

Hypothesengeleitete Informationsverarbeitung während der Wahrnehmung von Sprache

Dissertation

Zur Erlangung des akademischen Grades

doctor rerum naturalium

(Dr. rer. nat.)

genehmigt durch die Fakultät für Naturwissenschaften
der Otto-von-Guericke Universität Magdeburg

von: Dipl. Psych. Janine Möbes
geb. am 23. Februar 1978 in Halle/S.

Gutachter:

: Prof. Dr. Thomas F. Münte, (Universität Magdeburg)
Prof. Dr. Hans-Jochen Heinze (Universität Magdeburg)
Prof. Dr. E. Altenmüller (Hochschule für Musik und Theater Hannover)

eingereicht am: 25.08.2005

verteidigt am: 23.01.2006

Meinen Eltern

Danksagung

Zu allererst möchte ich mich bei Prof. Dr. Thomas F. Münte für die Unterstützung herzlich bedanken. Durch seinen Einsatz sind die Rahmenbedingungen für diese Arbeit geschaffen worden und wurden durch seine Ermutigungen, Erfahrungen und sein Vertrauen in vielerlei Hinsicht geprägt.

Ein großer Dank gilt Dr. Monique Lamers, die mich neben vielem fachkundlichem Wissen, Freundschaft und Zuversichtlichkeit gelehrt hat. Durch ständige Ermutigungen hat sie an meinem Durchhaltevermögen gewirkt.

Weiterhin gilt mein großer Dank der Arbeitsgruppe Neuropsychologie der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, allen voran Dr. Jascha Rüsseler für die fachkundliche Supervision und Durchsicht dieser Arbeit. Dr. Arie Banfield gilt mein Dank für die Hilfestellung bei der Erstellung des Materials sowie zahlreichen humorvollen Stunden. Weiterhin danke ich Jörn Möller, Dörte Kuhlicke, Sabine Schneider und Marcus Heldmann für ein wirklich gutes Arbeitsklima, vielfältige Diskussionen, Hilfestellungen und Anregungen. Dr. Wido Nager danke ich für die Zusammenarbeit an der Medizinischen Hochschule Hannover, wodurch Kontakte zum Hörzentrum und somit den CI-Patienten entstanden sind.

Bei Katja Könecke und Jürgen Lambrecht möchte ich mich für die Hilfestellung bei der Datenerhebung bedanken.

Mathias Menden danke ich für die menschliche Wärme und emotionale Unterstützung in all den Jahren, für die Geduld und Zuversicht. Hans und Helga Menden ermöglichten mir einen kreativen Rückzug an die Nordseeküste Belgiens.

Nicht zuletzt möchte ich mich bei meinen Eltern und Freunden für das unermüdliche Vertrauen, die Geduld, Fürsorge, Liebe und den Trost bedanken, ohne die ich diese Arbeit nicht so hätte schreiben können.

Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit geht es um die Beschreibung zeitlicher Aspekte der Verarbeitung akustischer Sprachstimuli und die Etablierung eines zeitlichen und räumlichen Aufmerksamkeitsfokus. Die Sprachwahrnehmung wurde über verschiedene Manipulationen (zeitliche Invertierung des akustischen Signals, Veränderung der Worthäufigkeit und der semantischen Zusammengehörigkeit) hinsichtlich des Einflusses vorhandenen Wissens und interner Erwartungen untersucht. Ziel der Arbeit ist es zu ermitteln, an welcher Stelle im Verarbeitungsprozess eine kognitive Korrektur sprachlicher Signale einsetzt. Bisher blieb die Frage ungeklärt, ob eine kognitive Korrektur auf frühen oder aber auf späten Ebenen innerhalb des Informationsverarbeitungsprozesses stattfindet.

In sechs Experimenten wurden Wörter und Sätze akustisch und visuell dargeboten. Dabei wurde das akustische Sprachsignal qualitativ vermindert (zeitliche verzerrt oder mit zusätzlichem Rauschen) oder es wurde die Erwartung und semantische Passung für ein bestimmtes akustisches Signal manipuliert. Mit Hilfe der Methode der ereigniskorrelierten Potentiale wurde der Sprachverarbeitungsprozess in seinem zeitlichen Verlauf beobachtet. Im zweiten Teil der Arbeit wurde die kognitive Korrektur von Sprachlauten bei Patienten mit verminderter Hörfähigkeit und implantierter Cochleaelektroden untersucht und mit denen gesunder Kontrollprobanden verglichen. Die Auswertung der Verhaltensdaten und ereigniskorrelierten Potentialen deuten daraufhin, eine kognitive Korrektur bei Sprachsignalen stattfindet, vor allem im späteren Verlauf des Sprachverarbeitungsprozesses. In allen Experimenten konnte im EKP eine Negativierung um 400 ms beobachtet werden, welche der kognitiven Korrektur zuzuordnen ist und die zur Familie der bereits vielseitig beschriebenen N400 gehört. Um akustische Signale intern zu kompensieren und Sprache zu verstehen, nutzen Patienten mit Cochleaimplantat zusätzliche Informationen wie beispielsweise den Satzkontext oder Lippenbewegungen des Sprechers.

Darüber hinaus konnte beobachtet werden, dass der Korrekturprozess eine zeitliche und räumliche Dynamik aufweist: Je weniger kontextuelle Informationen zur Verfügung stehen und je weniger die akustischen Signale mit internen Erwartungen übereinstimmen, um so länger dauert der Korrekturprozess, was sich in einer später einsetzenden und ausgeprägteren Negativierung widerspiegelt. In der vorliegenden Arbeit wird gezeigt, dass sich die kognitive Korrektur in Abhängigkeit von der Erwartungswahrscheinlichkeit eines bestimmten Wortes oder der semantischen Passung eines Wortes zum vorangehenden Satz voneinander unterscheidet. Dabei spiegelt sich die Korrektur semantischer Inkongruenz in einer früher einsetzenden mehr posterior verteilten N400 wider, während die Korrektur bezüglich der Verletzung interner Erwartungen mehr frontal verteilt ist und einen späteren Amplitudengipfel aufweist.

Die Ergebnisse wurden vor dem Hintergrund verschiedener Modelle der Sprachverarbeitung diskutiert. Offen geblieben ist, ob der Dynamik des Korrekturprozesses unterschiedliche neurale Generatoren zugrunde liegen.

INHALTSVERZEICHNIS

1 DIE HYPOTHESENGELEITETE INFORMATIONSVERARBEITUNG WÄHREND DER WAHRNEHMUNG VON SPRACHE	3
1.1 EINLEITUNG	3
1.2 GRUNDLAGEN DER SPRACHLICHEN INFORMATIONSVERARBEITUNG	4
1.2.1 Modelle der Sprachverarbeitung	8
1.2.1.1 Die Motorische Theorie der Wahrnehmung	8
1.2.1.2 Das Kohortenmodell der auditiven Worterkennung	11
1.2.1.3 Das TRACE-Modell der Wahrnehmung	13
1.3 DAS EREIGNISKORRELIERTE POTENTIAL ZUR UNTERSUCHUNG SPRACHLICHER INFORMATIONSVERARBEITUNG	17
1.3.1 Das Elektroenzephalogramm (EEG)	18
1.3.2 Das ereigniskorrelierte Potential	19
1.3.3 EKP und Sprachverarbeitung	21
1.4 FRAGESTELLUNG UND ZIELSETZUNG	23
2 ZEITGEBUNDENE INFORMATIONSVERARBEITUNG IM AUDITIVEN SYSTEM	25
2.1 EXPERIMENT 1: ELEKTRISCHE HIRNAKTIVITÄT WÄHREND DER WAHRNEHMUNG ZEITINVERTIERTER SPRACHE	27
2.1.1 <i>EINLEITUNG</i>	27
2.2.2 <i>METHODE</i>	28
2.2.3 <i>ERGEBNISSE</i>	31
Verhaltensdaten	32
EKP-Daten	32
2.2.4 <i>DISKUSSION</i>	37
2.3 EXPERIMENT 2: EINFLUSS DES SATZKONTEXTES AUF DIE IDENTIFIKATION ZEITINVERTIERTER SPRACHSIGNALE	40
2.3.1 <i>EINLEITUNG</i>	40
2.3.2 <i>METHODE</i>	41
2.3.3 <i>ERGEBNISSE</i>	44
Verhaltensdaten	44
EKP- Daten	45
2.3.4 <i>DISKUSSION</i>	54
2.4 EXPERIMENT 3: EINFLUSS DES SATZKONTEXTES UND DER FREQUENZ AUF DIE WAHRNEHMUNG AUDITORISCHER SPRACHSIGNALE	60
2.4.1 <i>EINLEITUNG</i>	60
2.4.2 <i>METHODE</i>	61
2.4.3 <i>ERGEBNISSE</i>	63
Verhaltensdaten	63
Ereigniskorrelierte Potentiale	63
2.4.4 <i>DISKUSSION</i>	69
2.5 EXPERIMENT 4: KONZEPTGESTEUERTE INFORMATIONSVERARBEITUNG VISUELLER SPRACHSIGNALE	71
2.5.1 <i>EINLEITUNG</i>	71
2.5.2 <i>METHODE</i>	71
2.5.3 <i>ERGEBNISSE</i>	73
2.5.4 <i>DISKUSSION</i>	76
2.6 ZUSAMMENFASSUNG	78
3 DIE KONZEPTGESTEUERTE KOGNITIVE KORREKTUR WÄHREND DER WAHRNEHMUNG SPRACHLICHER SIGNALE BEI PATIENTEN MIT COCHLEAIMPLANTAT	80

3.1. EINLEITUNG: GRUNDLAGEN DER FUNKTIONSWEISE DES COCHLEAIMPLANTATS	81
<i>Ereigniskorrelierte Potentiale nach Cochleaimplantation</i>	83
<i>Neuronale Grundlagen bei der akustischen Verarbeitung nach Cochleaimplantation</i>	84
3.2 EXPERIMENT 5: KONZEPTGESTEUERTE KORREKTUR SPRACHLICHER STIMULI ÜBER DIE WAHRNEHMUNG VON LIPPENBEWEGUNGEN	86
3.2.1 <i>EINLEITUNG</i>	86
<i>Die Integration akustischer und visueller Sprachinformationen zu einem einheitlichen Perzept</i>	87
<i>Elektrophysiologische Korrelate der Verarbeitung audiovisueller Sprache</i>	88
3.2.3 <i>ERGEBNISSE</i>	97
Verhaltensdaten	97
EKP-Analyse	98
3.2.4 <i>DISKUSSION</i>	104
3.3 EXPERIMENT 6: EINFLUSS VON SATZKONTEXT UND PHONOLOGIE AUF DIE IDENTIFIKATION VON SPRACHSIGNALEN	109
3.3.1 EINLEITUNG	109
3.3.2 <i>METHODE</i>	111
3.3.3 <i>ERGEBNISSE</i>	112
Verhaltensdaten	112
EKP-Daten	112
3.3.4 <i>DISKUSSION</i>	116
4. ABSCHLIEßENDE DISKUSSION UND ZUSAMMENFASSUNG	119
5. LITERATURVERZEICHNIS	123
6. ANHANG	139

1 Die hypothesengeleitete Informationsverarbeitung während der Wahrnehmung von Sprache

1. 1 Einleitung

Die Fähigkeit zur Wahrnehmung gesprochener, geschriebener oder dargestellter Sprache ist eine wesentliche Eigenschaft menschlichen Verhaltens. Die Sprache ist eine sekundäre Hirnfunktion, die sich während der phylogenetischen Entwicklung des Menschen allmählich ausgebildet hat. Mit Hilfe sprachlicher Informationen sind wir in der Lage, Gedanken und Gefühle anderen Menschen mitzuteilen und darüber räumliche und zeitliche Distanzen zu überbrücken.

Die Art und Weise der Benutzung von Sprache und sprachlichen Zeichen teilt Menschen in soziale Gruppen und reflektiert kommunikative und kulturelle Merkmale gesellschaftlicher Systeme.

