort	Passung Reizwort	Bekanntheit	Passung eigenes Wort
1	Auge um Auge, Zahn um Stein.	5,48	100,00	1,00
2	Das ist auch nur ein Tropfen auf den heißen Zahn	5,52	100,00	1,38
3	Begebe dich nicht in die Höhle des Betrachters.	4,76	95,24	1,30
4	Die Schönheit liegt im Auge des Löwen.	5,17	57,13	1,00
5	Andere Mütter haben auch schöne Mittel.	4,76	38,10	2,00
6	Der Zweck heiligt die Töchter.	5,67	100,00	1,81
7	Da ist nichts Neues unter der Regel.	5,00	76,19	1,63
8	Die Ausnahme bestätigt die Sonne.	5,76	100,00	1,19
9	Der Appetit kommt mit dem Schiff.	5,00	85,71	1,61
10	Die Ratten verlassen das sinkende Essen.	5,48	95,24	1,10
11	Aus den Augen, aus dem Land.	4,29	95,24	1,45
12	Ein Prophet gilt nichts im eigenen Sinn.	5,19	95,24	1,15
13	Einem geschenkten Gaul schaut man nicht ins Korn.	5,62	100,00	1,33
14	Ein blindes Huhn findet auch mal ein Maul.	5,57	100,00	1,10
15	Der Apfel fällt nicht weit vom Sommer.	5,00	95,24	1,35
16	Eine Schwalbe macht noch keinen Stamm.	5,91	76,19	1,63
17	Ein gutes Gewissen ist ein sanftes Kopfweh.	5,81	76,14	1,25
18	Eine Krone ist kein Mittel gegen Ruhekissen.	5,25	4,76	3,00
19	Die dümmsten Bauern haben die dicksten Wunden.	4,24	76,19	1,69
20	Die Zeit heilt alle Kartoffeln.	5,76	100,00	1,38

Nr.	Spruchwort	Passung Reizwort	Bekanntheit	Passung eigenes Wort
21	Den letzten beißen die Diebe.	4,91	95,24	1,40
22	Gelegenheit macht Hunde.	5,71	85,71	1,28
23	Freunde erkennt man in der Welt.	4,14	71,43	1,60
24	Geld regiert die Not.	4,76	100,00	1,19
25	Geteiltes Leid ist halbes Deckelchen.	5,81	100,00	1,19
26	Jeder Topf findet sein Leid.	5,76	80,95	1,30
27	Angriff ist die beste Würze.	5,14	85,71	1,39
28	In der Kürze liegt die Verteidigung.	5,05	100,00	1,38
29	Jeder ist seines Glückes Koch.	3,31	95,24	1,9
30	Hunger ist der beste Schmied.	4,81	66,67	1,21
31	Kleinvieh macht auch Schmerz.	4,14	95,24	1,15
32	Quäle nie ein Tier zum Scherz, denn es fühlt wie du den Mist.	5,00	100,00	1,05
33	Hochmut kommt vor dem Magen.	5,86	100,00	1,29
34	Liebe geht durch den Fall.	5,81	100,00	2,00
35	Hilf dir selbst, so hilft dir Brei.	5,86	95,24	2,40
36	Viele Köche verderben den Gott.	5,81	100,00	1,19
37	Spare in der Zeit, so hast du in der Schale.	4,91	61,90	1,54
38	Zu diesem Anlass schmeißt sie sich in Not.	5,81	95,24	1,95
39	Ein gebranntes Kind scheut das Dach.	4,76	100,00	1,24
40	Lieber den Spatz in der Hand als die Taube auf dem Feuer.	3,19	95,24	1,65
41	Lügen haben kurze Könige.	5,95	100,00	2,00
42	Pünktlichkeit ist die Höflichkeit der Beine.	5,38	23,81	2,60
43	Morgenstund hat Gold im Stein.	5,72	100,00	1,91
44	Steter Tropfen höhlt den Mund.	5,52	95,24	1,25
45	Not kennt kein Leben.	4,95	19,05	1,00
46	Ordnung ist das halbe Gebot.	4,43	95,24	1,95
47	Müßiggang ist aller Laster Preis.	4,48	85,71	1,56
48	Ohne Fleiß kein Anfang.	3,57	100,00	1,19
49	Mal den Teufel nicht an die Qual.	5,86	100,00	1,52

Nr.	Spruchwort	Passung Reizwort	Bekanntheit	Passung eigenes Wort
50	Wer die Wahl hat, hat die Wand.	5,91	100,00	1,14
51	Kleider machen Ohren.	5,91	100,00	1,62
52	Die Wände haben Leute.	5,76	95,24	1,85
53	Morgen, morgen, nur nicht heute, sagen alle faulen Hunde.	3,48	100,00	1,33
54	Wecke keine schlafenden Leute.	2,95	85,71	1,44
55	Reden ist Silber, Schweigen ist Ziel.	4,67	100,00	1,19
56	Viele Wege führen zum Gold.	3,67	52,98	1,27
57	Taten sagen mehr als Sterne.	4,38	100,00	1,19
58	Laterne, Laterne, Sonne, Mond und Worte.	5,62	100,00	1,05
59	Übung macht den Morgen.	5,48	100,00	1,19
60	Was du heute kannst besorgen, das verschiebe nicht auf Meister.	5,91	100,00	1,05
61	Undank ist der Welt Schnee.	5,81	95,24	1,70
62	Leise rieselt der Lohn.	4,52	100,00	1,10
63	Wo kein Kläger, da kein Rauch.	5,19	52,38	1,36
64	Worte sind wie Schall und Richter.	5,38	100,00	1,48
65	Wer zu spät kommt, den bestraft das Grab.	4,71	100,00	1,48
66	Er ist so stumm wie ein Leben.	5,86	52,38	1,18
67	Wo ein Wille ist, ist auch ein Sohn.	5,71	100,00	1,33
68	Wie der Vater, so der Weg.	5,71	100,00	1,10
69	Was man nicht im Kopf hat, das hat man in den Herzen.	4,05	95,24	1,95
70	Nimm dir diesen Rat lieber zu Beinen.	5,76	95,24	1,15
71	Spieglein, Spieglein an der Wand, wer ist die Schönste im ganzen Kopf.	5,62	100,00	1,33
72	Manchmal hast du wirklich ein Brett vor dem Land.	5,91	100,00	1,52
73	Ihm sitzt die Angst im Fenster.	5,71	95,24	1,45
74	Lehn dich mal nicht zu weit aus dem Nacken.	5,57	100,00	1,10
75	Sie geht mir langsam auf den Staub.	5,38	90,48	1,79

Nr.	Spruchwort	Passung Reizwort	Bekanntheit	Passung eigenes Wort
76	Du machst dich besser aus dem Geist.	5,71	100,00	1,86
77	Ich glaube, er hat nicht alle Tassen im Himmel.	5,52	100,00	1,19
78	Das Pärchen fühlte sich wie im siebten Schrank.	5,48	100,00	1,48
79	Eines Tages bringt er sie noch unter die Weste.	5,71	66,67	1,64
80	Ich bin sicher, er hat keine weiße Erde.	4,81	71,43	1,73
81	Mein Gewissen ist weiß wie der Boden.	5,52	95,24	1,50
82	Das Gesetz ist ein Fass ohne Schnee .	5,57	100,00	2,14
83	Sein Tod kam wie ein Blitz aus heiterem Kragen.	5,86	100,00	1,10
84	Der neue Sheriff riskiert Kopf und Himmel.	5,33	100,00	1,52
85	Für dieses neue Projekt ist er Feuer und Nase.	5,86	100,00	1,52
86	Fass dir lieber an die eigene Flamme.	5,80	95,24	1,45
87	Die beiden Tanten sprechen über Gott und die Schweine.	4,57	100,00	1,29
88	Sie werfen die Perlen vor die Welt.	4,05	95,24	1,55
89	Das Gewissen drückt ihn wie ein See.	5,76	61,90	2,54
90	Alle meine Entchen schwimmen auf dem Stein.	5,91	100,00	1,05
91	Ich habe ein Geschick dafür, ins Fettnäpfchen zu beißen.	5,14	100,00	1,35
92	Er muss in den sauren Apfel treten.	5,29	95,24	1,55
93	Musst du immer deine Nase in fremde Angelegenheiten verdrehen?	5,62	100,00	1,14
94	Sie wird ihm noch den Kopf stecken.	5,76	71,43	1,60
95	Ihr könnt eure Zunge nicht im Zaum dazugeben.	5,91	95,24	1,15
96	Musst du immer deinen Senf halten?	5,10	100,00	1,57
97	Jetzt müssen wir am Hungertuch machen.	5,62	100,00	1,71
98	Ich muss mich mal auf die Socken nagen.	5,81	95,24	1,35

Nr.	Spruchwort	Passung Reizwort	Bekanntheit	Passung eigenes Wort
99	Dieser Tropfen bringt das Fass zum loben.	5,91	100,00	1,05
100	Man soll den Tag nicht vor dem Abend überlaufen.	5,91	100,00	1,33
101	Die Ersten werden die Letzten tragen.	3,81	100,00	1,57
102	Jeder hat sein Kreuz zu sein.	5,76	100,00	1,19
103	Der Mensch denkt und Gott glänzt.	4,24	100,00	1,52
104	Es ist nicht alles Gold, was lenkt.	5,67	100,00	1,10
105	Niemand kann zwei Herren werfen.	5,38	95,24	1,00
106	Wer im Glashaus sitzt, sollte nicht mit Steinen dienen.	5,43	100,00	1,24
107	Frauen, die pfeifen und Hühnern, die krähen, sollt man beizeiten den Hals erzählen.	5,91	100,00	2,10
108	Wenn man im Reise tut, dann kann man was umdrehen.	5,52	85,71	1,22
109	Nach dem Essen sollst du stehen oder tausend Schritte sterben.	5,91	61,91	1,46
110	Es ist besser, reich zu leben, als reich zu gehn.	4,33	95,24	1,70
111	Not lehrt sagen.	4,71	61,91	1,39
112	Wer A sagt, muss auch B beten.	5,33	100,00	1,00
113	Wer rastet, der findet.	4,33	90,48	1,53
114	Wer sucht, der rostet.	5,57	100,00	1,29
115	Wer den Schaden hat, braucht für den Spott nicht zu fühlen.	5,48	95,24	1,35
116	Wer nicht hören will muss sorgen.	4,71	95,24	1,45
117	Was man sich eingebrockt hat, das muss man auch ernten.	4,33	80,95	1,47
118	Wer Wind sät, wird Sturm auslöffeln.	5,24	100,00	1,38
119	Wess Brot ich ess, dess Lied ich heiß.	5,91	95,24	1,30
120	Ach wie gut, dass niemand weiß, dass ich Rumpelstilzchen sing.	4,86	100,00	1,29
121	An jedem Gerücht ist ein Körnchen Zeit.	5,62	100,00	1,43

Nr.	Spruchwort	Passung Reizwort	Bekanntheit	Passung eigenes Wort
122	Alles hat seine Wahrheit.	3,05	61,91	1,31
123	Essen und Trinken hält Leib und Seele weiß.	5,71	85,71	1,89
124	Schau doch, hier steht es Schwarz auf zusammen.	6,00	100,00	1,00
125	Durch Schaden wird man schwach.	3,57	90,48	1,47
126	Der Geist ist willig, aber das Fleisch ist klug.	5,05	100,00	1,24
127	Wie man in den Wald hineinruft, so schallt es nicht.	5,00	100,00	1,33
128	Wahre Liebe rostet heraus.	5,62	100,00	1,38
129	Geld stinkt zuerst.	5,29	85,71	1,50
130	Wer zuerst kommt, mahlt nicht.	5,00	100,00	1,24
131	Das schlägt dem Fass den Boden los.	3,95	80,95	1,26
132	Ohne Moos nichts aus.	5,71	100,00	1,62
133	Ein Unglück kommt selten schwer.	5,29	100,00	1,52
134	Aller Anfang ist allein.	4,86	95,24	1,30
135	Aller guten Dinge sind nichts.	5,67	95,24	2,45
136	Von nichts kommt drei.	5,43	100,00	1,19
137	Wes' das Herz voll ist, des' läuft der Mund nicht.	5,38	95,24	1,45
138	Alter schützt vor Torheit über.	5,86	95,24	1,25
139	Da beißt die Maus keinen Faden an.	4,62	85,71	1,72
140	Gegensätze ziehen sich ab.	5,52	100,00	1,43
141	Ehrlich währt am besten.	2,76	95,24	1,35
142	Wer zuletzt lacht, lacht am längsten.	2,33	90,48	1,68
143	Gleich und gleich gesellt sich nie.	4,19	95,24	1,40
144	Besser spät als gern.	5,48	100,00	1,29
145	Eine Krähe hackt der anderen kein Auge gut.	6,00	100,00	1,24
146	Was lange währt wird endlich aus.	5,48	80,95	1,24
147	Er hat die Weisheit mit Löffeln aufgehoben.	4,95	100,00	1,45
148	Aufgeschoben ist nicht gegessen.	4,24	100,00	1,24

Nr.	Spruchwort	Passung Reizwort	Bekanntheit	Passung eigenes Wort
149	In der Liebe und im Krieg ist alles gebaut.	5,48	76,19	1,88
150	Rom wurde auch nicht an einem Tag erlaubt.	5,48	95,24	1,15
151	Wo liegt hier der Hund gekocht.	5,62	90,48	1,58
152	Es wird überall mit Wasser begraben.	5,62	80,95	1,53
153	Trocken Brot macht Wangen heiß.	4,57	71,45	1,87
154	Was ich nicht weiß, macht mich nicht rot.	3,95	95,24	1,55
155	Not macht besser.	4,81	76,19	1,31
156	Geist ist gut, aber Verstand ist erfinderisch.	xxx	xxx	xxx
157	Nach dem Essen Zähneputzen nicht gemacht.	4,29	100,00	1,19
158	Er hat die Rechnung ohne den Wirt vergessen.	4,71	100,00	1,33
159	Stille Wasser sind blind.	5,71	100,00	1,38
160	Liebe macht tief.	4,86	76,19	1,81
161	Ein Unglück kommt selten weit.	5,14	100,00	1,71
162	Wenn man vom Teufel spricht, dann ist er nicht allein.	5,05	71,43	2,07
163	Wer andern eine Grube gräbt fällt selbst zu.	5,91	100,00	1,48
164	Was du nicht willst, das man dir tu, das füg auch keinem anderen hinein.	5,48	100,00	1,05
165	Hunde, die bellen, beißen oft.	4,10	100,00	1,33
166	Unverhofft kommt nicht.	4,43	85,71	1,61
167	Was Hänschen nicht lernt, lernt Hans nach.	4,05	85,71	1,56
168	Der Klügere gibt nimmermehr.	5,00	100,00	1,43

1.2 Auswertung grammatikalisch mehrdeutiger Sätze

Nr	Originalsatz	2 Formen semantisch		Differenz
		gefunden	gleich	
1	Sie ist wirklich fest Überzeugung.	100,00%	100,00%	0,76
2	Vor Schmerzen kann sie nicht Schlaf.	100,00%	100,00%	0,52
3	Ich gebe auf, du hast Sieg.	100,00%	95,24%	0,52
4	Sie erzählte die Geschichte traurigen.	100,00%	33,33%	0,57
5	Das Fest ist dem Abend spätere.	95,24%	85,71%	0,81
6	Sie bekommt eine Rose Geschenk.	100,00%	95,24%	0,33
7	Diese Katze hat wirklich viele haarig.	95,24%	100,00%	0,61
8	Die große Erwartung sie enttäusche.	90,48%	57,90%	0,81
9	Er kann nicht schnell schreiben, wenn der Lehrer Diktat.	100,00%	100,00%	0,81
10	Er konnte den Kummer ertragen schwere.	100,00%	66,67%	0,76
11	Ich erschrak als ich das Kind fallen sah tief.	95,24%	70,00%	0,91
12	Er hörte die Musik mit größter laut.	95,24%	95,00%	1,05
13	Er singt Lieder beim Schlaf.	95,24%	85,00%	0,52
14	Dein Bruder ist fürchterlich sauft.	95,24%	100,00%	0,48
15	Ich freue mich darauf, mich zu Erholung.	100,00%	100,00%	0,35
16	Zur Hochzeit wird groß Fest.	90,48%	100,00%	0,71
17	Das Gesicht war beleuchtend.	90,48%	63,16%	0,76
18	Dann hat der Zahn dem Zahnarzt störende.	76,19%	87,50%	1,00
19	Es lag im Wasser gefrierende.	95,24%	100,00%	0,95
20	Ich fühle mich wie ein neugeboren.	100,00%	100,00%	0,29
21	Sie geht mit einem reichen Mann Tanz.	100,00%	100,00%	0,14
22	Er wollte das Holz geschleifen.	90,48%	100,00%	0,81

Nr	Originalsatz	2 Formen semantisch		Differenz
		gefunden	gleich	
23	Er spielt mit leidenschaftlich.	100,00%	100,00%	0,14
24	Er freut sich auf das Frei.	95,24%	80,00%	0,86
25	Wer wagt gegen den Feind den kämpfen.	90,48%	100,00%	0,91
26	Es gibt nur zwei möglich.	100,00%	95,24%	0,95
27	Dieser Aspekt spiegelt die Unsicherheit neues.	100,00%	38,10%	0,81
28	Hilf, dass ihr der Weg zeige.	90,48%	94,74%	0,86
29	Mit dieser Firma gibt es keine Konkurrenten.	95,24%	80,00%	1,00
30	Er sah ihr in die Augen Traurigkeit.	100,00%	71,43%	0,62
31	Damit werde ich meine Patienten nicht gefährlich.	95,24%	85,71%	0,62
32	Dieser Mensch tut mir denken.	95,24%	50,00%	0,76
33	Diese Sache ist nicht geändert.	100,00%	100,00%	0,52
34	Bis er soweit war, hat er 10 Jahre gedauert.	95,24%	95,00%	0,62
35	Er hörte sie schreien und glaubte den Verstand Verlust.	85,71%	72,22%	1,24
36	In der Schule lernen die Kinder, wie Rechnen.	100,00%	100,00%	0,33
37	Sie hat eine musikalische begabt.	95,24%	100,00%	0,33
38	Weißt du wie dieses Bleichmittel Anwendung.	90,48%	100,00%	0,95
39	Ich brauche es, dass du mich Unterstützung.	100,00%	100,00%	0,24
40	Sie leidet sehr, weil sie Krankheit.	100,00%	100,00%	0,29
41	Sie hat etwas neues Gemälde.	95,24%	25,00%	0,43
42	Die Bakterien machen den Apfelsaft Gärung.	90,48%	100,00%	0,91
43	Dieses Parfüm hat einen süßen riecht.	100,00%	100,00%	0,14
44	Dort erfrischen werden alle Sinn.	85,71%	88,89%	1,57

Nr	Originalsatz	2 Formen semantisch		Differenz
		gefunden	gleich	
45	Ich platze gleich, weil ich so Glück.	100,00%	100,00%	0,24
46	Mein Bruder ist nicht gut Verlierer.	95,24%	100,00%	0,48
47	Er verfolgt gespannt, wie der Boxer Kampf.	100,00%	100,00%	0,24
48	Er hat mir das Auto zum schenkt.	100,00%	100,00%	0,43
49	Montags geht sie nicht gern zur arbeiten.	100,00%	100,00%	0,1
50	Mein Vater kann ein guter kochen.	100,00%	100,00%	0,14
51	Er macht den Schweinen gefuttert.	100,00%	95,24%	0,33
52	Ich habe endlich glücklich.	100,00%	100,00%	0,33
53	Das Obst schmeckt wie hölzern.	100,00%	100,00%	0,33
54	Er möchte seinen Kaffee mit süß.	100,00%	100,00%	0,24
55	Der Arzt macht den Patienten Untersuchung.	100,00%	100,00%	0,71
56	Sie nimmt Unterricht um zu lernen singt.	100,00%	100,00%	0,52
57	Die Mutter bringt die Suppe zur kochende.	90,48%	47,37%	0,95
58	Er verhindert dass das Schiff wegschwimmt mit verankert.	100,00%	100,00%	0,43
59	Das Glühwürmchen ist leuchtet.	90,48%	100,00%	0,76
60	In den Bergen hat es sehr Schnee.	95,24%	100,00%	0,43
61	Am Strand herrscht viel heiß.	95,24%	85,00%	0,43
62	Der Schreiner nimmt den Nagel und hämmern.	95,24%	100,00%	0,71
63	Dieser silberne Ring kostet wert.	100,00%	100,00%	0,24
64	Dieses Kabel ist gut leitet.	100,00%	100,00%	0,38
65	Wegen der großen Hitze war es im Stroh Brand.	100,00%	100,00%	0,67
66	Ihre Haut ist wie teigig.	100,00%	95,24%	0,19

Nr	Originalsatz	2 Formen semantisch		Differenz
		gefunden	gleich	
67	Er hat keine Zeit um ein Spiel.	100,00%	100,00%	0,19
68	Die Geige ist ein schönes klingt.	100,00%	61,91%	0,33
69	Die flauschige Decke ist Wärme.	100,00%	95,24%	0,33
70	Die neuen Nachbarn sind genervig.	100,00%	28,57%	0,24
71	Ihre Beschreibung ist zutrifft.	95,24%	100,00%	0,38
72	Der Betrunkene wehrte sich lallend und mit einer Flaschen schlägt.	95,24%	100,00%	0,95
73	Dieser Kunde ist gut zahle.	95,24%	100,00%	0,95
74	Dieser Gedanke ist auch möglichkeit.	95,24%	95,00%	0,57
75	Ich ersticke wegen des stinken.	90,48%	100,00%	0,76
76	Vor der Operation braucht sie ein beruhigt.	100,00%	100,00%	0,48
77	Das Waschmittel riecht blume.	100,00%	100,00%	0,24
78	Komm nicht meinem nahe.	100,00%	100,00%	0,48

2. Hauptuntersuchung

2.1 semantisch mehrdeutig

2.1a) Satzliste – semantisch mehrdeutig: falsche Sätze

1. Der Mann stieg in das Auto und fuhr zum Apfel.
2. Abends sitzt er am Kamin mit einem Grab.
3. Ich stehe am Herd und koche ein Gelächter.
4. Er sitzt am Fenster und schaut auf den Darm.
5. Ich trinke Kaffee mit Milch und Schuhen.
6. Das Kind spielt mit dem Meter.
7. Sie steht unter der Dusche und gräbt.
8. Er zieht seine Jacke an und nimmt den Vorgarten.
9. Ich sehe einen Mann mit Hut und Buchstaben.
10. Er liest ein gutes Buch und steckt.
11. Sie sitzen zusammen bei Kaffee und Auto.
12. Das Wasser ist kalt und geschnürt.
13. Der Pianist spielt das Stück mit Schild.
14. Die Tür geht auf und herein kommt der Film.
15. Die Polizei kontrolliert die Schönheit.
16. Unter dem Mikroskop sieht er die Leitung.
17. Sie schlägt zwei Eier in die Spange.
18. Auf dieser Bank wird man aufgepumpt.
19. Er stieg vom Fahrrad und holte die Aussicht.
20. Im Herbst sammeln sich die Vögel auf dem Zucker.
21. Die Blumen duften nach Reklame.
22. Der Arzt schaut dem Patienten in den Kiesel.
23. Die Verkäuferin dekoriert die Prüfung.
24. Das Kind geht nicht gern in das Buch.
25. Sie schminkt ihre Wangen und Noten.
26. Er schrieb gestern Nacht an einem langen Ring.
27. Zitternd reibt sie sich die Stühle.
28. Er liegt auf einer Luftmatratze im Notfall.
29. Vor dem Einschlafen sieht er eine Schwere.
30. Er betätigte den Schalter für die Katze.
31. Das Kind sitzt auf dem Boden und spielt mit Arbeit.
32. Auf dem Baum sitzt eine Rechnung.
33. Der Richter verurteilt die Krankheit.
34. Er schiebt den Einkaufswagen durch die engen Rippen.
35. Ich muss noch die Einkäufe erziehen.
36. Am Mittwoch las er in der Zeitung einen Onkel.
37. Mit dem Vermieter gibt es immer wieder Bücher.
38. Nach dem Rennen belohnt sie das Pferd mit Fernlicht.
39. Bei diesem Lärm kann der Arzt seinen Patienten nicht verankern.
40. Das Kind spielt schon seit Stunden in dem Mond.

41. Auf der Toilette fehlt schon wieder das Quecksilber.
42. In deinen Augen sehe ich Kurse.
43. Der Postbote klingelte und gab der Frau einen Platz.
44. Der Bus fährt diese Woche gelb.
45. Er drehte sich um und hörte er den Saft.
46. Der Dieb kletterte über die Ohren.
47. Sie wartete an der Haltestelle auf die Gleichheit.
48. Nach den Nachrichten kommt ein Tunnel.
49. Er wachte auf, als der Nachbar schien.
50. Verwundert kratzte er sich am Rahmen.
51. Diese Woche färbt sie sich den Anschluss.
52. Polizist ist ein verantwortungsvoller Zahn.
53. Die Studenten sitzen in ihren Glocken.
54. Er kopiert die wichtigsten Seiten aus dem Baum.
55. Nach zwei Wochen hat das Medikament gelacht.
56. Heute Abend solltest du die Blumen aufschrauben.
57. Gestern Abend haben wir noch einen Film gezupft.
58. Dieses Jahr haben wir Tomaten aus dem eigenen Bart.
59. Im November beginnt die Zeit um Plätzchen zu verknipsen.
60. Du solltest mal wieder den Rasen tragen.
61. Die Preise steigen immer weiter in die Koralle.
62. Er hat die Karte an die falsche Adresse gesammelt.
63. Er kann den Termin nächste Woche verkleben.
64. Er verschläft, weil er den Wecker nicht pflückt.

2.1b) Satzliste – semantisch mehrdeutig: richtige Sätze

1. Nachmittags esse ich gern einmal einen Apfel.
2. Trauernd standen die Angehörigen um das Grab.
3. Aus dem Hinterzimmer hört man gedämpftes Gelächter.
4. Ich habe Probleme mit meinem Darm.
5. Er hält Ausschau nach neuen Schuhen.
6. Beim Weitsprung schafft er über 5 Meter.
7. Er beobachtet, wie der Nachbar im Garten gräbt.
8. Sie ist stolz auf ihre Rosen im Vorgarten.
9. Der Grundschüler kennt alle Buchstaben.
10. Weißt du, wo meine Schwester steckt?
11. Wir verreisen dieses Jahr mit dem Auto.
12. Sie hatte ihr Korsett viel zu eng geschnürt.
13. Der Anwalt hat am Eingang ein eigenes Schild.
14. Schauen wir heute Abend gemeinsam einen Film?
15. Dieses Mädchen ist von blendender Schönheit.
16. Für das Telefon fehlt eine Leitung.
17. Sie braucht für ihre Zähne eine neue Spange.
18. Er hat seinen Reifen an der Tankstelle aufgepumpt.

19. Ich genieße die schöne Aussicht.
20. Sie trinkt ihren Tee immer ohne Zucker.
21. Er hält nichts von der grelle Reklame.
22. Im Fluss findet er schöne, runde Kiesel.
23. Du hast eine höllische Angst vor der Prüfung.
24. Wir lesen diese Woche alle dasselbe Buch.
25. Er spielt Klavier ohne Noten.
26. In seiner Hand verbarg er einen Ring.
27. Wir brauchen noch einige Stühle.
28. Dies ist ein wirklich dringender Notfall.
29. Fühlst du die Schwere?
30. Ich mag diese kleine Katze.
31. Er geht früh am Morgen zur Arbeit.
32. Er bezahlt grummelnd die Rechnung.
33. Es gibt kein Mittel gegen diese Krankheit.
34. Ich habe ein Stechen zwischen den Rippen.
35. Wir haben es versäumt, den Hund zu erziehen.
36. Er hat einen wirklich netten Onkel.
37. Ich brauche das Geld für neue Bücher.
38. Er wird geblendet durch das Fernlicht.
39. Er muss das Schiff vor der Insel verankern.
40. Er glaubt noch an den Mann im Mond.
41. Dieses Thermometer enthält Quecksilber.
42. An der Universität gibt es hierfür Kurse.
43. Er macht der schwangeren Frau Platz.
44. Ihr Gesicht und ihre Augen sind ganz gelb.
45. Aus diesen Orangen macht sie Saft.
46. Du bist fast taub auf beiden Ohren.
47. Sie tritt ein für die neue Gleichheit.
48. Sie bauen im Süden einen neuen Tunnel.
49. Er freute sich, weil die Sonne schien.
50. Für dieses Gemälde brauchst du keinen Rahmen.
51. Sie verpasst mal wieder den Anschluss.
52. Das Kleinkind bekommt seinen ersten Zahn.
53. Zur Hochzeit läuten alle Glocken.
54. Er probiert die Säge an einem alten Baum.
55. Vor Jahren hat er das letzte Mal gelacht.
56. Sie will ihren Wecker nicht aufschrauben.
57. Nachdenklich hat er sich am Bart gezupft.
58. Er sieht den Mann mit dem dunklen Bart.
59. Er wird noch seinen ganzen Film verknipsen.
60. Du solltest lieber festes Schuhwerk tragen.
61. An ihrer Kette hängt eine Koralle.
62. Vor Jahren hat er noch Briefmarken gesammelt.
63. Du solltest den Brief fest verkleben.
64. Es ist verboten, dass man hier Blumen pflückt.