Die Erforschung der Sprache des Menschen hat eine lange Tradition. Seit dem Beginn der Antike hat man sich mit dem Phänomen Sprache und dessen Störungen befasst. Bis heute gibt es verschiedene Vorstellungen darüber, wie Sprachwahrnehmung vom Gehirn realisiert wird. Das Verstehen gesprochener Sprache beinhaltet das Erkennen linguistischer Informationen aus einem Fluss akustischer oder visueller Signale. Aus diesen sensorischen Signalen werden Phoneme, Buchstaben, Silben, Wörter, Phrasen, Sätze und ganze Konzepte gebildet. Ob dieser Wahrnehmungsprozess auf allgemeinen kognitiven Prinzipien beruht oder eine einzigartige kognitive Fähigkeit ist, war Gegenstand zahlreicher Studien seit dem Beginn der psychologischen, linguistischen und neurowissenschaftlichen Forschung. Beginnend mit den Arbeiten der Neurologen Pierre Paul Broca und Carl Wernicke ist gezeigt worden, wie komplex die Fähigkeit zur Sprachwahrnehmung und Sprachproduktion aufgebaut ist und welche verschiedenen Areale an deren Realisation beteiligt sind.

Wie genau sprachliche Informationen wahrgenommen werden, soll Gegenstand der vorliegenden Promotionsschrift sein. Es soll untersucht werden, wie das vorhandene Wissen über Wörter und deren Laute, so genannte top-down Informationen¹, während der Verarbeitung genutzt wird. Mit Hilfe der Methode der ereigniskorrelierten Potentiale wird zum einen geprüft, wie sich eine hypothesengeleitete Korrektur sprachlicher akustischer Informationen elektrophysiologisch abbilden lässt und welche zeitlichen Parameter dafür im Informationsverarbeitungsprozess ermittelt werden können. Weiterhin wird in dieser Arbeit dargestellt, inwiefern sich die Verarbeitung gesprochener und geschriebener

¹In der Literatur wird die Beeinflussung der Wahrnehmung durch vorhandenes Wissen, Konzepte, Erwartungen und Hypothesen als top-down Verarbeitung bezeichnet. Im Folgenden werden für diesen Begriff synonym die Bezeichnungen hypothesengeleitete oder konzeptgeleitete Wahrnehmung bzw. kognitive Korrektur angewandt.

Wörter in einem Satzkontext voneinander unterscheiden. Abschließend soll die konzeptgesteuerte Korrektur sprachlicher Laute bei Patienten mit verminderter Hörfähigkeit und implantierter Cochlea überprüft werden.

Bevor auf die empirischen Untersuchungen näher eingegangen wird, sollen zunächst verschiedene Grundlagen und theoretische Modelle sprachlicher Informationsverarbeitung erläutert werden. Anschließend erfolgt die Darstellung der experimentellen Methode des ereigniskorrelierten Potentials, welche speziell in Zusammenhang mit der Untersuchung von Sprachwahrnehmung diskutiert wird. Im Unterkapitel 1.4. werden offene Fragen aus der bisherigen Erforschung konzeptueller sprachlicher Informationsverarbeitung zusammengefasst und die Zielsetzung der empirischen Arbeiten dieser Promotionschrift erläutert.

1. 2 Grundlagen der sprachlichen Informationsverarbeitung

Die ersten wichtigen Erkenntnisse über die Grundlagen und Merkmale sprachlicher Informationsverarbeitung lieferten Beobachtungen neurologischer Patienten, die unterschiedliche Beeinträchtigungen der Sprachleistungen zeigten. Im Jahre 1861 beschrieb Broca einen Patienten, der lediglich noch die Silbe „tan“ aussprechen konnte, wohingegen sein Verständnis für sprachliche Äusserungen erhalten blieb. Bei der Obduktion des Gehirns stellte Broca Läsionen im linken Frontallappen fest. Diese Region wird bis heute als Broca-Areal bezeichnet (siehe Abbildung 1) und mit der Realisation von Sprachproduktion in Zusammenhang gebracht. Nur wenige Jahre nach den Beobachtungen Brocas beschrieb Carl Wernicke Patienten, die Beeinträchtigungen im Verstehen gesprochener Sprache hatten und deren Kommunikation bei erhaltener Sprechfähigkeit deutlich gestört war. Wernicke entdeckte in den Gehirnen der Patienten Schädigungen der Substanz im Übergang zwischen Parietal- und Temporallappen. Dieses Wernicke- Areal (Abbildung 1) spielt eine große Rolle beim Verstehen gesprochener Sprache.

Somit ist schon vor mehr als 130 Jahren klar geworden, dass verschiedene Areale des Gehirns bei verschiedenen Sprachfunktionen beteiligt sind. Im Laufe der folgenden Jahrzehnte sind weitere Bereiche des Gehirns beschrieben worden, die zusätzlich an der Verarbeitung von Sprache mitwirken (Abbildung 1).

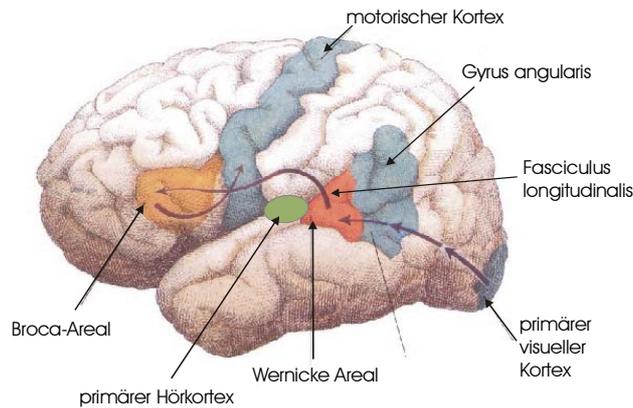


Abbildung 1: Wesentliche Areale des Gehirns, die an verschiedenen Sprachfunktionen beteiligt sind.

Der primäre Hörkortex und der primäre visuelle Kortex sind sensorische Areale, die gesprochene, geschriebene und dargestellte Sprachsignale aufnehmen und an das Wernicke-Areal (im Falle der gesprochenen Sprache) bzw. den Gyrus angularis (im Falle geschriebener Sprache) weitergeben. Der Fasciculus longitudinalis stellt eine Verbindungsbahn zwischen dem Wernicke- und dem Broca-Areal dar. Letzteres dient zur Erstellung motorischer Programme für Sprachäußerungen, die mit Hilfe des motorischen Kortex umgesetzt werden, das heißt, an die peripheren Sprechorgane wie Kiefer, Zunge, Zähne, Lippen und gegebenenfalls Hände weitergeben werden.

Es wird deutlich, dass die verschiedenen Prozesse, die mit der Sprachverarbeitung in Zusammenhang stehen, in unterschiedlichen Arealen des Gehirns und auf verschiedenen Wegen realisiert werden. An dieser Stelle sei angemerkt, dass sich die vorliegende Arbeit mit der Wahrnehmung von sprachlichen Reizen, sowohl in gesprochener als auch geschriebener Modalität, befasst und die neuronalen Mechanismen der *Sprachproduktion* außer Acht lässt.

Bevor auf die Modelle der sprachlichen Informationsverarbeitung aus heutigem Wissensstand eingegangen wird, erfolgt zunächst eine Vorstellung der grundlegenden Mechanismen menschlicher Informationsverarbeitung.

Grundlagen menschlicher Informationsverarbeitung

Aus neurowissenschaftlicher Sicht wird die menschliche Informationsverarbeitung durch ein System realisiert, das aus strukturellen Komponenten besteht: einem sensorischen Register, einem Kurzzeit- und Arbeitsgedächtnis, einem Langzeitgedächtnis sowie Kontrollprozessen, die den Informationsfluss regeln. In Bezug auf die Sprachverarbeitung im Allgemeinen geht man davon aus, dass ein gehörtes Wort oder ein gehörter Satz zunächst im so genannten echoischen Gedächtnis, in diesem Fall dem auditorischen sensorischen Register gespeichert wird. Nach einem Abgleich zwischen dem Inhalt im echoischen Gedächtnis und im semantischen Gedächtnis, werden die Informationen im

Arbeitsgedächtnis aufbewahrt. Hier werden die Wörter zu Konstituenten organisiert und mit episodischen Gedächtnisrepräsentationen eines Satzes in Zusammenhang gebracht. Dies führt zu einer bewussten Wahrnehmung des gehörten Satzes.

Die zentralen Fragestellungen bei der Betrachtung der sprachlichen Informationsverarbeitung und der Entwicklung theoretischer Annahmen über die Sprachverarbeitung sind: Wird die Wahrnehmung seriell oder parallel ausgeführt? Kommt es beispielsweise zu einer simultanen Verarbeitung von Buchstaben und Wörtern, beziehungsweise Wörtern und Sätzen? Sind die Prozesse automatisch oder kontrolliert? Haben vorhandenes Wissen des Individuums, Erwartungen und Annahmen einen Einfluss auf die sensorische Wahrnehmung? In dieser vorliegenden Arbeit soll besonders interessieren, auf welcher Stufe im Informationsverarbeitungsprozess dieses Vorwissen in die Verarbeitung eingreift und diese beeinflusst.

Merkmale der akustischen Sprachverarbeitung

Bei der auditiven Sprachwahrnehmung stellt sich zunächst die Frage, wie sprachliche Laute entstehen und wie diese verarbeitet werden. Sprachliche Laute bestehen aus akustischen Sprachsignalen, die eingeteilt werden in Phoneme, phonetische Merkmale und das akustische Signal. Ein Phonem ist das kleinste lautliche Sprachsegment, das bedeutungsunterscheidend ist. Phoneme werden eingeteilt in Vokale und Konsonanten. Phonetische Merkmale sind jene physischen Bewegungen des Stimmtraktes, die die Erzeugung eines Phonems begleiten. Als akustisches (sprachliches) Signal wird das Schallsignal verstanden, das sich als zeitabhängiges Frequenz- und Intensitätsmuster beschreiben lässt und durch ein Schallspektrum abgebildet werden kann.

Phoneme werden wahrgenommen, indem die erzeugten Schalldruckschwankungen mit den verschiedenen Frequenzen und Amplituden vom auditiven System dekodiert und analysiert werden. Dabei wird der Sprachlaut als eine Serie von zeitlich aufeinander folgenden Schallwellen verarbeitet. Feine Unterschiede zwischen ähnlichen Mustern von Lauten werden dabei unterschieden. Verschiedene Phoneme werden auf diese Weise zu Phrasen oder Wörtern kombiniert. Die Analyse von Phonemsequenzen kann nur durch eine schnelle und zeitliche Analyse der Merkmale wie Amplituden und Pausen innerhalb des Lautspektrums realisiert werden (Goldstein, 1997). Die zeitliche Steuerung dieser Prozesse unterliegt internen Zeitverarbeitungsprozessen (Pöppel, 1994)². Als zentrale Hypothese für den Zusammenhang zwischen zeitlicher Informationsverarbeitung und der auditorischen Sprachverarbeitung wird angenommen, dass durch Oszillation neuronaler Strukturen mit einer Periodenlänge von ca. 20 – 40 ms modalitätsunabhängige Simultan-

² Pöppel (1994) geht davon aus, dass das zeitliche Erleben von der Wahrnehmung von Ereignisfolgen abhängt, die mit dem subjektiven Zeiturteil in eine Ordnung gebracht werden. Zeitliche Wahrnehmung wird so in das Erleben von Gleichzeitigkeit bzw. Ungleichzeitigkeit, dem Erleben von Folgen, der subjektiven Gegenwart und der subjektiven Dauer unterteilt.

zustände festgelegt werden, die die logischen Randbedingungen für die Sprachwahrnehmung und –verarbeitung darstellen (v. Steinbüchel, Wittmann & Pöppel, 1996).