2.2 Sprichwortpaare

2.2a) Sprichwortpaare – gegenseitig ausgetauscht

1. Auge um Auge, Zahn um Stein.
Das ist auch nur ein Tropfen auf den heißen Zahn
2. Der Appetit kommt mit dem Schiff.
Die Ratten verlassen das sinkende Essen.
3. Aus den Augen, aus dem Land.
Ein Prophet gilt nichts im eigenen Sinn.
4. Einem geschenkten Gaul schaut man nicht ins Korn.
Ein blindes Huhn findet auch mal ein Maul.
5. Den letzten beißen die Diebe.
Gelegenheit macht Hunde.
6. Geteiltes Leid ist halbes Deckelchen.
Jeder Topf findet sein Leid.
7. Angriff ist die beste Würze.
In der Kürze liegt die Verteidigung.
8. Hochmut kommt vor dem Magen.
Liebe geht durch den Fall.
9. Morgenstund hat Gold im Stein.
Steter Tropfen höhlt den Mund.
10. Mal den Teufel nicht an die Qual.
Wer die Wahl hat, hat die Wand.
11. Kleider machen Ohren.
Die Wände haben Leute.
12. Taten sagen mehr als Sterne.
Laterne, Laterne, Sonne, Mond und Worte.
13. Übung macht den Morgen.
Was du heute kannst besorgen, das verschiebe nicht auf Meister.
14. Undank ist der Welt Schnee.
Leise rieselt der Lohn.

15. Wo ein Wille ist, ist auch ein Sohn.
Wie der Vater, so der Weg.
16. Was man nicht im Kopf hat, das hat man in den Herzen.
Nimm dir diesen Rat lieber zu Beinen.
17. Spieglein, Spieglein an der Wand, wer ist die Schönste im ganzen Kopf.
Manchmal hast du wirklich ein Brett vor dem Land.
18. Ihm sitzt die Angst im Fenster.
Lehn dich mal nicht zu weit aus dem Nacken.
19. Sie geht mir langsam auf den Staub.
Du machst dich besser aus dem Geist.
20. Ich glaube, er hat nicht alle Tassen im Himmel.
Das Pärchen fühlte sich wie im siebten Schrank.
21. Sein Tod kam wie ein Blitz aus heiterem Kragen.
Der neue Sheriff riskiert Kopf und Himmel.
22. Für dieses neue Projekt ist er Feuer und Nase.
Fass dir lieber an die eigene Flamme.
23. Die beiden Tanten sprechen über Gott und die Schweine.
Sie werfen die Perlen vor die Welt.
24. Ich habe ein Geschick dafür, ins Fettnäpfchen zu beißen.
Er muss in den sauren Apfel treten.
25. Ihr könnt eure Zunge nicht im Zaum dazugeben.
Musst du immer deinen Senf halten?
26. Jetzt müssen wir am Hungertuch machen.
Ich muss mich mal auf die Socken nagen.
27. Dieser Tropfen bringt das Fass zum Loben.
Man soll den Tag nicht vor dem Abend überlaufen.
28. Der Mensch denkt und Gott glänzt.
Es ist nicht alles Gold, was lenkt.
29. Niemand kann zwei Herren werfen.
Wer im Glashaus sitzt, sollte nicht mit Steinen dienen.

30. Wer rastet, der findet.
Wer sucht, der rostet.
31. Wess Brot ich ess, dess Lied ich heiß.
Ach wie gut, dass niemand weiß, dass ich Rumpelstilzchen sing.
32. Essen und Trinken hält Leib und Seele weiß.
Schau doch, hier steht es Schwarz auf zusammen.
33. Ein Unglück kommt selten schwer.
Aller Anfang ist allein.
34. Wes' das Herz voll ist, des' läuft der Mund nicht.
Alter schützt vor Torheit über.
35. Eine Krähe hackt der anderen kein Auge gut.
Was lange währt wird endlich aus.
36. Er hat die Weisheit mit Löffeln aufgehoben.
Aufgeschoben ist nicht gegessen.
37. Wo liegt hier der Hund gekocht.
Es wird überall mit Wasser begraben.
38. Wer andern eine Grube gräbt fällt selbst zu.
Was du nicht willst, das man dir tu, das füg auch keinem anderen hinein

2.2b) Sprichwortpaare – einseitig ausgetauscht

1. Quäle nie ein Tier zum Scherz, denn es fühlt wie du den Mist.
Kleinvieh macht auch Mist.
2. Viele Köche verderben den Gott.
Hilf dir selbst, so hilft dir Gott.
3. Ein gebranntes Kind scheut das Dach.
Lieber den Spatz in der Hand als die Taube auf dem Dach.
4. Müßiggang ist aller Laster Preis.
Ohne Fleiß kein Preis.
5. Mein Gewissen ist weiß wie der Boden.
Das Gesetz ist ein Fass ohne Boden.
6. Alle meine Entchen schwimmen auf dem Stein.
Das Gewissen drückt ihn wie ein Stein.

7. Jeder hat sein Kreuz zu sein.
Die Ersten werden die Letzten sein.
8. Wahre Liebe rostet heraus.
Wie man in den Wald hineinruft, so schallt es heraus.
9. Wer den Schaden hat, braucht für den Spott nicht zu fühlen.
Wer nicht hören will muss fühlen.
10. Wer Wind sät, wird Sturm auslöffen.
Was man sich eingebrockt hat, das muss man auch auslöffen.
11. Durch Schaden wird man klug.
Der Geist ist willig, aber das Fleisch ist klug.
12. Ohne Moos nichts aus.
Das schlägt dem Fass den Boden aus.
13. Von nichts kommt drei.
Aller guten Dinge sind drei.
14. Gegensätze ziehen sich ab.
Da beißt die Maus keinen Faden ab.
15. Besser spät als gern.
Gleich und gleich gesellt sich gern.
16. Was Hänschen nicht lernt, lernt Hans nimmermehr.
Der Klügere gibt nimmermehr.

2.3 syntaktisch eindeutig

2.3a) Satzliste – syntaktisch eindeutig: falsche Sätze

1. In seinem Federmäppchen stecken neue Stift.
2. Die Schildkröte schleicht zur Meer.
3. Sie heizen seit diesem Winter mit Hölzer.
4. Ich brauche diese Zeit für mein Arbeit.
5. Er schleppt einen schweren Stapel Buch.
6. Was sind hier die richtigen Antwort.
7. Manchmal habe ich eine schlechte Gedächtnis.
8. Die Sonne scheint auf die rauschende Fluss.
9. Ich brauche für deinen Geburtstag noch eine Geschenk.

10. Der indische Priester tötet das Kuh.
11. Das Kind hat im Keller Angst vor Geist.
12. Möchtest du eines der leckeren Butterbrot.
13. Hinter dem Zoo liegt sein neues Wohnung.
14. Er kauft auch noch einige Flaschen Säfte.
15. Zufrieden schaut er auf sein neues Uhr.
16. Der Händler verkauft viele verschiedene Obstsorte.
17. Nach dem Essen putzt sie sich die Zahn.
18. Sie liest eines dieser Buch über Medikament.
19. Die sucht verzweifelt nach einem Briefkästen.
20. Vor Müdigkeit übersieht er den grünen Ampel.
21. Er schlägt die Nägel wütend in die Brett.
22. Das Huhn legt heute den ganzen Tag keine Ei.
23. Der Postbote brachte ihr das neue Prospekte.
24. Hinter diesem Baum befindet sich der Grenze.
25. Für ihre Reise braucht Sie noch einige Impfung.
26. In letzter Sekunde stieg der Mann in das Bus.
27. Auf einmal hatte er diese Gedanke.
28. Er reicht mir den neuen Schüssel.
29. Der Hund knabbert an ihrem Schuhen.
30. Im Kühlregal sind nur noch zwei Tomate.
31. Er steckt den Schlüssel in die Schrank.
32. Der Kirchenchor singt ein neues Kantate.
33. Wir treffen uns nachher bei Auto.
34. Sie löst eine Bahnkarte an Schalter.
35. Vergiss nicht deine alten Mantel.
36. Wir treffen uns zum Wandern am Kirche.
37. Ich habe viele Onkel und jede Menge Tante.
38. Er geht gerne mit seiner Frau in die Ballett.
39. Abends schaut er gerne Filme mit Cowboy.
40. Hinter dem Stuhlbein versteckt sich eine kleine Mäuse.
41. Vor lauter Arbeit hat er keine Zeit mehr für Hobby.
42. Der Juwelier hat neuen Schmuck in der Fenster.
43. Sie näht geduldig den Knopf ans Bluse.
44. An der Wand hängt ein winterliches Fotos.
45. Diese nette Familie hat ein großes Garten.
46. Er findet eine volle Flasche im Glastonne.
47. Nachts schläft er oft unter einer Zeitungen.
48. Als er die Tür öffnete, hörte er ein Schrei.
49. In der Ecke liegt eine schmutzige Hund.
50. Die Bücher stapeln sich auf Boden.
51. Der Blumenstock trägt dieses Jahr kaum Blüte.
52. Die Hecke schützt kaum vor neugierigen Blick.
53. Er stiehlt einen Keks aus der Dosen.
54. Sie setzt sich bibbernd in die Nähe des Feuer.
55. Die Wäsche trocknet schnell in der Sonnen.

56. Sie schliefen zu fünft in einem Betten.
57. Er beerdigt den toten Vogel im Gärten.
58. Dieses Auto hat einen sehr starken Motoren.
59. Gespannt öffnet sie den Briefe.
60. Er ist ein Meister auf der Gitarren.
61. Sie achtet sehr auf ihr Gelder.
62. Sie braucht unbedingt eine neue Schürzen.
63. In seiner Vidoesammlung ist kein Pornos.
65. Der Pinsel verliert seine Haar.

2.3b) Satzliste – syntaktisch eindeutig: richtige Sätze

1. Der Lehrer liebt wohl seinen roten Stift.
2. Ich habe Sehnsucht nach dem Meer.
3. Wenn sie bastelt benutzt sie gerne Hölzer.
4. Morgen machen wir uns an die Arbeit.
5. Er schreibt an seinem neuen Buch.
6. Ich bin sicher, du kennst die Antwort.
7. Er kramt in seinem Gedächtnis.
8. Sie bauen ein neues Wehr am Fluss.
9. Ich habe leider nur ein kleines Geschenk.
10. Auf der Wiese vor dem Haus steht eine Kuh.
11. Dieses Gedicht erfrischt seinen Geist.
12. Die Mutter schmirt ihm morgens ein Butterbrot.
13. Er wohnt in einer feuchten Wohnung.
14. Zum Abnehmen empfiehlt man verschiedene Säfte.
15. Über der Tafel hinter dem Lehrer hängt keine Uhr.
16. Er bekommt Ausschlag von dieser Obstsorte.
17. Er hat Schmerzen in einem hinteren Zahn.
18. Abends nimmt er dieses grüne Medikament.
19. Der Briefträger leert den Briefkästen.
20. Er beobachtet die Fußgänger an der Ampel.
21. Über die Küchentür kommt noch ein Brett.
22. Für den Rührkuchen fehlt ihr ein einziges Ei.
23. Das Versandhaus investiert viel Geld in neue Prospekte.
24. Der Zollbeamte bewacht die Grenze.
25. Er erkundigt sich nach der neuen Impfung.
26. Er hatte einen schlimmen Unfall mit einem Bus.
27. Nachts quält ihn dieser schreckliche Gedanke.
28. Er schüttet die Bohnen in die Schüssel.
29. Sie hält nichts von seinen neuen Schuhen.
30. Er findet im Garten die erste Tomate.
31. Sie versteckt sich vor der Mutter im Schrank..
32. Das ist Bachs schönste Kantate.

33. Er achtet sehr auf sein neues Auto.
34. Betätige bloß nicht diesen Schalter.
35. In diese Kälte gehe ich nicht ohne Mantel.
36. Wir waren jahrelang nicht mehr in der Kirche.
37. Er hasst die Küsschen von seiner Tante.
38. Sie möchte eines Tages ins Ballett.
39. Du bist ein kleiner mutiger Cowboy.
40. Nachts im Traum sieht sie Mäuse.
41. Sie braucht viel Geld für ihr neues Hobby.
42. Im Frühjahr putzen wir alle Fenster.
43. Zu diesem festlich Anlass trägt sie eine Bluse.
44. Er knipst wirklich professionelle Fotos.
45. Sie verbringt viel Zeit im Garten.
46. Sie machen nachts viel Lärm an der Glastonne.
47. Er sucht Bilder aus alten Zeitungen.
48. Der Film endet mit einem lauten Schrei.
49. Er fährt im Auto und hinterher läuft der Hund.
50. Wie verlegen dort einen neuen Boden.
51. Sie steht in ihrer vollen Blüte.
52. Er hat alle Teilnehmer im Blick.
53. Mit einem Ball trifft er alle Dosen.
54. Auf dem Rastplatz machen sie ein großes Feuer.
55. In dieser Galaxie gibt es drei Sonnen.
56. Für zwanzig Leute gab es nur fünfzehn Betten.
57. Dieser Radweg führt zu den Gärten.
58. Diese Firma ist ein Zulieferer für Motoren.
59. Dieses Flugzeug befördert auch Briefe.
60. Er hat die Wahl zwischen drei Gitarren.
61. Wohin fließen diese Gelder?
62. In der Damenabteilung gibt es keine Schürzen.
63. Seit Jahren dreht sie nur noch Pornos.
64. Ihr fliegt eine Hummel ins Haar.

2.4 syntaktisch mehrdeutig

2.4a) Satzliste – syntaktisch mehrdeutig: falsche Sätze

1. Sie ist wirklich fest Überzeugung.
2. Vor Schmerzen kann sie nicht Schlaf.
3. Ich gebe auf, du hast Sieg.
4. Sie erzählte die Geschichte traurige.
5. Das Fest ist dem Abend spätere.
6. Sie bekommt eine Rose Geschenk.
7. Diese Katze hat wirklich viele haarig.

8. Er kann nicht schnell schreiben, wenn der Lehrer Diktat.
9. Er konnte den Kummer ertragen schwere.
10. Er singt Lieder beim Schlaf.
11. Dein Bruder ist fürchterlich sauft.
12. Ich freue mich darauf, mich zu Erholung.
13. Zur Hochzeit wird groß Fest.
14. Es lag im Wasser gefrierende.
15. Ich fühle mich wie ein neugeboren.
16. Sie geht mit einem reichen Mann Tanz.
17. Er wollte das Holz geschleifen.
18. Er spielt mit leidenschaftlich.
19. Er freut sich auf das Frei.
20. Wer wagt gegen den Feind den kämpfen.
21. Es gibt nur zwei möglich.
22. Hilf, dass ihr der Weg zeige.
23. Er sah ihr in die Augen Traurigkeit.
24. Damit werde ich meine Patienten nicht gefährlich.
25. Diese Sache ist nicht geändert.
26. Bis er soweit war, hat er 10 Jahre gedauert.
27. In der Schule lernen die Kinder, wie Rechnen.
28. Sie hat eine musikalische begabt.
29. Weißt du wie dieses Bleichmittel Anwendung.
30. Ich brauche es, dass du mich Unterstützung.
31. Sie leidet sehr, weil sie Krankheit.
32. Die Bakterien machen den Apfelsaft Gärung.
33. Dieses Parfüm hat einen süßen riecht.
34. Ich platze gleich, weil ich so Glück.
35. Mein Bruder ist nicht gut Verlierer.
36. Er verfolgt gespannt, wie der Boxer Kampf.
37. Er hat mir das Auto zum schenkt.
38. Montags geht sie nicht gern zur arbeiten.
39. Mein Vater kann ein guter kochen.
40. Er macht den Schweinen gefuttert.
41. Ich habe endlich glücklich.
42. Das Obst schmeckt wie hölzern.
43. Er möchte seinen Kaffee mit süß.
44. Der Arzt macht den Patienten Untersuchung.
45. Sie nimmt Unterricht um zu lernen singt.
46. Er verhindert dass das Schiff wegschwimmt mit verankert.
47. Das Glühwürmchen ist leuchtet.
48. In den Bergen hat es sehr Schnee.
49. Der Schreiner nimmt den Nagel und hämmern.
50. Dieser silberne Ring kostet wert.
51. Dieses Kabel ist gut leitet.
52. Wegen der großen Hitze war es im Stroh Brand.
53. Ihre Haut ist wie teigig.

54. Er hat keine Zeit um ein Spiel.
55. Die flauschige Decke ist Wärme.
56. Ihre Beschreibung ist zutrifft.
57. Dieser Kunde ist gut zahle.
58. Dieser Gedanke ist auch möglichkeit.
59. Ich erstickte wegen des stinken.
60. Vor der Operation braucht sie ein beruhigt.
61. Das Waschmittel riecht blume.
62. Komm nicht meinem nahe.

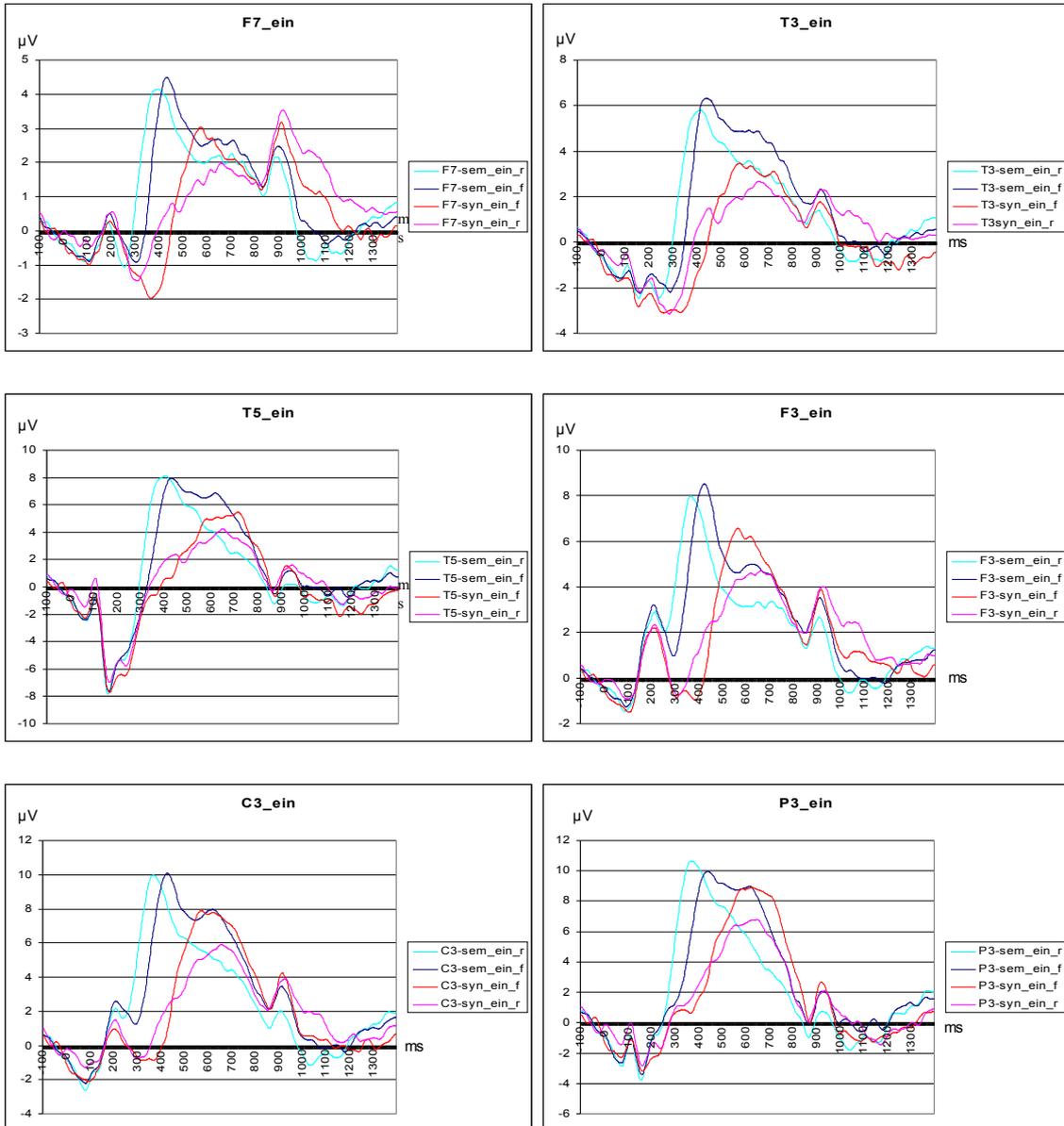
2.4b) Satzliste – syntaktisch mehrdeutig: richtige Sätze

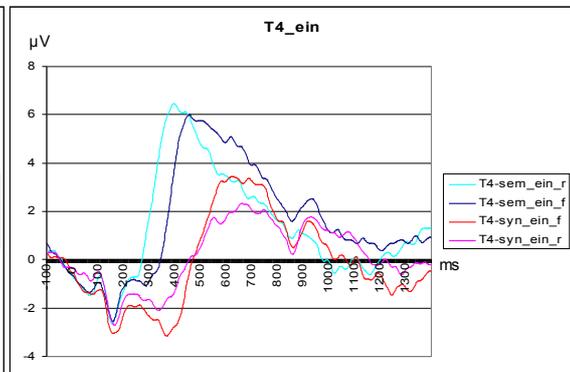
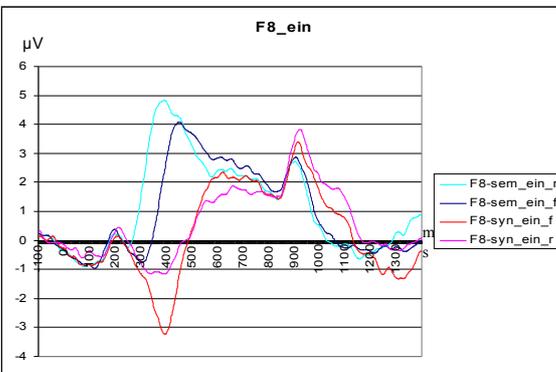
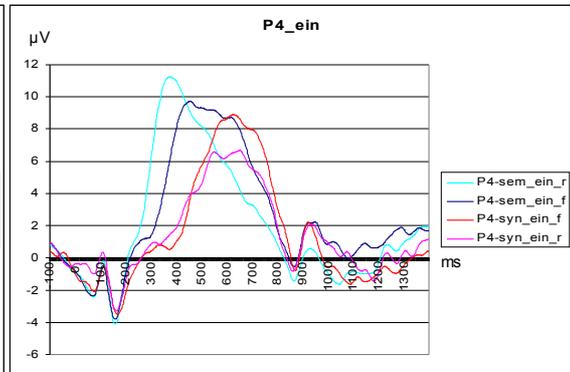
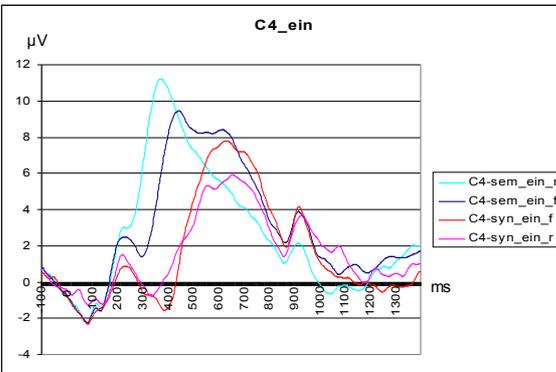
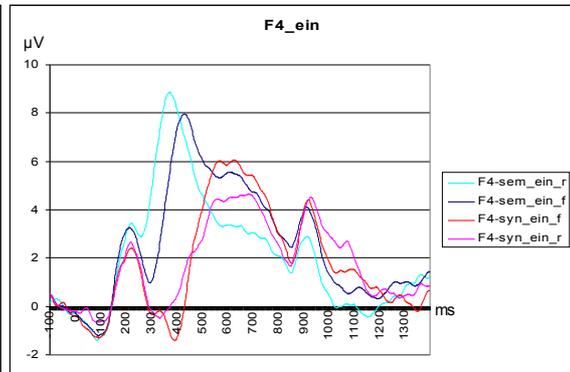
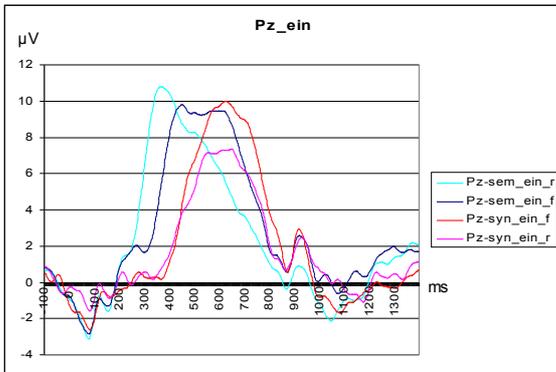
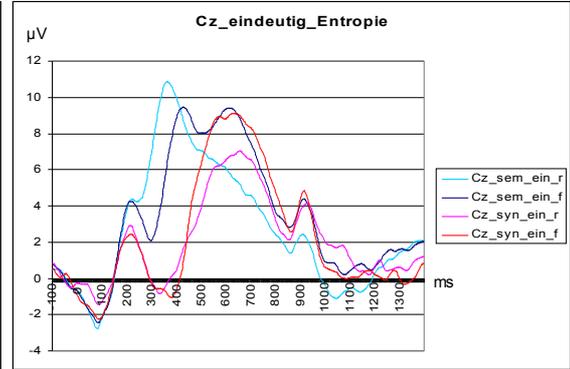
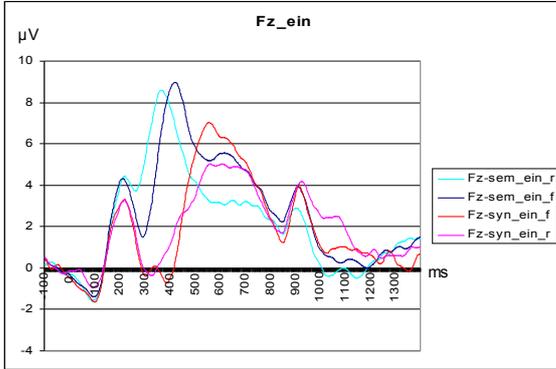
1. Er ist schwankend in seiner Überzeugung.
2. Er hat einen sehr unruhigen Schlaf.
3. Das Ziel der Mannschaft ist der Sieg.
4. Nun war sie die Traurige.
5. Er nimmt die Bahn um sieben, nicht die spätere.
6. Zum Hochzeitstag vergaß er das Geschenk.
7. Diese Angorakatze ist mir zu haarig.
8. In der Schule war ich ein Versager beim Diktat.
9. Ich bekomme eine leichte Aufgabe, du eine schwere.
10. Nachts brauche ich meine acht Stunden Schlaf.
11. Schau mal, wie das kleine Pferd säuft.
12. Dieser Ferienort eignet sich zur Erholung.
13. Sie macht nicht zu jedem Geburtstag ein Fest.
14. Es ist so kalt, dass einem der Atem gefriert.
15. Sie fühlt sich nach dem Bad wie neugeboren.
16. Er fordert sie auf zu einem letzten Tanz.
17. Der Schreiner hat eine Maschine, um Holz zu schleifen.
18. Die Diskussion war sehr leidenschaftlich.
19. Morgen habe ich endlich frei.
20. Wir haben keine Lust zu kämpfen.
21. Dadurch wurde das Projekt erst möglich.
22. Ich wünsche, dass er sich einem Arzt zeige.
23. Diese Nachricht erfüllt uns mit Traurigkeit.
24. Diese Bergtour ist mit viel zu gefährlich.
25. Er hat das Schreiben zum zehnten Mal geändert.
26. Bis die Ergebnisse vorlagen, hat es Jahre gedauert.
27. Er ist ein kleines Genie im Rechnen.
28. Wir sind handwerklich leider überhaupt nicht begabt.
29. Das Waschmittel bewährt sich in der Anwendung.
30. Er rechnet mit meiner finanziellen Unterstützung.
31. In meiner Familie leiden viele an dieser Krankheit.
32. Der Traubensaft befindet sich in Gärung.