Der Hörvorgang beginnt mit der Aufnahme von Schallereignissen, die in der Ohrmuschel gesammelt werden und über den Gehörgang das Trommelfell und die Gehörknöchelchen in Schwingungen versetzen (Goldstein, 1997, S. 326). In der Ohrschnecke, der Cochlea, erfolgt eine Umwandlung des Schalls in elektrische Impulse. In dieser Form werden sowohl Lautstärke als auch spektrale Eigenschaften des Signals kodiert. Die neuronalen Erregungsmuster werden über den Hörnerv und die verschiedenen Stationen der Hörbahn zum Corpus geniculatum mediale (CGM) des Thalamus geleitet und von dort weiter in die primären und sekundären kortikalen Areale weitergegeben, die für die auditive sprachliche Informationsverarbeitung zuständig sind (vgl. Lauer, 1999). Gehörte Sprache besteht aus akustischer Energie, die einen Frequenzbereich von 50 – 8000 Hz aufweist.

Wie genau werden akustische Laute miteinander kombiniert, so dass eine bedeutungsvolle Wahrnehmung entsteht? Die Mechanismen der auditiven Wahrnehmung sind bisher nicht so intensiv untersucht worden wie beispielsweise das visuelle System (vgl. Gazzaniga, 1998). Dennoch gibt es einige grundlegende Annahmen, die auf den Mechanismus der akustischen Verarbeitung schließen lassen.

In dem einflussreichen Artikel „Auditory Scene Analysis“ beschreibt Al Bregmann (1990), dass die Verarbeitung akustischer Reize auf die so genannten Gestalt-Gesetze der Wahrnehmung von Wertheimer (1923) und Koffka (1922) zurückzuführen sind, ähnlich wie bei der visuellen Wahrnehmung. Demnach werden akustische Signale in einem vorbewußten Prozess in Wahrnehmungsgruppen nach Gestalt-Kriterien unterteilt: nach der Ähnlichkeit (Frequenzbereich, Lautstärke) oder dem zeitlichen Bezug zwischen verschiedenen Signalen.

Einen Hinweis für eine mögliche Gruppierung oder Zusammenfassung akustischer Signale der gleichen Quelle lieferten die Studien zur so genannten Mismatch Negativity (MMN) (Näätänen, 1992; Ritter et al., 1995; Schröger, 1997). Näätänen beschreibt vor diesem Hintergrund, dass diese MMN als zeitliches Integrationsfenster auditiver Signale beschrieben werden kann (siehe auch: Cowan et al., 1982; Näätänen, 1992, 1995). Die MMN ist eine Komponente des ereigniskorrelierten Potentials, die während der Wahrnehmung abweichender Stimuli in einer Folge gleicher oder ähnlicher Reize entsteht. Die Negativität erreicht ihren Amplitudengipfel zwischen 100 – 200 ms nach Beginn des abweichenden Stimulus und ist vor allem frontozentral lokalisiert. Zur Ermittlung der MMN wurden sowohl einfache Töne als auch sprachliche Signale (Silben) verwendet (z. B. Näätänen, 1999). Unter bestimmten experimentellen Bedingungen konnte die Auslösung der Mismatch Negativity bei sprachlichen Reizen als Nachweis für das Vorhandensein eines zeitlichen Integrationsfensters herangezogen werden.

Im Folgenden soll die Frage erörtert werden, wie eine Kette von Lauten oder Schriftzeichen zusammengefügt wird, so dass eine Unterscheidung zwischen sinnvollem und sinnlosem Bedeutungsinhalt getroffen werden kann und ob es einen spezifischen Mechanismus für die Sprachverarbeitung gibt oder akustische Sprachsignale mithilfe von allgemeinen auditiven Mechanismen verarbeitet werden.

1.2.1 Modelle der Sprachverarbeitung

In der heutigen Psycholinguistik und Neurowissenschaft existieren verschiedene Vorstellungen darüber, wie sprachliche Signale verarbeitet werden. In diesem Unterkapitel werden verschiedene Theorien der Sprachverarbeitung vor dem Hintergrund wichtiger Forschungsfragen vorgestellt.

Gibt es einen spezifischen Sprachverarbeitungsmechanismus?

1.2.1.1 Die Motorische Theorie der Wahrnehmung (Lieberman et al., 1967)

Von einem spezifischen Verarbeitungsmechanismus der Sprachwahrnehmung, der sich von denen anderer auditiver Mechanismen unterscheidet, ging die Arbeitsgruppe um Alvin Liberman aus, die ihre motorische Theorie der Sprachwahrnehmung 1967 veröffentlichten. Grundlage dieser Ansicht ist, dass es eine Verbindung zwischen der Spracherzeugung und der Sprachwahrnehmung gibt: Während des Hörens von Sprachlauten wird eine neuronale Struktur aktiviert, die die Bewegungen des Stimmtraktes, die zur Erzeugung jener Signale führt, reproduziert. Diese Reproduktion ist nur für die akustische Wahrnehmung von Sprache spezifisch.

Gegen die Grundannahmen der motorischen Theorie der Sprachwahrnehmung, genauer des Rückschlusses über die Artikulationsgesten auf das akustische Ereignis, spricht nach Lindblom (1996), dass darüber die Redundanz des Signals nicht vollständig ausgenutzt wird und im Falle einer Hyper- oder Hypoartikulation keine erleichterte bzw. erschwerte Wahrnehmung stattfindet. Weiterhin sprechen gegen die alleinige Nutzung von Artikulationsinformationen der Bauchrednereffekt³ und das Erlernen des akustischen Klangs (und nicht der Artikulationsgesten) bei Patienten mit Artikulationsstörungen (Ohala, 1986). Weiterhin muss angefügt werden, dass mit Hilfe der motorischen Theorie Wahrnehmungsfehler (wie sie auch im McGurk-Effekt entstehen) nicht erklärt werden können.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die motorische Theorie wichtige Ansätze für die Untersuchung von Sprachwahrnehmung geliefert hat. Sie weist auf den Zusammenhang zwischen akustischen und visuellen Informationen beim Hören von Sprache

³ Der Bauchrednereffekt (Ventriloquismus) beinhaltet, dass eine falsche Positionierung eines Klanges (beispielsweise der zugeordneten „Stimme“ einer Handpuppe, welche aber durch wenig Lippen- und Mundbewegungen erzeugt wird) vom Gehirn des Rezipienten auf semantischer Ebene richtig gestellt wird: Die eigentlich vom „Bauchredner“ erzeugten Laute und Bewegungen des Mundes einer Handpuppe werden so wahrgenommen, als würde die Puppe „sprechen“. Chion (1994) beschreibt diesen Effekt als so genannte räumliche Magnetisierung, einer top-down Verarbeitung, die die inkongruenten motorischen und akustischen Informationen zusammenführt.

hin. Dies soll im Weiteren näher ausgeführt werden und wird im empirischen Teil dieser Promotionschrift nochmals aufgegriffen.

Empirische Belege für einen spezifischen Sprachverarbeitungsmechanismus

Die Befunde aus den Arbeiten zur kategorialen Wahrnehmung und der Vokaleinsatzzeit sowie die Arbeiten von McGurk und MacDonald (1976) können als Hinweise für das Vorhandensein eines spezifischen Sprachverarbeitungsmechanismus und der Interaktion von Informationen über die Spracherzeugung und der akustischen Signale herangezogen werden. Die Annahme der kategorialen Wahrnehmung ist, dass innerhalb jeder Sprache circa 30 – 40 verschiedene Phoneme genutzt werden (Lisker & Abramson, 1967). Phoneme sind demnach Kategorien der akustischen Wahrnehmung, welche in begrenzter Anzahl vorkommen. In diesem Zusammenhang ist eine weitere Eigenschaft des akustischen Sprachsignals beschrieben worden: die Vokaleinsatzzeit (VOT). Sie gibt die zeitliche Verzögerung zwischen dem Einsetzen eines Lautes und dem Beginn der Schwingungen der Stimmbänder an (Eimas und Corbit, 1973). Das Fehlen oder Vorhandensein eines Intervalls von 60 ms zwischen der Freigabe des Luftstroms (dem Öffnen des Vokaltraktes) und dem Einsetzen des Vokalisierens bestimmt, ob wir einen Konsonanten als stimmhaft oder stimmlos wahrnehmen. Verlängert man beispielsweise die VOT der Silbe /da/ um 30 – 50 ms, so ergibt sich daraus die Wahrnehmung der Silbe /ta/ (Eimas & Corbit, 1973). Bei hocharlernten Phonemen scheint es so, dass kleine Veränderungen im akustischen Signal keine Veränderung dieses Phonems ausmachen. Bei weniger frequenten Phonemen kann die Wahrnehmung bei kleinen Veränderungen derart beeinflusst werden, dass ein ganz anderes Phonem gehört wird. Die Theorie der kategorialen Wahrnehmung geht davon aus, dass Veränderungen innerhalb einer Phonemkategorie nicht wahrgenommen werden, jedoch Veränderungen von einem Phonem zum anderen (Masaro & Cohen, 1983). Die notwendigen unterscheidungsspezifischen Phonemkategorien werden beim Erwerb der Muttersprache in der Kindheit ausgebildet und sind kultur- und sprachspezifisch, die gleichen Phoneme haben in unterschiedlichen Sprachen unterschiedliche Vokaleinsatzzeiten (Lisker & Abramson, 1967). Weiterhin gibt es so genannte tonale Sprachen (Kantonesisch, Mandarin), bei denen die Unterscheidung kleinster Veränderungen der Tonhöhe und der Frequenz eines Phonems wichtig für die Bedeutung eines Wortes sind. Jene Unterschiede der Phoneme würden in anderen Sprachen wiederum nicht wahrgenommen werden können. Diese unterschiedlichen Beobachtungen würden bedeuten, dass die (kategoriale) Sprachwahrnehmung durch erlerntes Wissen und Konzepten beeinflusst wird. In welchem Zeitbereich diese top-down Beeinflussung während der Wahrnehmung sprachlicher Laute einsetzt, soll in der vorliegenden Arbeit erörtert werden.

Ein weiterer Beleg für die Annahme, dass die Sprachverarbeitung spezifisch ist und dass die Wahrnehmung sprachlicher Laute durch visuelle Informationen über die Bewe-

gungen des Stimmtraktes beeinflusst werden können, zeigten McGurk und MacDonald (1976) mit dem nach ihnen benannten McGurk-Effekt. Dieser Effekt beschreibt den Einfluss visueller sprachlicher Informationen auf die akustische Wahrnehmung von Sprachreizen. Den Probanden wird akustisch die Silbe /ba/ dargeboten, während ihnen ein Sprecher gezeigt wird, der die Silbe /da/ spricht. Daraus ergibt sich bei den Probanden die Wahrnehmung der Silbe /ga/, was darauf hinweist, dass akustische und visuelle Informationen über die Sprechbewegungen miteinander interagieren und zu einem zusammengefassten Perzept führen. Auf dieses Phänomen wird später genauer eingegangen.

Wie kommt es zu einer Wahrnehmung von bedeutungsvollem und bedeutungslosem Inhalt? Der Einfluss von Vorwissen und Konzepten

Die Wahrnehmung sprachlicher Informationen wird entscheidend von Vorwissen, Erwartungen und Hypothesen über die wahrzunehmenden Phoneme bestimmt, die aufgrund des vorher Gehörten und des Wissens über Phonemkategorien und –kombinationen entstehen.

Der sogenannte Phonemergänzungseffekt nach Richard Warren (1970) zeigt, dass akustisch präsentierte Wörter immer noch verstanden werden, obwohl einzelne Phoneme durch ein Hustengeräusch ersetzt wurden. Die Probanden konnten die Wörter nicht nur richtig verstehen sondern berichteten sogar, das Hustengeräusch nicht bemerkt zu haben, sondern jene ersetzten Phoneme, die tatsächlich gar nicht dargeboten wurden. Dies bedeutet, dass innerhalb des Gehirns mit Hilfe des Wissens über die akustischen Merkmale der Phoneme und deren Reihenfolge in einem bestimmten Wort die fehlenden Informationen ausgefüllt werden, so dass die Wahrnehmung eines unveränderten Wortes entsteht. Samuel (1981) konnte diese Befunde replizieren. Er ersetzte einzelne Phoneme durch weißes Rauschen und beobachtete, dass der Phonemergänzungseffekt stärker auftritt, wenn das maskierte Phonem in einem langen Wort beziehungsweise in einem echten Wort im Vergleich zu einem Pseudowort⁴ erscheint (Samuel, 1991).