33. Merkst du auch, dass es hier nach Gas riecht?
34. Im Lotto haben nur wenige wirklich Glück.
35. Schon wieder ist sie der Verlierer.
36. Er stürzt sich wutentbrannt in den Kampf.
37. Ihr wisst schon, was ihr eurer Großmutter schenkt.
38. Er will noch an seinem Modellschiff arbeiten.
39. Heute musst du mal wieder kochen.
40. Er hat die ganze Tüte Chips alleine gefuttert.
41. Seit Jahren sind sie zusammen glücklich.
42. An dieser Stelle klingt die Wand hölzern.
43. Er findet die kleine Italienerin richtig süß.
44. Morgen geht sie das erste Mal zu dieser Untersuchung.
45. Er glaubt tatsächlich, dass er schön singt.
46. Dieses Vorurteil ist fest in den Köpfen verankert.
47. Wenn die Sonne untergeht, sieht man, wie das Gebirge leuchtet.
48. In Deutschland sah er zum ersten Mal in seinem Leben Schnee.
49. Er möchte die Formel in die Köpfe seiner Schüler hämmern.
50. Dieser Vorfall ist nicht der Rede wert.
51. Wir wissen, dass sie Gruppen gut leitet.
52. Das Kind steckte mit der Kerze das Haus in Brand.
53. Der Maisbrei ist schon ganz teigig.
54. Das war doch alles nur ein Spiel.
55. Ich muss schnell zurück in die Wärme.
56. Er ist sich nicht sicher, ob ihre Aussage zutrifft.
57. Ich glaube, es ist an der Zeit dass ich zahle.
58. Er findet immer noch eine Möglichkeit.
59. Ich kann es nicht leiden, wenn Frauen stinken.
60. Nach der Aussprache mit seiner Frau war er beruhigt.
61. Zum Geburtstag bekommt sie eine Blume.
62. Weihnachten ist schon wieder sehr nahe.

2.5 EEG-Kurven

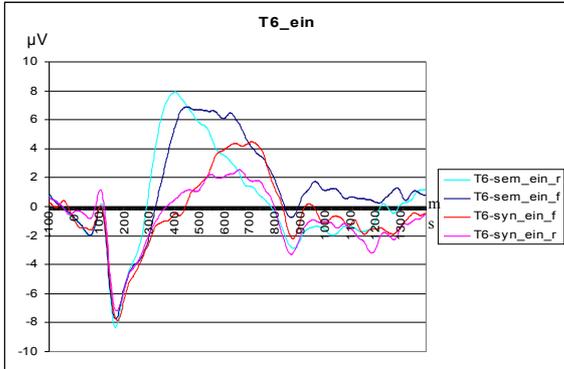
2.5a) eindeutig



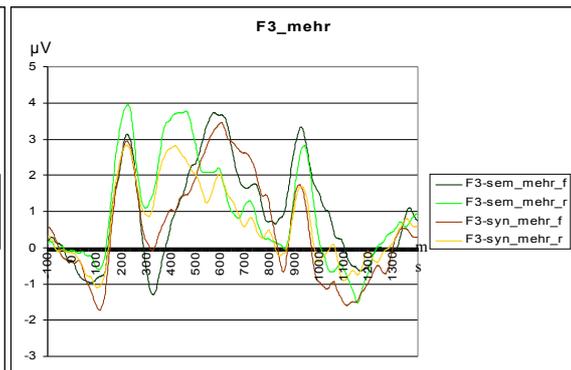
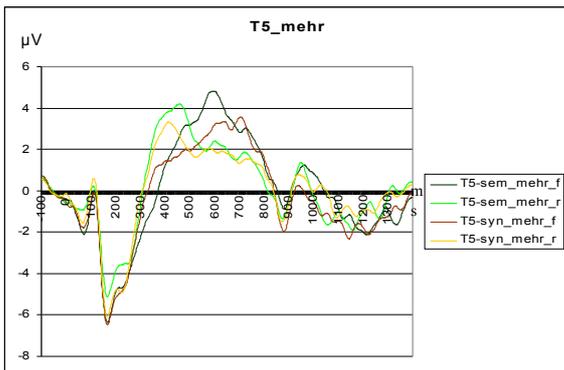
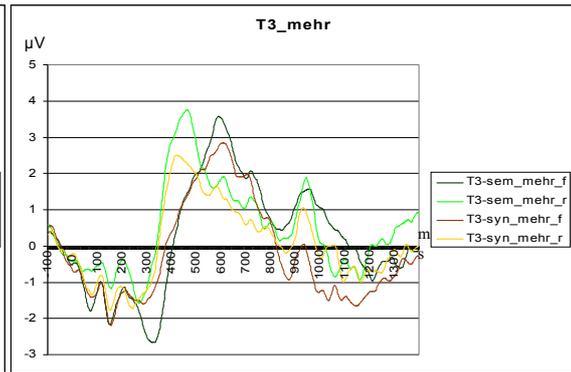
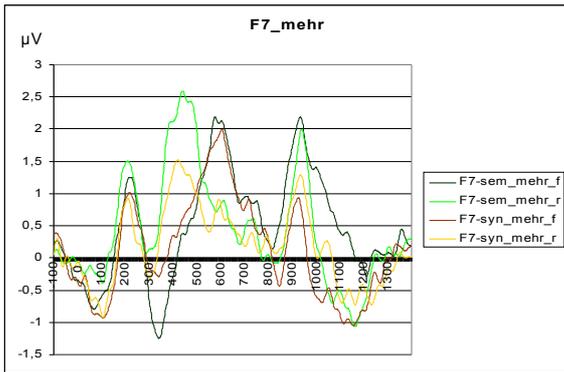


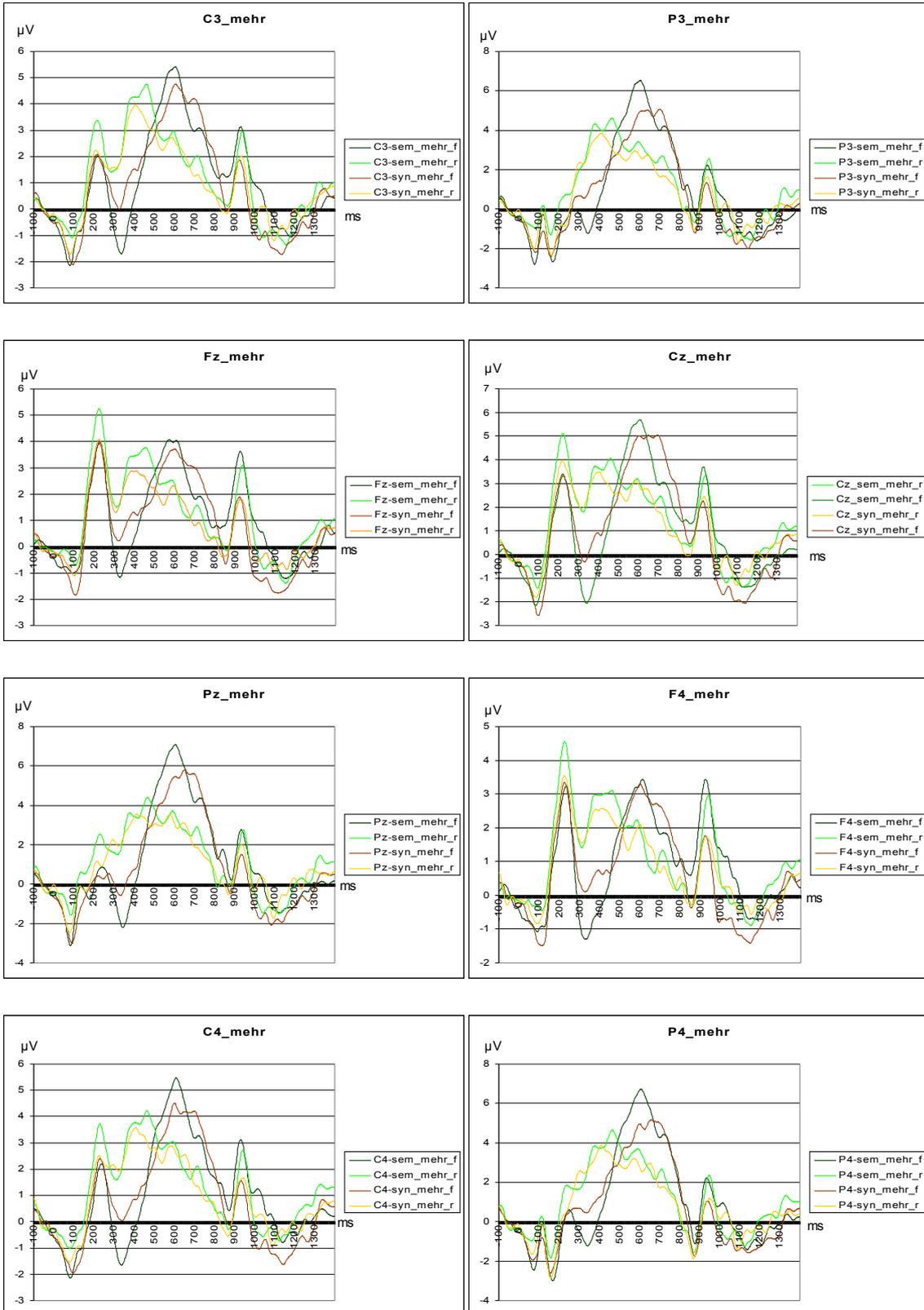
ms

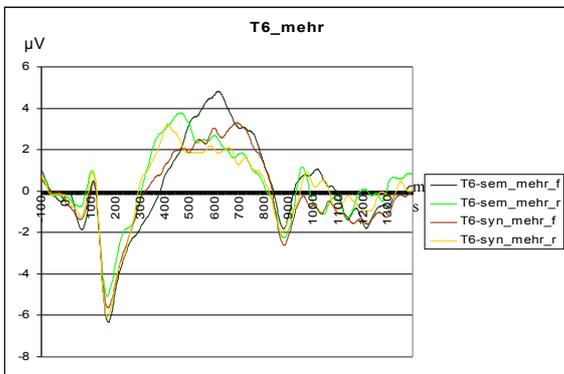
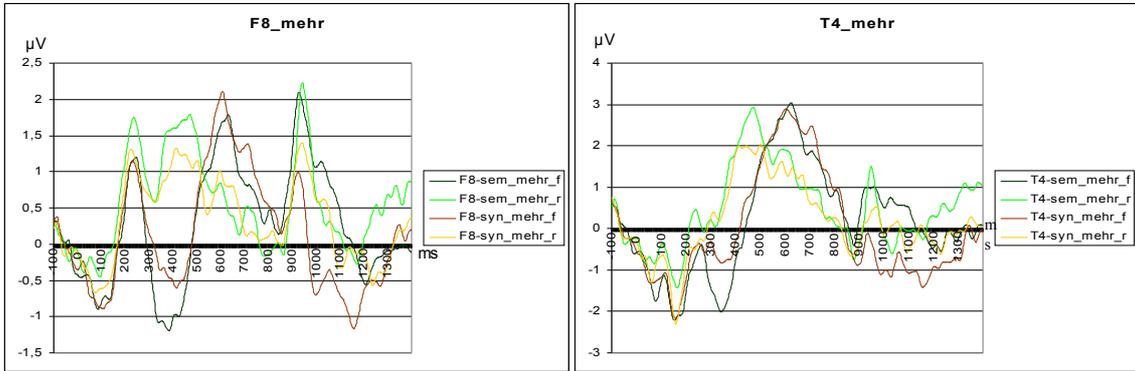
200