In diesem Zusammenhang ist von Warren und Warren (1970) auch untersucht worden, wie sich die Wahrnehmung eines Wortes mit fehlendem Anfangsbuchstaben ändert, wenn es mit unterschiedlichen Satzinhalten dargeboten wird: Der Satz „Nun kam der Augenblick zu *inken.“ konnte mit den Wörtern *winken, trinken, sinken, hinken* oder *schminken* vervollständigt werden, wobei die meisten Probanden angaben, das Wort *winken* zu hören, wenn es im Rest des Satzes um die Verabschiedung eines Freundes ging. Jenachdem welches die wahrscheinlichste Endung des Satzes ist, wird die Wahrnehmung eines bedeutungstragenden maskierten Phonems beeinflusst.

⁴ Ein Pseudowort oder Nichtwort ist eine Anordnung von Phonemen, die den phonologischen Regeln entsprechend gebildet werden, aber keine inhaltliche Bedeutung innerhalb der Muttersprache besitzen.

Zusätzliche Hinweise für die Notwendigkeit einer kognitiven Kontrolle während der Wahrnehmung sprachlicher Informationen sind folgende Überlegungen:

- Variabilität: Die meisten Wörter werden auf verschiedene Weise phonetisch realisiert, was durch die Vielzahl an unterschiedlichen Sprechern mit jeweils individuellen Stimm- und Sprechapparaten, aber auch unterschiedlicher Sprechgeschwindigkeit, Einfluss des gelernten Dialektes oder zusätzlichen Hintergrundgeräuschen hervorgerufen wird. Mit dem vorhandenen Wissen über Phoneme und sprachliche Einheiten können diese Unterschiede ausgeglichen werden.
- Invarianz: Der Kontext eines Wortes oder eines Satzes bestimmt die Realisierung des akustischen Signals für ein Phonem, z. B. hängt die Aussprache des Buchstaben /d/ davon ab, ob es am Anfang, in der Mitte oder am Ende des Wortes erscheint und welche Buchstaben ihn umgeben.
- Segmentierung: Innerhalb des akustischen Sprachflusses existieren keine realen Pausen zwischen den Wörtern. Möglicherweise erfolgt die interne Wahrnehmung jener Pausen durch Konzepte über einzelne Worte und Wortkombinationen und phonologische Regelmäßigkeiten (z.B. Juszyk et al., 1993).
- Wortüberlegenheitseffekt (Rumelhart & Ortony 1977): Ein Buchstabe wird innerhalb eines Wortes schneller und korrekter wiedererkannt als in einem Pseudowort oder isoliert.
- Satzüberlegenheitseffekt: Ein Wort wird innerhalb eines sinnvollen Satzes eher erkannt als ohne einen Satz.

Wie genau findet die Integration vorhandener Konzepte über sprachliche Einheiten statt? An dieser Stelle sollen weitere prominente Modelle sprachlicher Informationsverarbeitung aufgeführt werden.

1.2.1.2 Das Kohortenmodell der auditiven Worterkennung (Marslen-Wilson & Tyler, 1980)

Marslen-Wilson & Tyler kamen 1975 mit Hilfe der Experimente zum sofortigen Nachsprechen („shadowing“) zu der Annahme, dass die sprachliche Wahrnehmung eine ständig fortlaufende Integration zwischen sensorischen Reizen und wissensgesteuerten Vorgaben ist. Sie konnten zeigen, dass eingestreute Aussprachefehler im Ausgangssignal beim Nachsprechen häufig in die richtige Form umgewandelt werden. Die Interaktion zwischen sensorischen und wissensbasierten Informationen erfolgt über eine genaue Anpassung zwischen Sprachsignalen und deren lexikalische Repräsentationen im mentalen Lexikon (siehe unten).

Die Ergebnisse ihrer Untersuchungen führten zur Entwicklung des Kohorten-Modells der auditiven Worterkennung. Demnach verläuft das Verstehen gesprochener Wörter über drei Stufen. Zunächst werden die Schallsignale einer akustisch-phonetischen Analyse

unterzogen, wobei eine bestimmte Menge an lexikalisch relevanten Kandidaten („Kohorte“) aktiviert wird, die mit dem gleichen Laut wie das wahrgenommene Merkmal beginnen. Mit Hilfe des Selektionsprozesses werden einige Mitglieder dieser Kohorte aus der vorangegangenen Analyse ausgewählt, andere werden eliminiert - in Abhängigkeit von weiteren sensorischen Informationen (Abbildung 2). Für die Auswahl sind Eigenschaften wie der phonetische Input, Häufigkeiten des Auftretens bestimmter Wörter oder der Satzkontext entscheidend. In der dritten Verarbeitungsebene wird das ausgewählte Wort in den gerade ablaufenden semantischen und syntaktischen Kontext integriert. Es wird jenes Wort aus der Kohorte gewählt, das am ehesten mit den sensorischen Informationen und wissensbasierten Konzepten zusammenpasst. Aus den Nachsprechexperimenten (Marslen-Wilson & Tyler, 1975) konnte gezeigt werden, dass diese Auswahl eines Kandidaten erfolgt sein kann, noch bevor das Wort zu Ende gesprochen wurde. Demzufolge kann das Ende eines Wortes mit Hilfe des frühen lexikalischen Zugriffs „vorhergesagt“ werden, was die Grenzen zwischen Wörtern wahrnehmbar macht und eine Lösung für das Segmentierungsproblem der Sprachwahrnehmung liefert.

[ɛ]	[ɛl]	[ɛle]	[ɛlef]
Eingang			
einzel			
Eimer	älter		
	Eltern		
Eltern	Element	Element	
Element	elementar	elementar	Elefant
elementar	Ellenbogen	Elefant	
Elefant	Elefant		
	Elfen		
extravagant			
...	...		

Abbildung 2: Die Auswahl eines Wortes nach dem Kohortenmodell für das Beispielwort „Elefant“ (hier nach Massaro, 1994)

Grundlage dieser Vorstellung von Sprachverarbeitung ist die Annahme eines mental existierenden Lexikons (Morton, 1979; Förster, 1976; Levelt, 1989) in dem phonologisches, syntaktisches, morphologisches und semantisches Wissen wie in einem Netzwerk gespeichert ist (Colin & Loftus, 1975). Das semantische Netzwerk ist in konzeptuellen Knoten miteinander verbunden, deren Stärke und Entfernung voneinander durch semantische Beziehungen zwischen den Wörtern determiniert werden: Wird ein Wort aktiviert, greift diese Aktivierung auch auf benachbarte, semantisch assoziierte Knoten über. Der Zugriff auf die Einheiten des Lexikons erfolgt über verschieden definierte linguistische Eigenschaften, wie phonetische Eigenschaften (Marslen-Wilson, 1987), phonologische Eigenschaften (Lahiri & Marslen-Wilson, 1991), Phoneme (Foss & Gernsbacher, 1983; Pisoni

& Luce, 1987) oder ganze Silben (Cutler et al., 1987)⁵. Eine Untermauerung für das Vorhandensein eines mentalen Lexikons lieferten so genannte Bahnungsexperimente (Priming-Experimente). Hier konnte gezeigt werden, dass Versuchspersonen schneller und akkurater in der Worterkennung sind, wenn das Zielwort in semantischer Beziehung zum Bahnungswort (vorangehenden Wort) steht: Z.B. wird das Wort „Tulpe“ eher und besser erkannt, wenn zuvor das Wort „Blume“ dargeboten wird, im Vergleich zum Primewort „Autobahn“ (Posner & Snyder, 1974; Neely, 1991).

Aufgrund des Vorhandenseins abgespeicherter lexikalischer Einheiten, auf die während der Wahrnehmung zurückgegriffen werden kann, steht das Variabilitätsproblem der Sprachwahrnehmung nicht zur Diskussion. Ebenso wenig ist die Invarianz ein Problem, da Phoneme in unterschiedlichen Zusammensetzungen innerhalb der Kandidaten abgespeichert werden und eine Auswahl der Kandidaten über die dargebotenen sensorischen Informationen erfolgt.

Die Annahmen des Kohortenmodells müssen allerdings kritisch betrachtet werden: So muss man davon ausgehen, dass Wörter, deren Anfang unverständlich gesprochen werden oder durch zusätzliches Rauschen verändert sind, gar nicht erkannt werden können, da keine Kohorte- oder die falsche Anfangskohorte ausgewählt wird. Weiterhin kann das Modell nicht erklären, warum hochfrequente Wörter eher erkannt werden als niedrigfrequente Wörter.

Ganong (1980) beobachtete, dass bei der Darbietung des Pseudowortes „Klas“ die meisten Versuchspersonen dazu tendierten, das Wort „Glas“ wahrzunehmen, obwohl nach dem Kohortenmodell Kohorten mit dem Anfangsbuchstaben „K“ aktiviert werden sollten⁶. Der Befund aus dem Experiment von Ganong (1980) macht deutlich, dass mit der alleinigen Annahme des Kohorten-Modells ein höheres Risiko von Wahrnehmungsfehlern entsteht, da in diesem Modell eine Rückkopplung vorhandenen Wissens auf die sensorischen Merkmale der Anfangsphoneme nicht erfolgt. Hierbei stellt sich allerdings die Frage, ob eine Kohorte bei hochfrequenten, kurzsilbigen Wörtern überhaupt hervorgerufen wird, oder anders ausgedrückt, findet die Wahrnehmung eines Wortes immer notwendigerweise über die Auswahl verschiedener Kohorten statt? Auf diese Frage wird im empirischen Teil dieser Arbeit genauer eingegangen.

Marslen-Wilson und Tyler geben jedoch zusätzlich an, dass das Kohortenmodell auch bei der Verarbeitung ganzer Sätze angewendet werden kann und die semantischen Informationen aus dem Satz Einfluss auf die Auswahl einer Kohorte haben können.

1.2.1.3 Das TRACE-Modell der Wahrnehmung (McClelland & Elman, 1986)

⁵ Die Wörter dieses Lexikons werden nicht nur durch akustisch - phonemische Informationen (gesprochene Sprache) aktiviert, sondern auch visuell-graphemische Reize (geschriebene Sprache) - das mentale Lexikon existiert demnach für beide Modalitäten der Sprachwahrnehmung.

⁶ In der Originalarbeit nutzte Ganong englische Begriffe, beispielsweise „dype“, was als „type“ wahrgenommen wurde.

Im Gegensatz zum Kohortenmodell machten verschiedene Studien deutlich, dass ein Einfluss vorhandener Konzepte (top-down) schon auf der Ebene des lexikalischen Zugriffs stattfindet. Experimente zur Phonemerkennung zeigten eine deutlich bessere und schnellere Erkennensleistung für Wörter im Vergleich zu Nichtwörtern (Rubin et al., 1976; Cutler, Norris & Williams, 1987). Weiterhin ist der Phonemergänzungseffekt bei Wörtern stärker ausgeprägt als bei Nichtwörtern (Samuel, 1997).

Das offensichtliche Fehlen einer Rückkopplung vorhandener Wissensstrukturen auf die lexikalische Auswahl möglicher Kandidaten auf früher Ebene des Wahrnehmungsprozesses im Kohortenmodell veranlasste McClelland und Elman 1986 zur Entwicklung eines interaktiven Konnektionsmodells der Worterkennung, das auf der Annahme neuronaler Netzwerke beruht. In diesem so genannten TRACE-Modell werden drei Ebenen der Verarbeitung unterschieden: phonologische Merkmalsebene, Phonemebene und die Wortebene. Diese Ebenen sind simultan aktiv und interagieren miteinander. Das bedeutet, die Aktivierung verläuft aufwärts und abwärts zwischen den Verarbeitungsebenen. Ein Sprachsignal wird beispielsweise auf der ersten Ebene abgebildet, die phonologische Eigenschaften enthält. Je besser ein bestimmtes Merkmal zum Sprachsignal passt, umso stärker wird jene Repräsentation aktiviert und an die Phonemebene weitergeleitet. Diese wiederum aktiviert diejenigen Worteinheiten, in denen die Phoneme enthalten sind. Je stärker (abhängig von einem hypothetischen Schwellenwert) eine ganz bestimmte Kombination von Phonem- und Worteinheiten ist, umso wahrscheinlicher wird dieses spezielle Wort wahrgenommen. Sobald eine Wortrepräsentation aktiviert ist, aktiviert sie rückwirkend die in ihr enthaltenen Phoneme. Mit dieser lexikalischen Rückkopplung wird einerseits die Identifikation von Phonemen (z. B. innerhalb eines Rauschens) erleichtert, andererseits können durch die Veränderung des prälexikalischen Inputs Wahrnehmungstäuschungen entstehen (Massaro, 1989), wie es im Phonemergänzungseffekt gezeigt werden konnte. Der Einfluss des Kontextes im fortlaufenden Sprachfluss wird dadurch deutlich, dass Verbindungsstärken zwischen verschiedenen Merkmalen und Phonemen moduliert werden: Bei einem Kontext, der auf die Wahrnehmung eines bestimmten Phonems hindeutet, werden Verbindungen zu den Merkmals- und Phonemebenen dieses Phonems gestärkt, die Aktivierungsschwelle wird herabgesetzt.

Das Modell erklärt nicht, wie Wörter identifiziert werden, wenn die Phoneme falsch ausgesprochen werden. Ein falsch ausgesprochenes Wort müsste demnach ein falsches Netzwerk an Inputphonemen aktivieren und der Fehler kann nicht korrigiert werden, da die top-down Rückkopplung die Phonemebene fälschlicherweise modifiziert und ein Abbild der sensorischen Informationen auf der Phonemebene nicht mehr vorhanden ist.

Goldmann, Frauenfelder & Content (1998) gehen davon aus, dass die lexikalische Aktivierung wie sie im TRACE-Modell beschrieben ist, in jedem Fall nicht allein ausreicht, um ein Wort richtig zu erkennen. Zusätzlich ist TRACE nicht in der Lage, das Segmentierungsproblem zu lösen oder die gleich bleibende Wahrnehmung von Wörtern zu erklären, die in unterschiedlicher Sprechgeschwindigkeit und mit unterschiedlichen

Sprechermerkmalen (Geschlecht, Akzent usw.) dargeboten wurden (Protopapas, 1999). Die Wiederholung bzw. Rückkopplung der Aktivierung auf jeder Verarbeitungsebene scheint biologisch unvorteilhaft zu sein, zumindest was das Wiedererkennen von Wörtern betrifft. Im Falle des Lernens von Wörtern ist die Wiederholung eine wichtige Eigenschaft (Grossberg, 1986).

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass TRACE das erste wichtige konnektionistische Modell der Sprachverarbeitung darstellt, das von einer parallelen und interaktiven Verarbeitung ausgeht. Die verschiedenen genannten Nachteile des Modells (für einen Überblick siehe Protopapas, 1999; Norris, McQueen und Cutler, 2000) stellen die Grundlage der Entwicklung weiterer Modelle der Sprachverarbeitung dar, die an dieser Stelle kurz erwähnt werden.

Als erstes sei das so genannte RACE-Modell oder „Pferderennen“-Modell (Cutler & Norris, 1979) genannt, das davon ausgeht, dass prälexikalische und lexikalische Prozesse gleichzeitig parallel nebeneinander laufen, wobei die lexikalische Repräsentation von der phonologischen Form des Wortes unabhängig ist (und somit Wörter noch verstanden werden, obwohl diese falsch ausgesprochen werden). Das Ausmaß an lexikalischen Informationen erhöht die Geschwindigkeit der Verarbeitung eines Wortes, was erklärt, warum Wörter eher als Nichtwörter erkannt werden. Letztere sind allein von der Verarbeitung der prälexikalischen Route abhängig⁷.

Hinsichtlich der Überlegung, inwiefern und an welcher Stelle lexikalische Informationen die prälexikalischen beeinflussen, ist letztlich das so genannte „Merge“-Modell von Norris, McQueen und Cutler (2000) diskutiert worden. Dabei wird davon ausgegangen, dass das lexikalische Wissen die Wahrnehmung eines Wortes beeinflussen kann, ohne die phonematischen Informationen auf der prälexikalischen Ebene zu manipulieren. Naheliegender scheint den Autoren eine Entscheidungsebene, die sowohl Informationen aus lexikalischen (wissensbasierten) als auch prälexikalischen (sensorischen) Ebenen erhält. Empirische Belege stehen hier jedoch noch aus. Das Merge-Modell scheint besonders relevant bei der Wahrnehmung von ambigen Wörtern innerhalb ganzer Sätze zu sein (van Alphen & McQueen, 2001).

Das Zusammenspiel zwischen hypothesengeleiteten Informationen und sensorischen Eingangssignalen während der Sprachwahrnehmung wird innerhalb der adaptiven Resonanztheorie (ART) nach Carpenter und Grossberg (1991) anschaulich dargestellt (Abbildung 3). Die Autoren gehen davon aus, dass die von den Sinnesorganen aufgenommenen Informationen der Ebene *I* auf der Ebene *F1* abgebildet werden, die von der Aufmerksamkeitssteuerung (*G*) abhängig ist. Durch die Aufmerksamkeit werden übergeordnete Muster auf der Ebene *F2* aktiviert, die Erwartungen, Vorwissen und

⁷ Die Annahme so genannter „Routen“ bei der Verarbeitung geht teilweise mit den Annahmen aus der Psycholinguistik einher: Hierbei werden die lexikalisch-semantische Route, die lexikalisch-nicht-semantische Route und die nichtlexikalisch/sublexikalische Route voneinander unterschieden, letztere erklärt die Wahrnehmung von Nichtwörtern.

Annahmen über den Inhalt des sensorischen Inputs enthalten. Auf diesem Wege erhält die Ebene $F1$ zusätzlich Informationen von einer übergeordneten Ebene $F2$. Wenn der Input der Ebene $F1$ mit den erwarteten Mustern der Ebene $F2$ zusammenpasst, dann erhält der Aktivierungsknoten auf $F1$ einen überschwelligen Impuls, der zu einer eindeutigen Wahrnehmung führt. Kommt es allerdings zu einer Unstimmigkeit zwischen beiden Ressourcen, wird durch Aufmerksamkeit die Aktivierungsschwelle von $F1$ moduliert, was das Lernen neuer, unbekannter Informationen begünstigt.

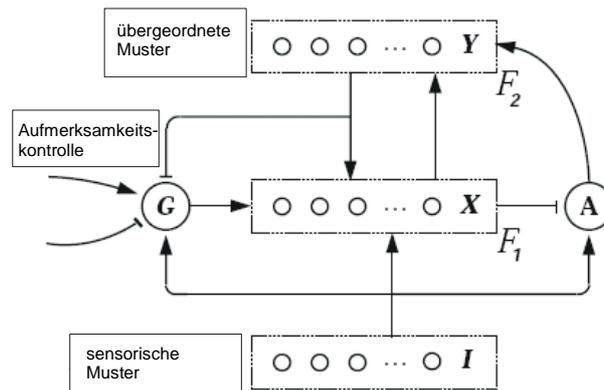


Abbildung 3: Das adaptive Resonanzmodell nach Carpenter und Grossberg (1991). Auf der vorbereiteten Ebene $F1$ werden sensorische Merkmale des sensorischen Inputs abgebildet, welche das Kurzzeitgedächtnis (A) und die Aufmerksamkeitskontrolle (G) aktivieren. Auf der übergeordneten Ebene $F2$ sind Muster aus dem Langzeitgedächtnis gespeichert, die mit den sensorischen Mustern auf der Ebene $F1$ verglichen werden, X und Y stehen hier für ganz spezielle Musterkombinationen, die sich aus dem Vergleich zwischen sensorischen Mustern und dem Langzeitgedächtnis ergeben. Die Muster auf $F2$ hemmt die Aufmerksamkeitskontrolle G und projiziert gelernte top-down Muster auf $F1$; die Aktivierung auf $F1$ wird dann geringer, wenn die top-down Erwartung nicht mit den sensorischen Mustern übereinstimmen.

Wann setzt eine wissensbasierte kognitive lexikalische Korrektur ein?

Nach den verschiedenen angeführten Studien zur Phonemerkennung und Phonemergänzung bei Wörtern und Nichtwörtern kann in jedem Fall angenommen werden, dass eine lexikalische Beeinflussung oder kognitive Kontrolle der sensorischen Informationen vorbereitend, präattentiv stattfindet. Letztere Annahme ist jedoch nach wie vor umstritten. Die dargestellten Modelle merken an, welche Vor- und Nachteile dieser Interaktion zwischen daten- (bottom-up) und wissensbasierten (top-down) Informationen inne wohnen.

Zusammenfassend sollen die eingangs erwähnten Fragen zur Sprachwahrnehmung mit den verschiedenen Modellen beantwortet werden.

Tabelle 1: Gegenüberstellung der vorgestellten Modelle des Sprachverstehens im Hinblick auf wichtige Fragen der Informationsverarbeitung

	Kohortenmodell	TRACE	Merge
Verläuft die sprachliche Informationsverarbeitung seriell oder parallel?	seriell, später parallel	Parallel	Parallel
Sind die Prozesse autonom oder kontrolliert?	autonom; bei der Auswahl des letzten Kandidaten kontrolliert- beides, je nachdem, ob ein Satz zusätzliche Informationen liefern kann	Kontrolliert	kontrolliert
Gibt es einen Einfluss wissensbasierter/lexikalischer Informationen?	Beeinflussung auf späteren Verarbeitungsebenen Wörter werden schneller erkannt, wenn mehr Informationen da sind, die eine genauere Auswahl einer Kohorte treffen	Beeinflussung lexikalischer Informationen auf untersten/frühesten Wahrnehmungsebenen	Parallele Verarbeitung prälexikalischer und lexikalischer Informationen

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass das Verstehen sprachlicher Informationen nach komplexen neuronalen Verarbeitungsmechanismen abläuft und zu verschiedenen Ansichten über diese Abläufe im Laufe der letzten 30 Jahre der Sprachforschung geführt hat. Die meisten Modelle gehen davon aus, dass akustische sprachliche Signale zunächst in prälexikalische Repräsentationen umgewandelt werden, die als Zugang zu abgespeicherten lexikalischen Wissensstrukturen genutzt werden. Bisher ist unklar, wie diese Repräsentationen gebildet werden und wie sich die unterschiedlichen Prozesse bei der Identifikation beeinflussen. Möglicherweise kann man annehmen, dass für die Identifikation eines Wortes unter verschiedensten Bedingungen sowohl das Wissen über die Aussprache von Lauten und Wörtern (motorische Theorie nach Liberman, 1967) als auch lexikalisches Wissen (Phonemergänzungseffekt nach Warren, 1970; Samuel, 1981) und phonotaktisches Wissen (Massaro und Cohen, 1983) behilflich sein kann.

Wie genau Vorwissen, Erwartungen und abgespeicherte Konzepte über sprachliche Einheiten und Wörter die Wahrnehmung beeinflussen, soll Gegenstand der hier vorliegenden Arbeit sein. Um einen Einblick in die zeitlichen Abläufe dieser Interaktion sensischer und wissensbasierter Informationen zu erhalten, wird in dieser Arbeit die Methode der ereigniskorrelierten Potentiale angewandt, welche im anschließenden Kapitel zunächst erläutert wird.

1.3 Das ereigniskorrelierte Potential zur Untersuchung sprachlicher Informationsverarbeitung

In diesem Kapitel werden die Grundlagen der Methode der ereigniskorrelierten Potentiale dargestellt sowie die Vor- und Nachteile diskutiert. Anschließend werden die wichtigsten elektrophysiologischen Korrelate der akustischen Verarbeitung und des Sprachverstehens vorgestellt.