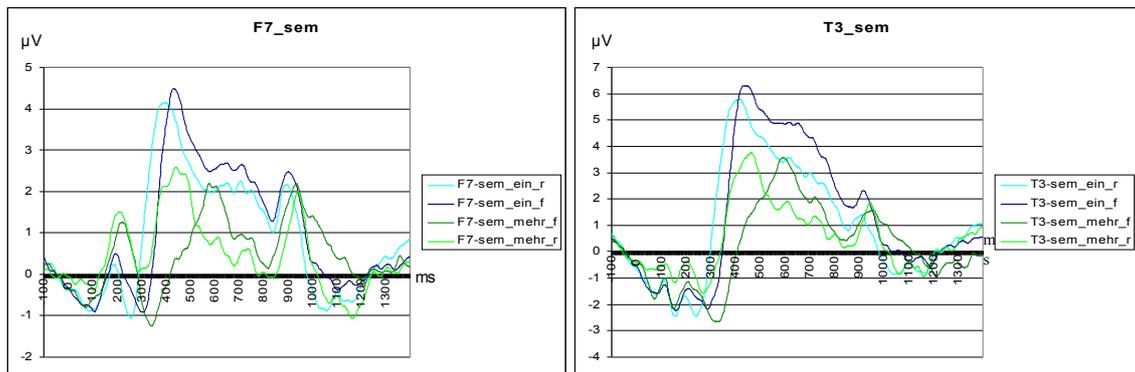
2.5b) mehrdeutig

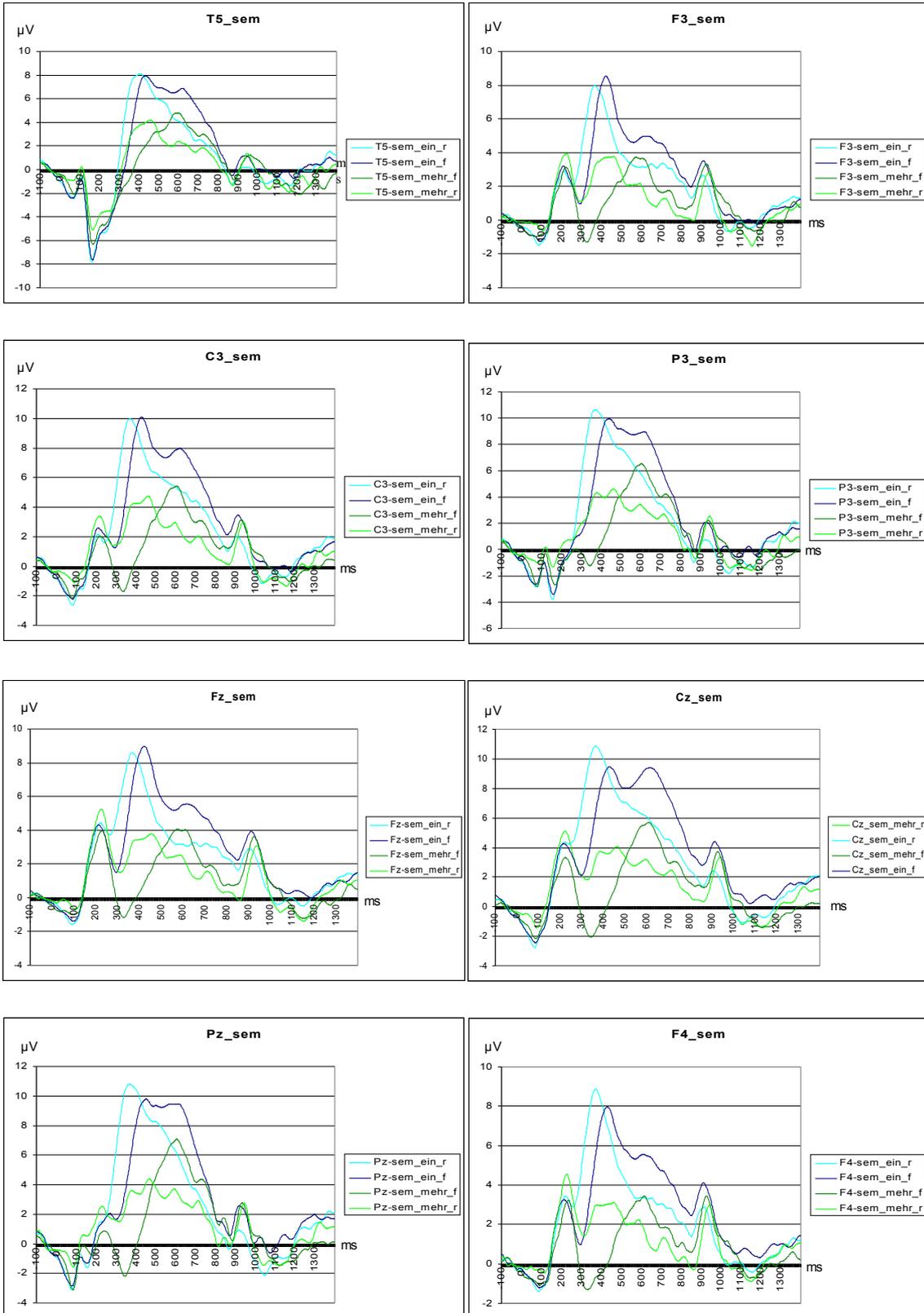


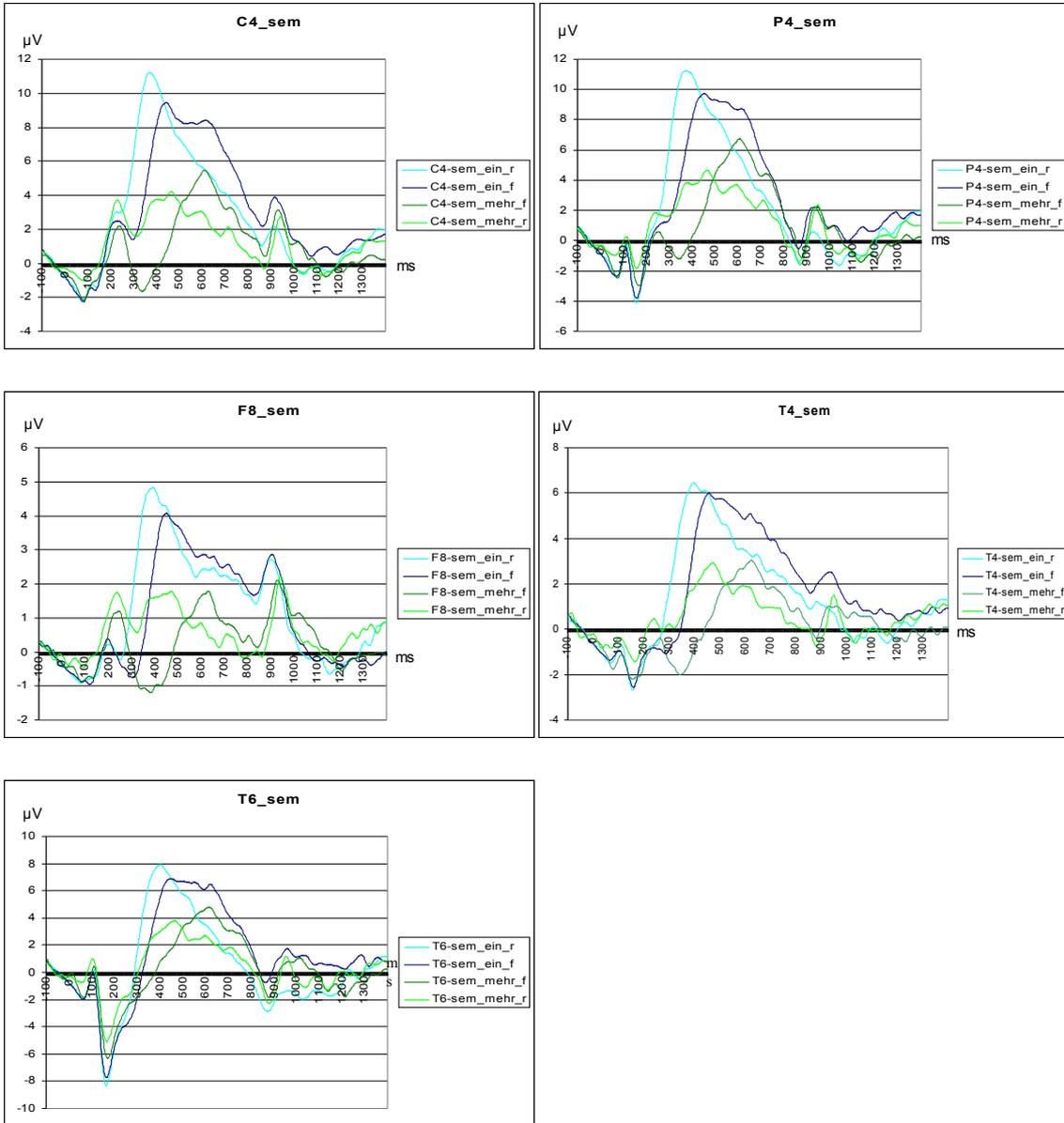




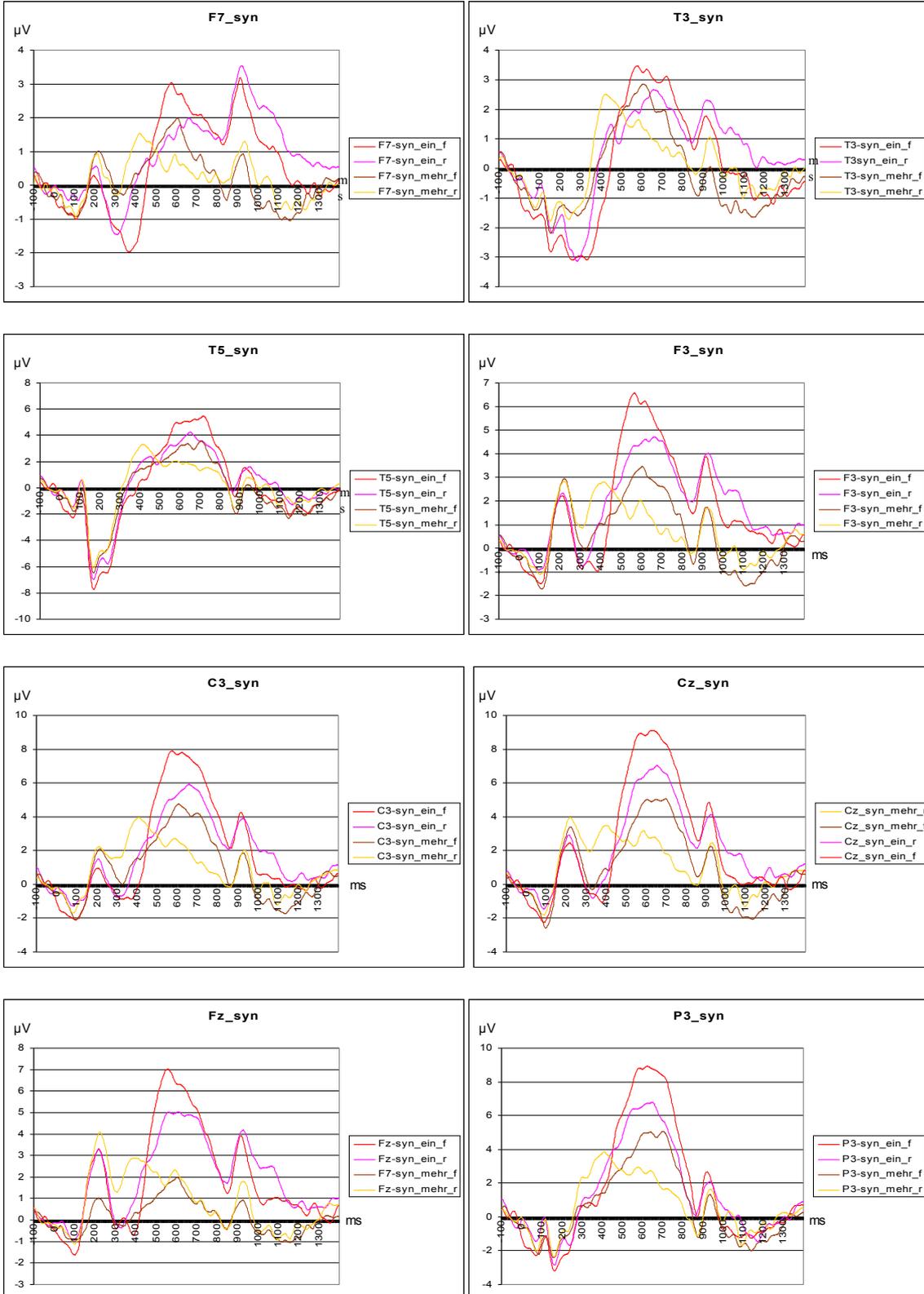
2.5c) Semantik

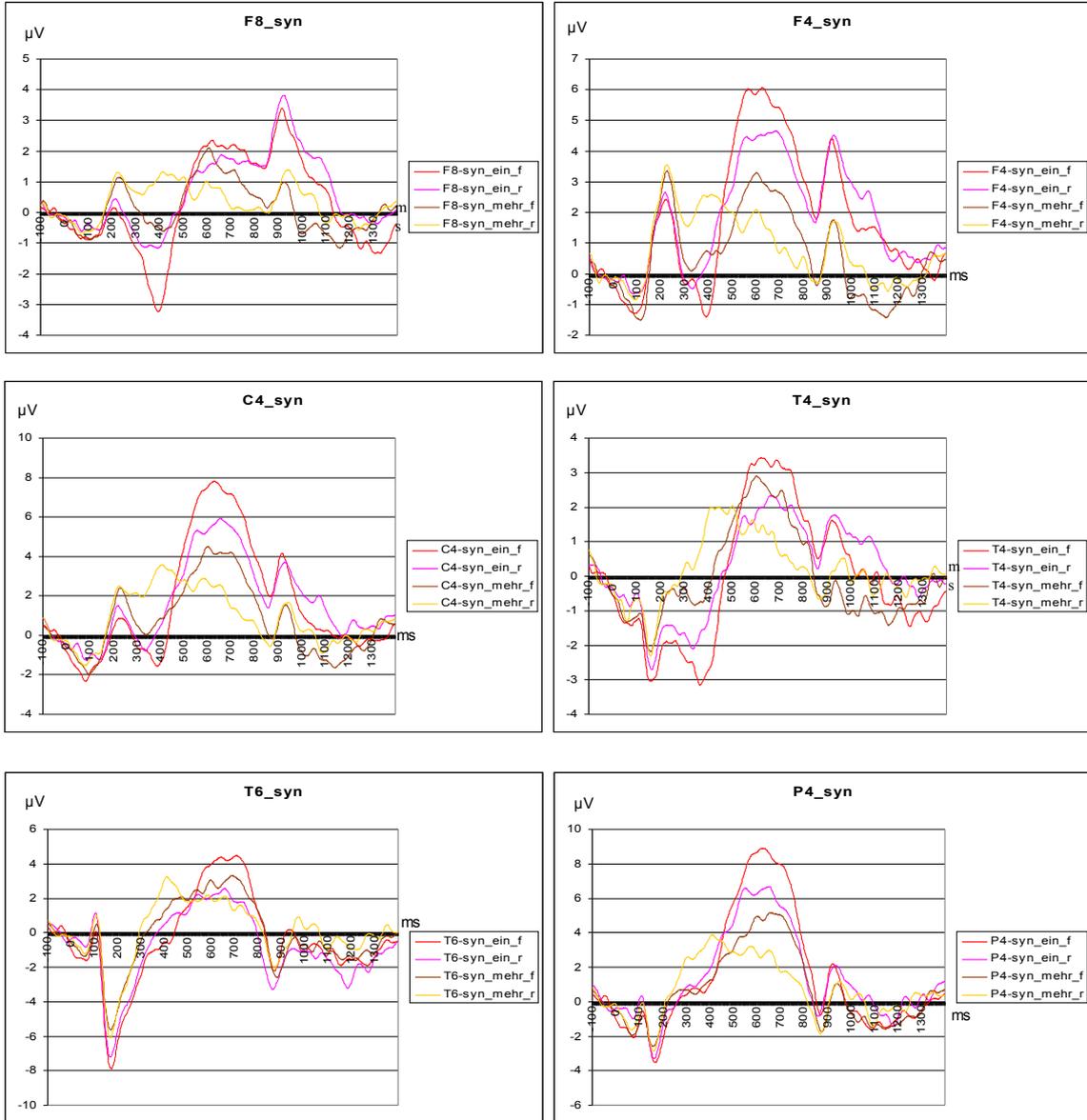






2.5d) Syntax





3. Nachuntersuchung

3.1 Liste Antonyme

Frieden Krieg	Tag Nein
Ebbe Leben	Lüge Netto
nah hell	Junge Mädchen
nichts stark	ernst früh
Mädchen Junge	lachen schlafen
gesund krank	Herren Krieg
laut leise	Tod Leben
Reichtum Wahrheit	über unter
Freund Süden	schwer nass
hässlich voll	dagegen hart
vorher nachher	Sommer Gewinn
faul fleißig	schweigen reden
böse schnell	schließen holen
Zucker Salz	hinauf herunter
Ebbe Flut	gefangen frei
nehmen geben	falsch winzig
gerade weiß	wachen schlafen
verlieren gewinnen	rechts hinein
eckig rund	feucht trocken
Winter Sommer	dünn hinter
Mutter Berg	schwach unten
Stille Lärm	neu alt
loben schließen	Osten Vater
Ja Westen	draußen theoretisch
weinen lachen	falsch richtig
wachen siezen	positiv negativ
leeren füllen	klein groß
hassen lieben	Mann Nachteil
nackt erlaubt	dunkel hell
wachend schlafend	schwach stark
duzen belohnen	fleißig faul
Vorteil Nachteil	dafür objektiv
gut schlecht	trocken leise
Nacht Tag	flüstern schreien
öffnen tadeln	reich arm
letzter erster	schlafend außen
Mann Frau	verboten dünn
Krieg Plus	weinen kommen
Armut Reichtum	Norden Süden
Lärm Import	Netto Sommer
Feind Freund	schwarz teuer