1.3.1 Das Elektroenzephalogramm (EEG)

Im Jahre 1929 publizierte der Jenaer Mediziner Hans Berger den Artikel „Über das Elektroenzephalogramm des Menschen“, in dem er über die Messung elektrischer Hirnaktivität auf der Kopfoberfläche des Menschen berichtete. Im Laufe der folgenden Jahre ist die Methode weiter entwickelt worden und spielt bis heute eine große Rolle in der Diagnostik und Erforschung neurologischer Krankheiten. Sehr früh konnte damit erkannt werden, dass zum Beispiel im Schlaf eine größere Synchronizität der Hirnaktivität vorhanden ist, mit Zunahme der mentalen Beanspruchung nimmt der Grad der Synchronizität ab.

Das elektrische Signal des EEGs spiegelt die Spannungsschwankungen der Großhirnrinde wider, die durch die EPSP (exitatorisch postsynaptischen Potenzialen) und IPSP (inhibitorisch postsynaptischen Potenzialen) an den Dendritenbäumen der Pyramidenzellen verursacht werden. Der Zusammenhang zwischen der neuronalen Aktivierung und dem, was über der Kopfoberfläche gemessen wird, ist nicht völlig geklärt (Coles & Rugg, 1996). Es wird angenommen, dass es sich um Ladungsverteilungen im extrazellulären Raum der Pyramidenzellen handelt. Es kommt zu einer Ladungsasymmetrie von exzitatorischen und inhibitorischen Potenzialen, die bei jeder einzelnen Nervenzelle und auch synchron bei einer großen Anzahl von Neuronen vorliegen. Negative Potenzialabweichungen reflektieren demnach erregende postsynaptische Potentiale, positive Abweichungen hemmende Potentiale. Weiterhin geht man davon aus, dass der zeitliche Rhythmus der Depolarisation vom Thalamus gesteuert wird. Um diese Signale an der Kopfoberfläche messen zu können, bedarf es eines genügend starken Signals. Dies wird zum einen erreicht durch die synchrone Aktivität mehrerer Neuronengruppen und zum anderen durch die senkrecht zur Kopfoberfläche ausgerichtete Anordnung der Pyramidenzellen. Mit Hilfe der Pyramidenzellen werden Aktivitäten von Neuronen aufsummiert und weitergeleitet, was zu den gemessenen Feldpotenzialen führt (Coles & Rugg, 1996). Da sich die Aktivitäten verschiedener neuronaler Generatoren überlagern, kann bei einer Aktivität an einem Ableitungspunkt an der Oberfläche nicht eindeutig auf die Anzahl und Struktur der neuronalen Generatoren rückgeschlossen werden. Die hieraus resultierende mangelnde räumliche Zuordnung kognitiver Prozesse muss als Nachteil elektrophysiologischer Methoden angesehen werden.

1.3.2 Das ereigniskorrelierte Potential

Neben der Ermittlung von Korrelationen zwischen EEG-Frequenzen und unterschiedlichen Aufmerksamkeitszuständen hat sich die Methode der ereigniskorrelierten Potentiale etabliert. Dabei wird die EEG-Aktivität auf einen bestimmten Stimulus oder ein Ereignis zeitlich bezogen.

Ereigniskorrelierte Potentiale sind an wiederholte, zeitlich exakt fixierbare Ereignisse mit ähnlichen Charakteristika gebunden (Rösler, 1982; Münte et al., 2000). Ein Ereignis kann in diesem Zusammenhang nicht nur ein externer Stimulus (ein dargebotener Ton oder ein Bild), sondern auch eine Reaktion auf diesen Stimulus sein, eine Erwartung oder Antizipation eines Ereignisses (Münte et al., 2000).

Mit $\pm 1-30 \mu\text{V}$ ist die Amplitude des ereigniskorrelierten Potentials wesentlich geringer als die des EEG und muss daher aus dieser „Grundaktivität“ herausgelesen werden. Das Verhältnis zwischen interessierender Aktivität des EKPs und der Grundaktivität des EEGs mit zugehörigen Artefakten wird Signal-Rausch-Verhältnis genannt. Ziel ist es, dieses Verhältnis zugunsten eines sauberen EKP-Signals zu verändern. Dies geschieht zum einen nach den Korrekturen möglicher Artefakte, die das Signal stören können, also einer Frequenzfilterung und der Augenartefaktkorrektur. Weiterhin werden jene Potentiale zusammen gemittelt, die nach einem bestimmten Ereignis aufgetreten sind. Eine Mittelung dieser Potentiale erhöht das Signal-Rausch-Verhältnis, da man davon ausgeht, dass das Rauschen im Signal zufällig verteilt ist. Im Allgemeinen geht man davon aus, dass mindestens 30 – 50 Ereignisse einer Bedingung dargeboten werden sollten, um von einem ausreichenden großen Signal-Rausch-Verhältnis innerhalb der Auswertung des Potentials ausgehen zu können (Coles & Rugg, 1996).

Die EKP-Mittelung geschieht immer relativ zu einer Grundlinie, einem Zeitbereich, der möglichst kurz vor dem experimentell interessierenden Zeitbereich liegen und in dem es möglichst keine systematischen Unterschiede zwischen den experimentellen Bedingungen geben sollte (Kutas & Van Petten, 1994). Die mittlere Amplitude dieser Grundlinie wird als $0 \mu\text{V}$ definiert.

EKP- Komponenten

Die ereigniskorrelierten Potentiale sind aus verschiedenen Komponenten beschrieben werden, die sich in unterschiedlichen Merkmalen voneinander unterscheiden. Eine universell akzeptierte Definition einer elektrophysiologischen Komponente gibt es nicht. Donchin, Ritter und MacCallum (1978) schlagen vier Kriterien vor, mit denen man verschiedene Komponenten voneinander unterscheiden kann.

- a) Polarität: Richtung der Auslenkung der gemessenenen Aktivität relativ zu einer anderen Bedingung.

- b) Latenz: Zeitspanne zwischen der Darbeitung eines Reizes und der maximalen Ausprägung des Potentials (Gipfellatenz), wohingegen die Onsetlatenz die Zeitspanne bis zum Beginn der Abweichung von einer Vergleichsbedingung angibt.
- c) Topographie: Ort oder die Elektrodenposition, an denen die Abweichungen maximal sind.
- d) Sensitivität: gegenüber verschiedenen experimentellen Bedingungen.

Es wird in der EKP-Forschung zwischen zeitlich frühen, mittleren und späten Komponenten unterschieden. Dabei reflektieren frühere Komponenten (bis 100 ms nach dem Beginn des Ereignisses) weitgehend die physikalischen Eigenschaften des Stimulus (Lautstärke, Farbe, Frequenz, etc.) und werden daher als exogen bezeichnet, während späte Komponenten (> 100 ms) endogene psychologische Verarbeitungsfaktoren (Münze und Heinze, 1990) widerspiegeln. Letztere können sich über mehrere hundert Millisekunden erstrecken und reflektieren möglicherweise komplexe Prozesse der Informationsverarbeitung und Verhaltenssteuerung.

Die ermittelten Aktivitäten und deren Unterschiede zwischen verschiedenen experimentellen Bedingungen müssen dahingehend interpretiert werden, ob sie tatsächlich (verschiedene) kognitive Aktivitäten widerspiegeln. Dazu muss zum einen feststehen, dass die Bedingungen auch zu einer statistisch reliablen unterschiedlichen Ausprägung der Potentiale führen. In diesem Zusammenhang richtet sich diese Analyse auf die Untersuchung der Unterschiede in den genannten Merkmalen von Komponenten (Unterschiede in der Ausprägung der Amplitude, des Beginns der Amplitude, der Dauer und der räumlichen Verteilung zwischen den Bedingungen: Coles & Rugg, 1996; Picton et al., 2000).

Der Vorteil der Methode der ereigniskorrelierten Potentiale für die Untersuchung kognitiver Funktionen liegt in ihrer zeitlichen Genauigkeit. Dies lässt eine Beobachtung der interessierenden kognitiven Prozesse über die Zeit hinweg zu. Aus diesem Grunde dient diese Methode in der vorliegenden Arbeit der Untersuchung von Sprachverarbeitung unter verschiedenen Bedingungen.

Als nachteilig an dieser Methode ist anzuführen, dass sie aufgrund der Art der Ableitung weniger genaue Informationen über die räumlich lokalisierte Verarbeitung von kognitiven Tätigkeiten liefert (Garnsey, 1993). Da es sich um eine Aufsummierung der Aktivierung handelt, kann kein direkter Zusammenhang zwischen dem zeitlichen Verlauf des Ausschlages einer Komponente und der ihr zugeordneten kognitiven Prozesse gezogen werden. Neuronale Prozesse, die sich nicht aufsummieren lassen und demzufolge nicht an der Oberfläche messbar sind, können mit dem EKP nicht abgebildet werden.

1.3.3 EKP und Sprachverarbeitung

Die Nutzung der Methode des ereigniskorrelierten Potentials zur Untersuchung von Sprachwahrnehmung wird innerhalb der neurowissenschaftlichen Kognitionsforschung schon lange angewandt.

Im Folgenden werden Komponenten beschrieben, die mit der Verarbeitung sprachlicher Informationen in Zusammenhang stehen und wesentlicher Bestandteil der empirischen Untersuchungen sind.

Die frühen sensorischen Komponenten

Die Verarbeitung von Sprachsignalen schlägt sich zunächst in den frühen sensorischen Komponenten nieder, also dem N1-P2-Komplex, abhängig davon, ob sie in akustischer oder visueller Modalität präsentiert wird.

Die N100-Komponente geht vom auditorischen Kortex aus (Pantev et al., 1995, Woldorff et al., 1993;) und ist gekennzeichnet durch einen steilen Gipfel zwischen 90 und 120 ms und wird durch eine Positivität zwischen 120 und 200 ms abgelöst (P200). Das aufeinanderfolgende Auftreten dieser beiden Komponenten wird deshalb auch N1-P2-Komplex bezeichnet (Alain, Woods & Covarrubias, 1997). Die N100-Komponente reagiert sensitiv auf Merkmale auditorischer Reize wie Lautstärke und Frequenzbereich (Picton & Hillyard, 1974; Picton et al., 1978). Die N100 und P200 repräsentieren möglicherweise auch die Integration von Merkmalen wie zeitliche und räumliche Aspekte eines akustischen Reizes (Näätänen, 1990; Ostroff, Martin & Boothroyd, 1998).

In verschiedenen Studien ist gezeigt worden, dass bei Personen mit gestörter Sprachwahrnehmung (Martin et al., 1997; Martin, 1999) und akustisch basierten Lernschwierigkeiten (Cunningham et al., 2001; Witte et al., 2002) der sprachevozierte N1-P2-Komplex verändert sein kann. Ponton und Mitarbeiter (2000) wiesen kürzlich darauf hin, dass die Ausprägung des sprachevozierten N1-P2-Komplexes die Plastizität des auditorischen Kortex im Zuge einer Rehabilitation nach Cochleaimplantation reflektiert.

Die späte Verarbeitungskomponente in Zusammenhang mit semantischer Verarbeitung⁸

Die erste sprachensitive und sprachspezifische Komponente ist von Marta Kutas und Steven Hillyard 1980 beschrieben worden. Die Ermittlung der Gehirnaktivität auf ein Wort am Ende eines Satzes, das semantisch nicht zu diesem Satz passt, löste eine breite Negativität im Bereich zwischen 200 – 600 ms nach Beginn des Wortes aus (zum

⁸ Dass innerhalb der Untersuchung der Sprachverarbeitung auch die Verarbeitung syntaktischer Strukturen eine Rolle spielt, ist in verschiedenen Studien gezeigt worden (für einen Überblick siehe z. B. Hagoort & Brown, 2000). Die Verletzung syntaktischer Strukturen führte im EKP zu einer Positivität ab 600 ms (P600), ebenfalls einer späten Verarbeitungskomponente. Da die Verarbeitung syntaktischer Merkmale in dieser Arbeit keine Rolle spielt, wird hier nicht auf weitere sprachensitive Komponenten eingegangen.

Beispiel präsentierten sie den Satz: „*John bestrich das warme Brot mit Socken.*“ im Vergleich zu „*John bestrich das warme Brot mit Butter.*“⁹. Da diese Negativität am stärksten bei etwa 400 ms lag, wurde sie als N400 bezeichnet. In späteren Arbeiten konnten die Autoren zeigen, dass die Ausprägung der N400 proportional mit dem Grad der semantischen Inkongruenz zunimmt¹⁰ (Kutas & Hillyard, 1983). Viele nachfolgende Studien zur Untersuchung der N400 replizierten die Originalarbeit von Kutas und Hillyard (1980), und fanden übereinstimmend die Anfangslatenz der N400 bei etwa 200 – 250 ms, ihre Gipfellatenz zwischen 380 und 440 ms, und ihr topographisches Maximum rechts posterior (Kutas und Van Petten, 1990, 1994; Überblick: Osterhout, Holcomb & Swinney, 1994). Hagoort und Brown (1999) konnten feststellen, dass eine N400 mit gleicher Latenz und Amplitudenausprägung hervorgerufen werden kann, wenn ein semantisch inkongruentes Wort in der Mitte eines Satzes wahrgenommen wird (vgl. auch Van Berkum et al., 2003) oder wenn sich ein Wort zwar semantisch kongruent zu einem Satz, aber inkongruent zum Gesamtdiskurs verhält (Van Berkum, Hagoort und Brown, 1999).

Die ersten wesentlichen Befunde zur N400 stützen sich auf die Wahrnehmung geschriebener Sätze (Kutas & Hillyard, 1980; Van Berkum, Hagoort & Brown, 1999). Ähnliche Ergebnisse konnten aber auch mit gesprochenen Sätzen (McCallum, Farmer & Pocock, 1984; Holcomb & Neville, 1990; Van Berkum et al., 2003) und sogar bei der Verwendung von Zeichensprache erzielt werden (Kutas, Neville & Holcomb, 1987).

Kutas und Hillyard zeigten 1984, dass eine ähnlich ausgeprägte N400 auch auf semantisch passende Wörter am Ende eines Satzes entsteht, wenn die Erwartung für dieses Wort gering ist. Die Sätze, die eine geringe Erwartung für ein bestimmtes Wort am Ende des Satzes hervorrufen, haben eine geringe Erwartungswahrscheinlichkeit („Cloze-Probability“). Der Begriff Cloze-Wahrscheinlichkeit bezieht sich darauf, mit welchem Wort eine Person eine Lücke in einem Satz füllen würde bzw. einen Satz beenden würde (Taylor, 1953; Bloom und Fischler, 1980). Beispielsweise würde der Satz: „Ich trinke meinen Kaffee mit Milch und ...“ durch nahezu 90 % aller Befragten mit dem Wort „Zucker“ beendet werden. Das heisst, während des Lesens oder Hörens dieses Satzes steigt die Erwartung, das Wort „Zucker“ wahrzunehmen. Demgegenüber würde der Satz „Jeden Tag gehe ich zum...“ keine einheitliche Erwartung für ein bestimmtes Wort bei den Probanden hervorrufen; mit weniger als 20 % wird der Satz mit einem Wort wie „Arzt“ beendet. Die Reaktion des Gehirns auf das passende Wort „Arzt“ in diesem Satz entspricht ebenfalls einer N400 (Kutas & Hillyard, 1984; vgl. auch Connolly und

⁹ Kutas (1998) deutet darauf, dass das Ende eines Satzes oder Wortes immer zu einer relativen Negativität (Clause Ending Negativity) führt und ein Hinweis für das Arbeitsgedächtnis darstellt. Die Ausprägung der Amplitude richtet sich nach dem Grad der semantischen Abweichung oder intuitiven Erwartung für ein Wort am Satzende.

¹⁰ Beispielsatz: Die Pizza war zu heiß zum essen/trinken/weinen: Das Wort „essen“ würde die geringste Amplitude einer N400 auslösen, „trinken“ eine etwas größere Amplitude, „weinen“ die größte Amplitude der N400, da „essen“ und „trinken“ zur gleichen semantischen Kategorie gehören.

Phillips, 1994), die allerdings eine geringere Amplitude aufweist als bei semantisch inkongruenten Wörtern.

An dieser Stelle sei anzumerken, dass bisher die Mechanismen für die Verarbeitung der semantischen Erwartungswahrscheinlichkeit und der kontextuellen Passung (Kongruenz) eines Wortes mit einem vorangehenden Satzinhalt nicht hinreichend elaboriert worden sind, um von unterschiedlichen Verarbeitungsprozessen zu sprechen.

In Tabelle 2 sind die wesentlichen Verarbeitungsfunktionen, die in Zusammenhang mit der N400 untersucht und beobachtet wurden, aufgelistet.

Tabelle 2: Zusammenfassung der unterschiedlichen sprachlichen Verarbeitungsfunktionen, die zur Beobachtung einer N400 führten.

Verarbeitungsfunktion	Ausgewählte Referenzen
Semantische Abweichung	Kutas & Hillyard, 1980; 1983 Bentin, McCarthy & Wood, 1985 Kutas & Van Petten, 1988; 1990; 1994 Holcomb & Neville, 1990 Van Berkum, Hagoort & Brown, 1999
Erwartungswahrscheinlichkeit ("Cloze-Probability) für ein Wort am Ende des Satzes	Kutas & Hillyard, 1984 Connolly & Phillips, 1994
Wortwiederholung	Van Petten & Kutas, 1991 Rugg, 1990
Phonologische Ähnlichkeit des Endwortes mit erwartetem Wort, bei semantischer Abweichung	Praamstra & Stegeman, 1993 Praamstra, Meyer & Levelt, 1994 Connolly & Phillips, 1994 Radeau et al., 1998
Wortfrequenz (Auftrittswahrscheinlichkeit eines Wortes)	Van Petten & Kutas, 1991
Visuelle Präsentationsmodalität	Kutas & Hillyard, 1980 Kutas, Van Petten & Besson, 1988 ...
Akustische Präsentation	McCallum, Farmer & Pocock, 1984 ...

Es zeigte sich in verschiedensten Studien, dass eine semantische Inkongruenz nicht zwingend erforderlich ist, um eine N400 hervorzurufen. Vielmehr scheint die N400 Amplitude umgekehrt proportional zur Erwartung eines Stimulus (Chwilla, Brown & Hagoort, 1995). Es ist daher auch postuliert worden, dass die Amplitude der N400 negativ korreliert ist mit der Einfachheit, mit der ein Wort in den vorhergehenden Kontext integriert werden kann („ease of integration“, Chwilla, Brown & Hagoort, 1995).

1.4 Fragestellung und Zielsetzung

Aus der Darstellung der theoretischen Grundlagen sprachlicher Informationsverarbeitung ist nach wie vor ungeklärt, auf welche Art und Weise Vorwissen, Erwartungen und Annahmen die Sprachwahrnehmung beeinflussen. Ziel dieser Arbeit soll es sein, das Einsetzen einer top-down Korrektur während der Verarbeitung sprachlicher Informationen näher zu beleuchten. Mit Hilfe der Methode der ereigniskorrelierten Potentiale soll ermit-

telt werden, wie sich eine kognitive Kontrolle im EKP nachweisen lässt und auf welchen Verarbeitungsstufen sie sich darstellt.

In Experiment 1 soll ermittelt werden, wie sich eine kognitive Kontrolle sprachlicher Informationen im auditiven System abbilden lässt. Für diese Fragestellung werden Wörter benutzt, deren zeitlicher Ablauf gestört ist. Dabei soll beobachtet werden, wie genau eine zeitliche Struktur von akustisch präsentierten Wörtern erhalten sein muss, um ein Verstehen dieser Signale zu gewährleisten.

In Experiment 2 wird der Frage nachgegangen, wie sich eine kognitive Korrektur während der Wahrnehmung ganzer Sätze und zugehöriger Informationen zeigt. An dieser Stelle soll darauf eingegangen werden, inwiefern es Unterschiede in der Verarbeitung der semantischen Passung und der Erwartungswahrscheinlichkeit gibt, was bisher nicht hinreichend unterschieden worden ist (Van Petten & Kutas, 1994).

In Experiment 3 erfolgt eine Replikation der Befunde aus Experiment 2 mit optimiertem Stimulusmaterial.

Das Experiment 4 dient der Ermittlung, die Verarbeitung akustisch und visuell dargebotener Wörter innerhalb eines Satzkontextes voneinander zu unterscheiden.

Im dritten Kapitel der Arbeit wird der Frage nachgegangen, wie akustische und visuelle Sprachmerkmale in einer realen Sprachsituation bei Personen mit beeinträchtigtem Hörvermögen genutzt und kombiniert werden, beispielsweise nach Implantation einer künstlichen Ohrschnecke. Lässt sich auch hier, unter weniger vorteilhaften Wahrnehmungsbedingungen, eine kognitive Korrektur nachweisen?

In Experiment 5 wird beobachtet, wie eine kognitive Korrektur während der Verarbeitung von Lippenbewegungen bei Personen mit Cochleaimplantat im Vergleich zu einer Kontrollgruppe einsetzt und unvorteilhafte akustische Signale durch zusätzliche visuelle Informationen kompensiert werden.

In Experiment 6 wird deshalb untersucht, wie der Satzkontext einen Einfluß auf die Wahrnehmung einzelner Wörter hat bei Personen mit einem Cochleaimplantat.

Die bisherigen Kenntnisse zur zeitlichen Verarbeitung sprachlicher Informationen und das Zusammenwirken akustischer und visueller Signale stützen sich bisher größtenteils auf Untersuchungen mit Silbenmaterial, nicht aber ganzer Wörter oder Sätze. In der vorliegenden Arbeit werden vor allem bekannte Wörter der deutschen Sprache und ganze Sätze benutzt, um auf die Verarbeitung der Sprache im alltäglichen Gebrauch zu schließen.

2 Zeitgebundene Informationsverarbeitung im auditiven System

In diesem Kapitel soll der Frage nachgegangen werden, wie Sprachlaute abhängig von ihrem zeitlichen Verlauf auditorisch verarbeitet werden. Dazu werden im ersten und zweiten Experiment invertierte Sprachlaute benutzt, bei denen der herkömmliche zeitliche Verlauf des akustischen Signals verändert ist.

Zunächst wird auf die zeitlichen Parameter der Sprachverarbeitung und das Konzept der top-down Korrektur eingegangen. Im ersten Experiment wird sodann demonstriert, dass akustisch präsentierte einzelne invertierte Wörter verstanden werden und welche ereigniskorrelierten Potentiale während der Verarbeitung jener Stimuli auftreten. Um die Untersuchung der kognitiven Korrektur invertierter sprachlicher Signale zu vertiefen, werden im zweiten Experiment invertierte Sprachsignale als Endwörter von vollständigen Sätzen dargeboten. Dabei unterscheiden sich die Sätze in ihrer Erwartung hinsichtlich eines bestimmten Wortes, das am Satzende stehen muss („Cloze-Wahrscheinlichkeit“ oder Erwartungswahrscheinlichkeit), und der semantischen Übereinstimmung des letzten Wortes mit dem vorhergehenden Satz.

Im dritten Experiment wird die Erwartungswahrscheinlichkeit und die semantische Kongruenz ohne invertierte Stimuli mit optimiertem Material untersucht, wobei eine nähere Beleuchtung des Wechsels zwischen visuell dargebotenem und akustisch präsentiertem Sprachmaterial eine Rolle spielen soll. Im letzten Experiment dieses Kapitels wird gezeigt, wie sich der Wechsel vom auditorischen zum visuellen Sprachmaterial innerhalb der Informationsverarbeitung kennzeichnet.