Einnahmen Ausgaben
 rauf runter
 reich passiv
 verbieten erlauben
 gewinnen erinnern
 Plus Tag
 Lüge Wahrheit
 rechts links
 leise ohne
 lieben hassen
 gehen lachen
 langsam schnell
 runter schlecht
 Damen Herren
 weich leer
 nachher vorher
 praktisch albern
 klein dort
 bekleidet nackt
 leeren suchen
 drinnen danach
 krank gesund
 rund eckig
 alt schwarz
 öffnen schließen
 verboten erlaubt
 krumm gerade
 reden geben
 verschieden gleich
 alles nichts
 Vater Trauer
 Jugend Alter
 frei schlafend
 leicht hübsch
 dafür dagegen
 Osten Westen
 laut links
 mit ohne
 Brutto Netto
 gewinnen verlieren
 negativ immer
 Anfang Ende
 groß blind
 weiß drinnen
 Ebbe Flut
 Frieden Frau

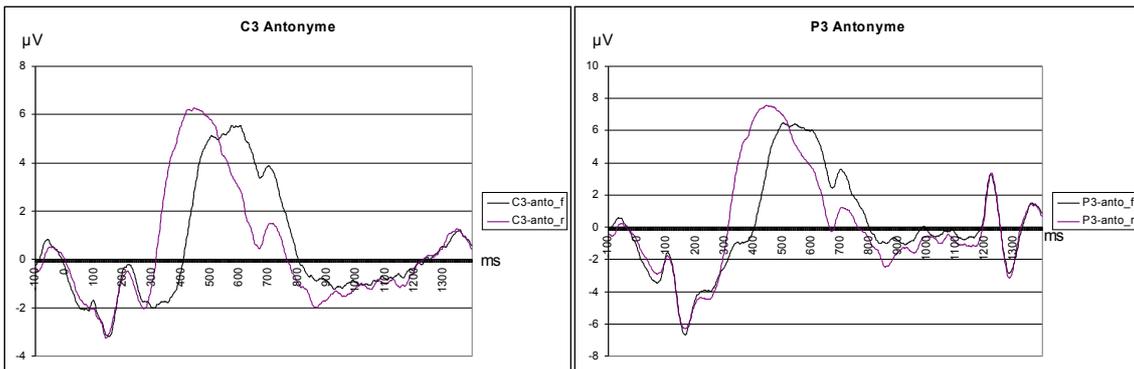
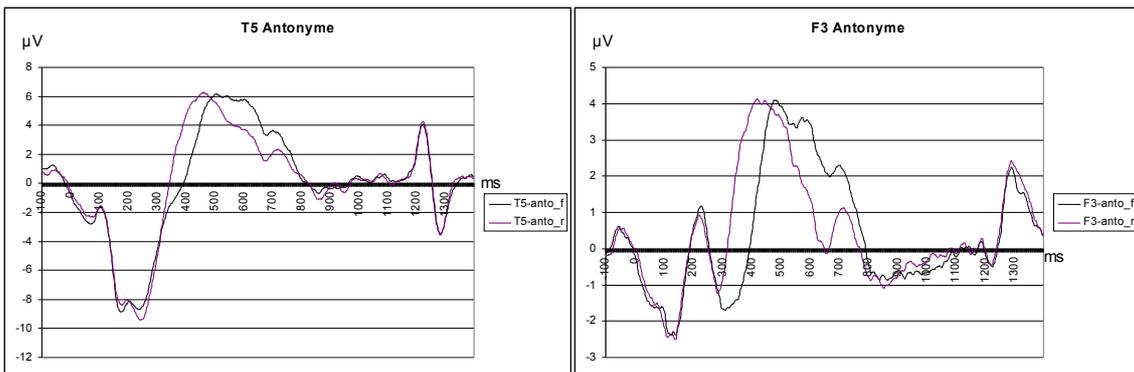
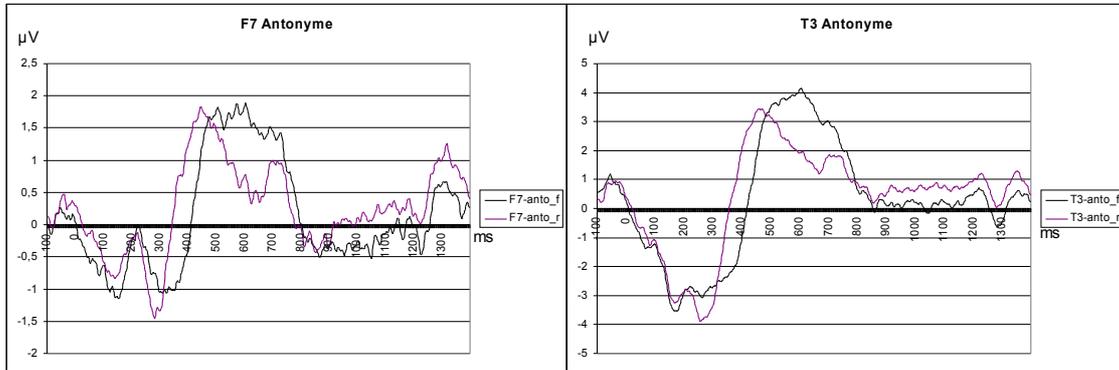
kurz lang
 schwer leicht
 nachher dagegen
 schieben ziehen
 krank draußen
 Reichtum Armut
 Nacht Freund
 Wahrheit Ja
 finden füllen
 fern nah
 groß klein
 fröhlich traurig
 oben lieb
 wachend arm
 innen außen
 billig teuer
 Westen Ausgaben
 Winter Mutter
 Ende Verlust
 lang kurz
 vorher leicht
 vergessen hassen
 schnell langsam
 riesig reich
 Salz Frieden
 nie gut
 stark schwach
 schließen öffnen
 Ausgaben Winter
 Brutto Stille
 hell dunkel
 gleich gesund
 erlauben weinen
 siezen duzen
 subjektiv eckig
 sehend faul
 Minus Nacht
 Wahrheit Lüge
 Süden Norden
 bestrafen verlieren
 weiß schwarz
 erlaubt verboten
 davor wachend
 Tal Mädchen
 Leben Tod
 Frau Vorteil

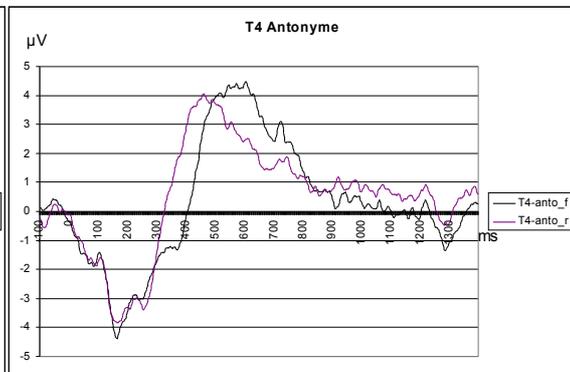
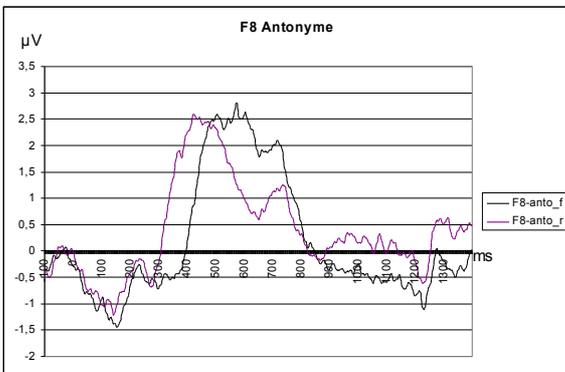
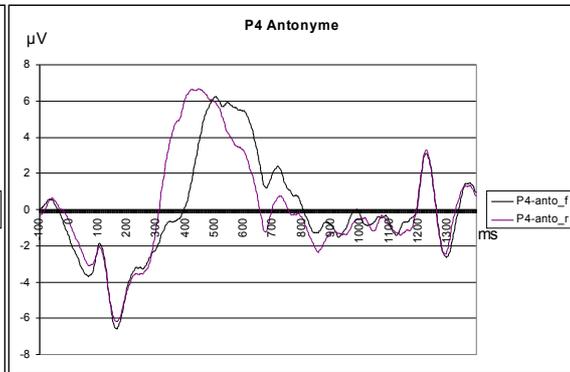
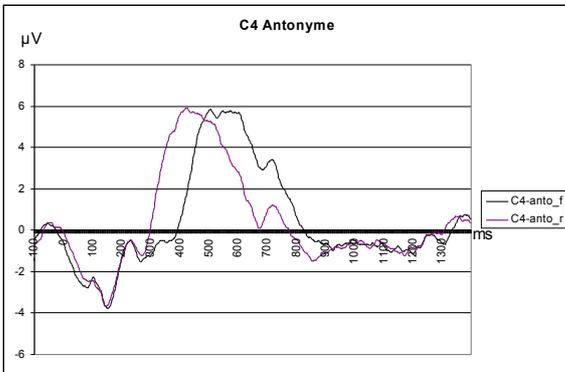
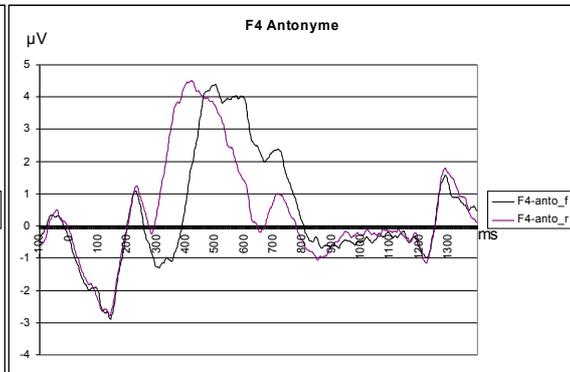
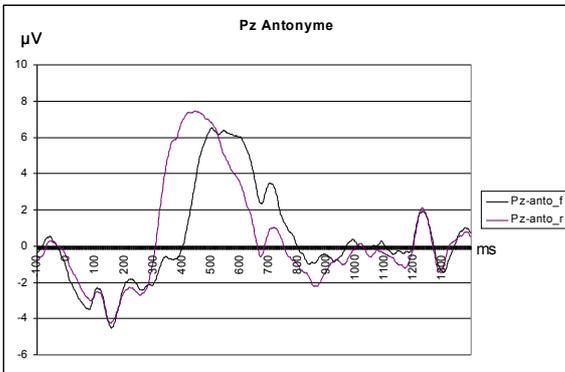
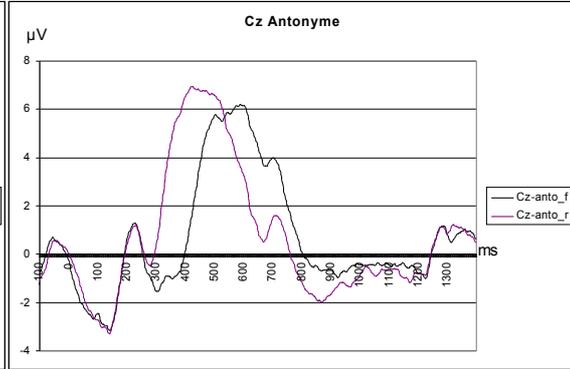
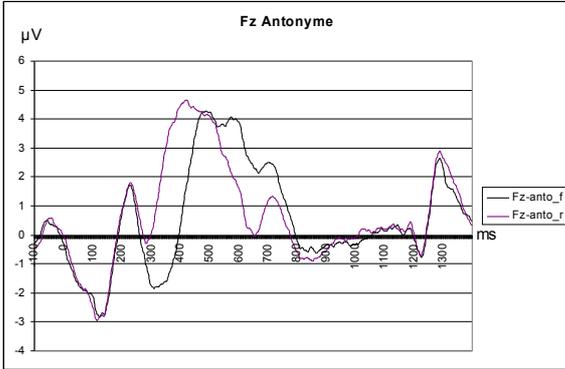
satt hungrig
 Export Import
 duzen siezen
 dick dünn
 hell oben
 innen richtig
 Leben Minus
 lieben verbieten
 theoretisch praktisch
 passiv aktiv
 außen rauf
 Tod Mann
 früh spät
 teuer letzter
 kurz über
 Vater Mutter
 geben leeren
 nass trocken
 hart weich
 Norden Einnahmen
 belohnen bestrafen
 hinein hinaus
 schlafen wachen
 ohne feucht
 erinnern vergessen
 hinter vor
 unten neu
 wachend hinauf
 Berg Tal
 Export Ebbe
 Plus Minus
 Junge Armut
 Nachteil Feind
 hier gefangen
 winzig riesig
 Westen Osten
 Gewinn Verlust
 Import Export
 rund kurz
 außen innen
 langsam klein
 teuer billig
 hassen flüstern
 kommen gehen
 fleißig schwer
 dagegen dafür
 leer rechts

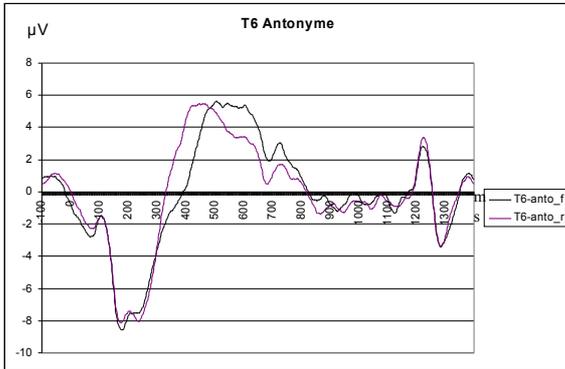
traurig laut
 voll leer
 hungrig vorher
 Verlust Zucker
 Nein Ja
 Netto Brutto
 tadeln loben
 schlecht positiv
 draußen drinnen
 Armut Junge
 Krieg Frieden
 Flut Tod
 Nachteil Vorteil
 gut negativ
 geben nehmen
 aktiv langsam
 Tag Nacht
 vor rund
 schwarz weiß
 herunter verboten
 Alter Lüge
 leer voll
 hinaus nachher
 leise laut
 trocken krank
 Feind Norden
 verlieren schweigen
 schlecht gut
 suchen finden
 spät dunkel
 erster schwach
 unter fleißig
 schlafend wachend
 albern ernst
 dort hier
 Gewinn Jugend
 arm bekleidet
 richtig fröhlich
 immer nie
 blind sehend
 lieb böse
 billig krumm
 Sommer Winter
 danach davor
 objektiv subjektiv
 links verschieden
 Vorteil Reichtum

3.2 EEG-Kurven

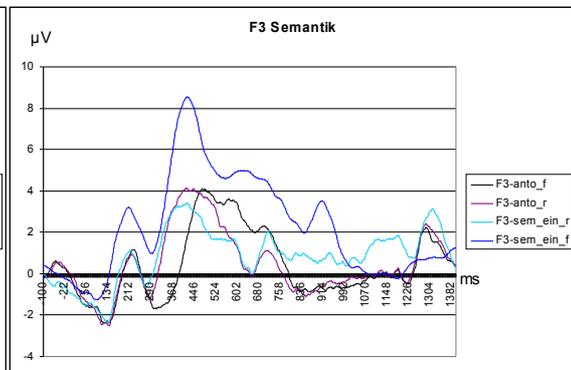
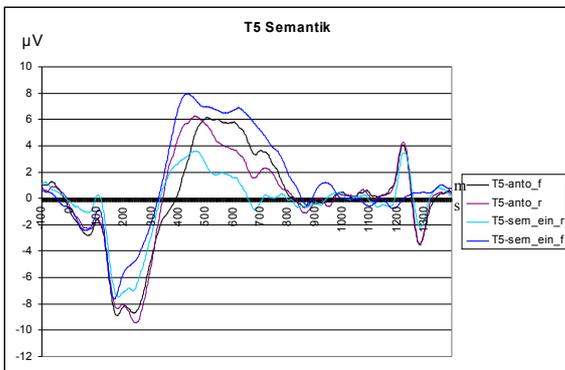
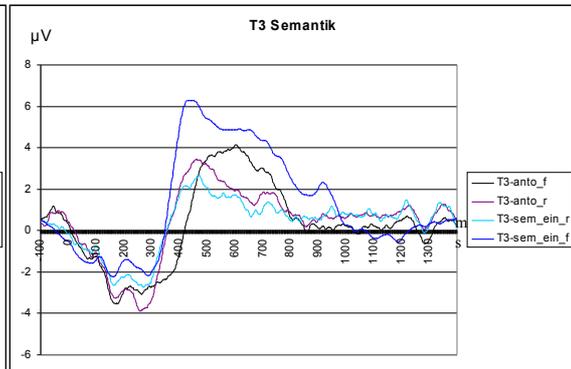
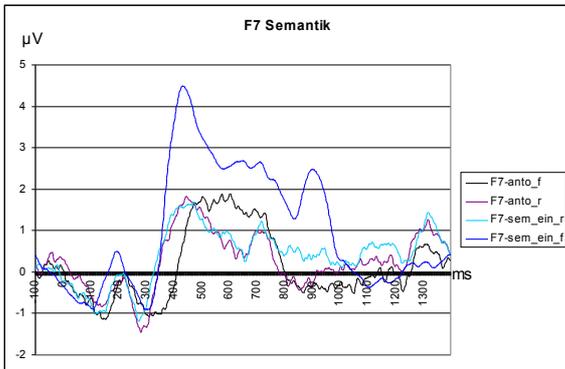
3.2a) Antonyme

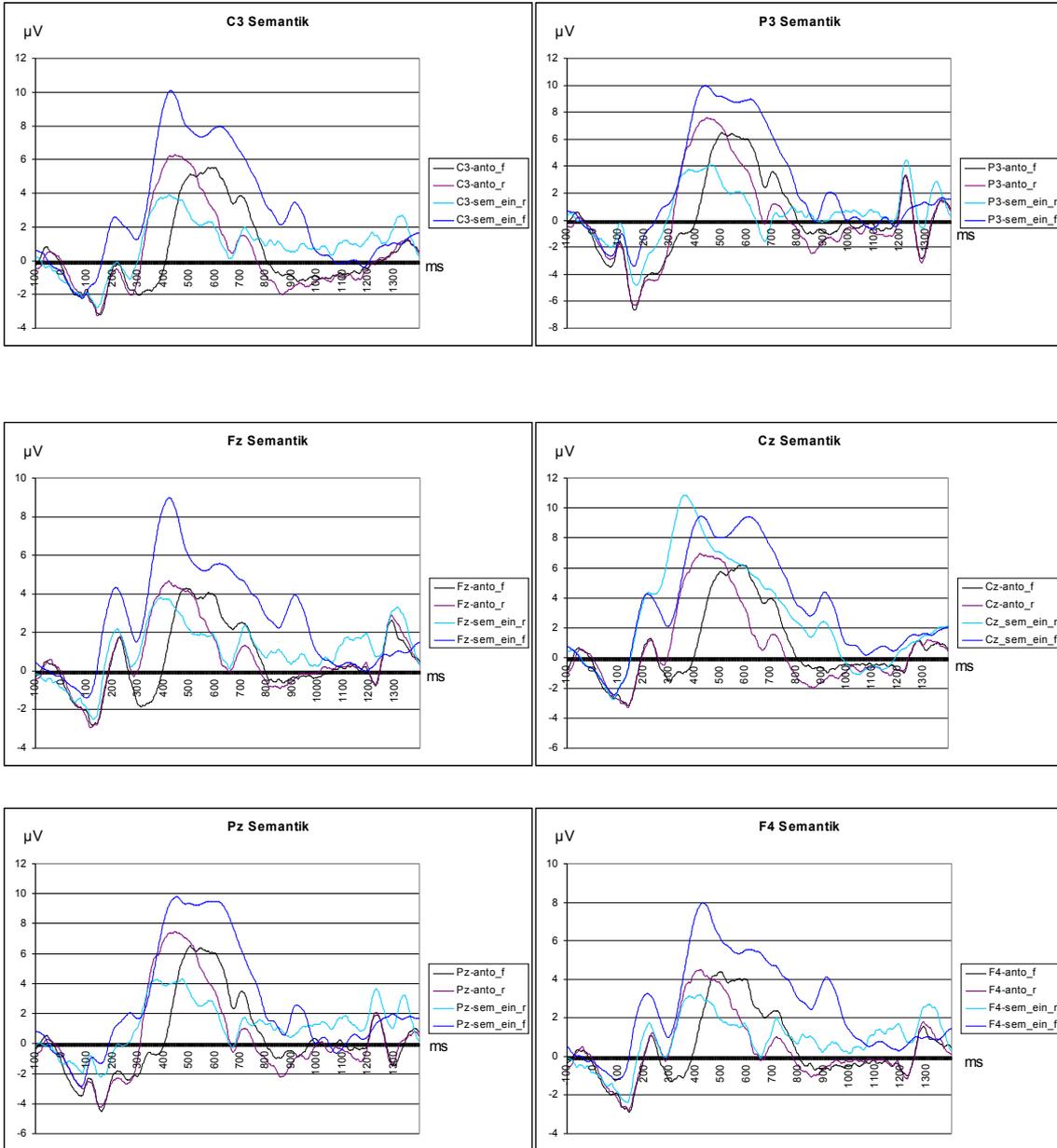


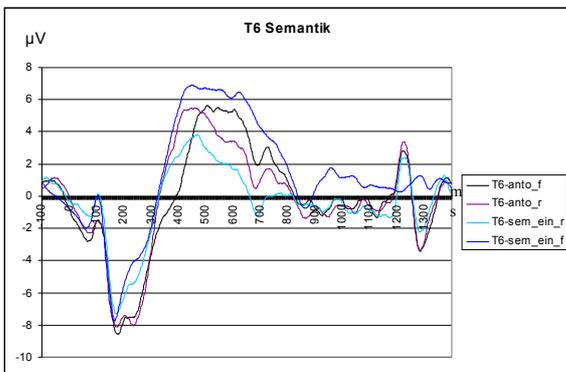
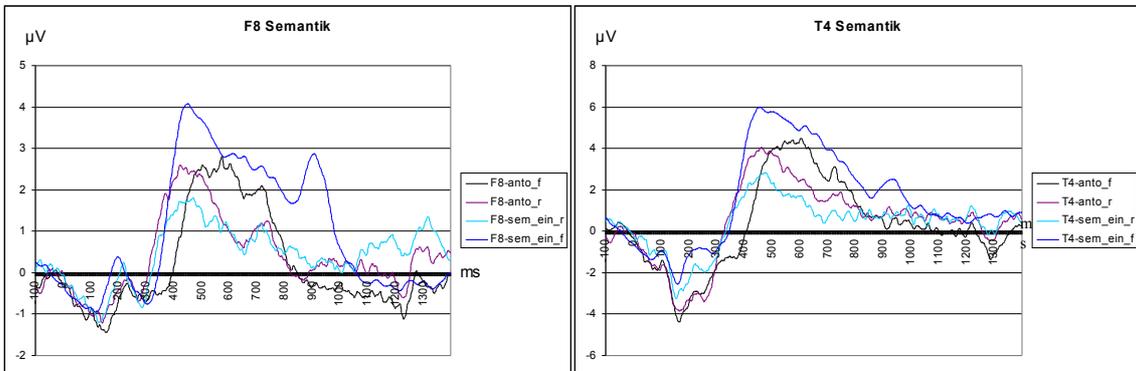
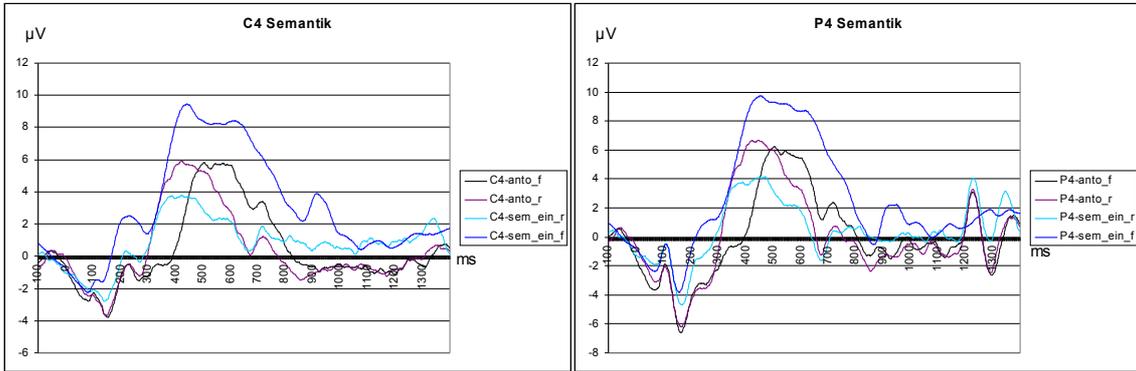




3.2b) Semantik: Antonyme und Sprichwörter
 (Die Kurven der Sprichwörter stammen aus Versuch 1.)







Danksagung

Mein besonderer Dank gilt meinem Betreuer und Doktorvater Herrn Professor Dr. Boris Kotchoubey für die Überlassung dieses interessanten Themas und der sehr guten Betreuung und Zusammenarbeit. In fruchtbarer Diskussion war er offen für neue Ideen und gab mir immer wieder wichtige gedankliche Anstöße zum Thema und darüber hinaus. Geduldig beantwortete er meine Fragen und begleitete den Entwicklungsprozess meiner Promotion.

Des weiteren danke ich der medizinisch-technischen Mitarbeiterin Frau Ellen Stec für die Unterstützung bei der Rekrutierung der Probanden und der praktischen Durchführung der Versuchsreihen. Außerdem danke ich dem Herrn Dipl.-Psych. Roman Lenzhofer für die Hilfe bei der Erstellung der Präsentationsprogramme und Herrn Dipl.-Inf. David Eissler für ein Programm zur Wortabstandsbestimmung.

Für die gewissenhafte Durchsicht und Korrektur der Texte danke ich Herrn Lutz Ackermann, M.A..

Mein spezieller Dank gilt meinem Ehemann Daniel Jander für sein Interesse, die wichtigen gedanklichen Anstöße zu Methodik und Thema und seine unermüdliche Geduld.

Lebenslauf**persönliche Daten**

Name: Miriam Jander (geb. Krusemark)
Geburtsdatum und -ort: 19.05.1982 in Riedlingen
Konfession: evangelisch freikirchlich
Familienstand: verheiratet, ein Kind

schulische Ausbildung

09/ 1988 - 07/ 1992: Grundschule Riedlingen
09/ 1992 - 06/ 2001: Kreisgymnasium Riedlingen
19.06.2001 Abitur

Hochschulausbildung

WS 01/02 - WS 07/08 Studium der Humanmedizin an der
Eberhard-Karls-Universität Tübingen

Famulaturen:

09/ 2004 - 10/ 2004: Augenheilkunde, Neuroophthalmologie
und Ambulanz, Universitäts-Augenklinik Tübingen
02/ 2005 - 03/ 2005 Neurologie, Universitätsklinikum Tübingen
09/ 2005 - 10/ 2005 Augenheilkunde, Sektion für Motilitätsstörungen,
Universitäts-Augenklinik Tübingen
03/ 2006 Innere Medizin/Kardiologie, Kreiskliniken Reutlingen
03/ 2006 - 04/ 2006 Augenheilkunde, Augenklinik des Klinikums
Bremen-Mitte

Praktisches Jahr:

08/ 2006 - 12/ 2006 1. Terial: Innere Medizin, Kreisklinik Böblingen
04/ 2007 - 07/ 2007 2. Terial: Chirurgie, Kreiskliniken Böblingen und
Sindelfingen
07/ 2007 - 11/ 2007 3. Terial: Augenheilkunde, Universitäts - Augenklinik
Tübingen
16. Mai 2008 Ärztliche Prüfung

Tübingen, 23.07.2007