Die Ergebnisse der Untersuchungen werden vor dem Hintergrund der vorgestellten Modelle sprachlicher Informationsverarbeitung diskutiert.

Dass ein Einfluss des Vorwissens während der Verarbeitung sprachlicher Stimuli stattfindet, ist schon im vorangehenden Kapitel im Rahmen der Vorstellung verschiedener Modelle der Sprachverarbeitung dargelegt worden.

Wie die Wahrnehmung lokal zeitlich invertierter Sprachsignale möglich ist, wurde kürzlich bezogen auf die Schriftsprache verdeutlicht. David Harris stellte am 12. September 2003 folgenden Text zunächst in englischer Sprache auf seine Internet-Seite und wollte ursprünglich damit kontrollieren, wie schnell sich Informationen im virtuellen Netzwerk verbreiten (<http://blogs.salon.com>; siehe auch: www.bisso.com/ujg-archives):

>> Afugnud enier Sduite an enier Elingshcen Unvirestiat ist es eagl,
in wleher Rienhnelfoge die Bcuhtsbaen in eniem Wrot sethen, das
enizg wehitge dbaei ist, dsas der estre und lzete Bcuhtsbae am
rcihgiten Paltz snid. Der Rset knan ttolaer Bolsdinn sien, und du
knasnt es torztedm onhe Porbelme lseen. Das ghet dseahlb, wiel wir
nchit Bcuhtsbae fur Bcuhtsbae enizlen lseen, snodren Wroetr als
Gnaezs.<<

Innerhalb kürzester Zeit wurde dieser Text in verschiedene Sprachen übersetzt. Er animierte Programmierer dazu, Programme zum Buchstabensalat und Entwirrungsmaschinen zu entwickeln. Nach einigen Recherchen stellte sich heraus, dass das Phänomen auf eine Doktorarbeit von Graham Rawbinson aus dem Jahre 1976 zurückgeht („The significance of letter position in word recognition“, Nottingham University, Grossbritannien).

Auch ohne große Anstrengungen ist es möglich, diesen Text zu lesen, was auf das Zurückgreifen auf vorhandene Konzepte über Sprache hindeutet.

Die Frage ist, ob solch eine Korrektur auch bei der Verarbeitung akustischer Signale stattfindet und wie eine kognitive Kontrolle sich empirisch nachweisen lässt.

2.1 Experiment 1: Elektrische Hirnaktivität während der Wahrnehmung zeitinvertierter Sprache (publiziert in Klinische Neurophysiologie, 2003, 34, S. 75 –79.

2.1.1 Einleitung

Akustische sprachliche Informationen werden vom Gehirn auch unter weniger vorteilhaften Bedingungen verstanden, wie zum Beispiel einem erhöhten Geräuschpegel oder einem eingeschränkten Frequenzbereich (Hines, 1999; Samuel, 2001). Zwar belegen Studien mit sogenannten Minimalpaaren (z.B. Boden versus Boten), dass die zeitliche Feinstruktur der Sprachsignale relevant für deren Verständnis sein kann. In Untersuchungen mit aphasischen Patienten konnte unter anderem gezeigt werden, dass sich deren Störung der Sprachwahrnehmung auf die Verarbeitung zeitlicher Informationen bezieht (Elfron, 1963; Robin et al., 1990) und dass diese damit wesentlich für die Wahrnehmung, das Erlernen und die Rehabilitation von Sprache sind (von Steinbüchel, 1998). Andererseits konnten aber auch Sätze dann noch verstanden werden, wenn einzelne Abschnitte des Sprachsignals in ihrem zeitlichen Ablauf invertiert wurden (Kegel, 1990; Saberi & Perrott, 1999). Saberi & Perrott (1999) präsentierten Versuchspersonen digitalisierte Sätze, die in feste Zeitabschnitte eingeteilt wurden, die dann jeweils zeitlich umgekehrt wurden. Die einzelnen Segmente hatten eine Länge von 0, 50, 100 und 130 ms. Die Autoren stellten erwartungsgemäß fest, dass mit Zunahme der Segmentlänge die Verständlichkeit für das Sprachsignal abnahm. Bei einer Dauer von 50 ms konnten die Probanden die Sätze noch vollständig verstehen, obwohl die zeitliche Feinstruktur durch diese Manipulation komplett zerstört wurde. Bei einer Segmentlänge von 130 ms wurden nur noch 50 % der Sätze korrekt verstanden. Auch Kegel (1990) benutzte invertierte Sprachreize, um zeitliche Sprachverarbeitung näher zu beleuchten. Er benutzte eine Segmentlänge von nur 20 ms und fand heraus, dass die Verstehensleistung für die invertierten Stimuli nur bei sinnlosen Sätzen und Pseudowörtern herabgesetzt ist.

Demzufolge konnten diese Autoren zeigen, dass der Verlust der zeitlichen Feinstruktur sprachlicher Signale in bestimmten Grenzen ausgeglichen werden kann. Demnach widersprechen sie jenen Theorien, die davon ausgehen, dass die zeitliche Abfolge für das Sprachverstehen wesentlich ist (Tallal et al., 1993; Merzenich et al., 1996; von Steinbüchel, 1998).

Die Beobachtungen von Saberi und Perrott (1999) legen nahe, dass das Sprachverständnis-system eine kognitive Korrektur des fehlerhaften Inputsignals durchführt. Ziel des folgenden Experimentes ist es, Anhaltspunkte dafür zu finden, auf welcher Verarbeitungsebene die Korrektur stattfindet und welche neuronalen Strukturen hierfür bedeutsam sind. Die Methode der ereigniskorrelierten Potentiale wurde eingesetzt, um eine zeitlich genaue Zuordnung der neuronalen Antworten zu unterschiedlichen kognitiven Prozessen zu gestatten (Münste et al., 2000). Aufgrund der Anwendung der Methode des EKPs im folgenden Experiment wird das Verstehen einzelner Worte untersucht und nicht die Invertierung ganzer Sätze, wie bei Saberi und Perrott.

Um einer kognitiven Kontrolle im auditorischen System nachzugehen und diese empirisch mit Hilfe der Methode des ereigniskorrelierten Potentials näher zu ermitteln, erscheint die Anwendung sprachlicher Laute als besonders geeignet. Zusätzlich gestattet der unten beschriebene Versuchsaufbau den Vergleich der EKPs zu verstandenen und nicht verstandenen Wörtern, was ebenfalls einen Rückschluss auf die Effekte einer kognitiven Korrektur erkennen lassen sollte.

Es wird vermutet, dass eine früh einsetzende Korrektur sich in einer Veränderung der Amplitude und Latenz der akustischen N100-Komponente niederschlagen sollte (Hansen et al., 1983; Näätänen & Picton, 1987), während eine Korrektur auf den später stattfindenden Ebenen der Sprachverarbeitung (postlexikalisch) als eine Modulation von Komponenten längerer Latenz, etwa der N400-Komponente (Kutas & Hillyard, 1980) reflektiert wird.

Wie schon in Kapitel 1.3.3 beschrieben, wurde die N400-Komponente erstmals als eine Reaktion des Gehirns auf semantisch abweichende linguistische Stimuli gefunden (Kutas und Hillyard, 1980). Viele darauf folgende Studien haben gezeigt, dass die N400 durch verschiedene Faktoren moduliert werden kann (z. B. Wortfrequenz, Cloze-Wahrscheinlichkeit oder Wortassoziationen: Chwilla et al., 1995). Sie reflektiert den Grad der Leichtigkeit, mit der ein Stimulus in den vorhergehenden Kontext integriert wird (Kutas, 2000).

2.2.2 Methode

Material

Das sprachliche Material bestand aus 600 viersilbigen deutschen Hauptwörtern, die aus der CELEX- Datenbank (CELEX, Baayen et al., 1993) ausgewählt wurden. Die Wortfrequenz der Stimuli, das heißt die Auftretenshäufigkeit der Wörter in öffentlichen Druckmedien lag zwischen 10-100/Million.

Alle Wörter wurden von einem erfahrenen Sprecher digital mit 16 Bit Mono und 22.5 kHz bei einer normalen Intonation und Sprechgeschwindigkeit aufgenommen. Die digital aufgenommenen Wörter wurden mit Hilfe des Aufnahmeprogramms *SoundForge 4.5* © ausgeschnitten. Der Ausschnitt bezog sich auf den Beginn und das Ende des Sprachspektrums. Jedes Wort wurde dann mit Hilfe des digitalen Programms DmDX (DmDX, Jonathan C. Forster, University of Arizona) in Segmente unterschiedlicher Länge eingeteilt. Insgesamt gab es drei Bedingungen für die Unterteilung: Segmente mit einer Länge von 50 ms, 80 ms und 100 ms¹¹.

Die einzelnen Segmente wurden dann zeitlich invertiert, die Segmentgrenzen wurden nicht weiter bearbeitet. Von jedem Wort gab es, einschließlich der nicht invertierten Ursprungsversion, 4 Versuchsbedingungen: nicht invertiert, (lokale) Segmente von 50 ms Länge, 80 ms Länge und 100 ms Länge, jeweils zeitinvertiert.

¹¹ In einer Voruntersuchung mit 5 Versuchspersonen hat sich ergeben, dass bei einer Segmentlänge von 130 ms nur 10 % der Wörter erkannt wurden. Diese Anzahl erschien für eine Untersuchung von Einzelwörtern ungeeignet.

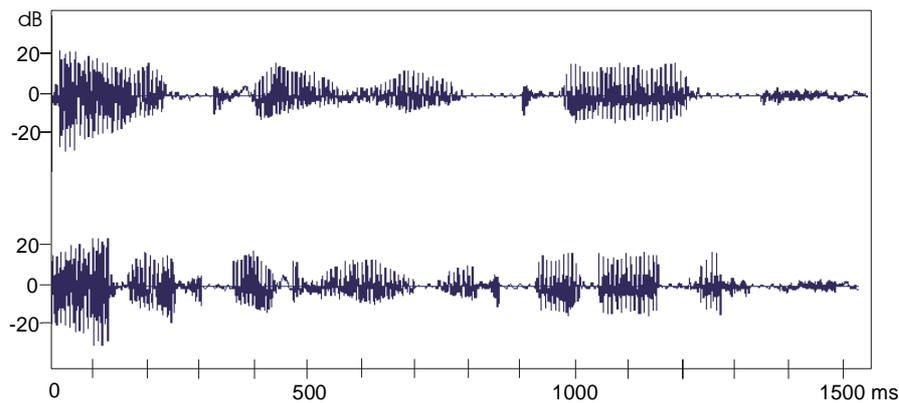


Abbildung 4: Beispiel für die Frequenzbänder eines nicht invertierten Wortes (oben) und eines invertierten Wortes der 100 ms Segmentumkehrung im Zeitverlauf.

Versuchspersonen

Es nahmen 13 deutschsprachige weibliche Probanden im Alter zwischen 19 und 26 Jahren, alle rechtshändig, an der Untersuchung teil. Aufgrund von starken Blinzelartefakten gingen die Daten einer Person nicht in die Auswertung mit ein. Alle Probanden hatten nach eigenen Angaben ein normales bzw. korrigiertes Seh- und Hörvermögen und keine neurologischen Auffälligkeiten. Die Versuchspersonen wurden aus der Versuchspersonendatei der Arbeitsgruppe Neuropsychologie an der Otto-von-Guericke Universität entnommen; sie wurden für ihre Teilnahme bezahlt oder erhielten Versuchspersonenstunden¹².

Versuchsablauf

Während jeder von zwei Versuchssitzungen wurden insgesamt 600 Stimuli über Lautsprecher vor der Probandin dargeboten, 150 Wörter jeder Bedingung. Um Gewöhnungseffekte zu vermeiden, wurden die Wörter in einer pseudorandomisierten Reihenfolge dargeboten, das heißt, dass innerhalb der zufälligen Reihenfolge darauf geachtet wurde, dass nicht mehr als drei Wörter der gleichen Bedingung nacheinander erscheinen. Jede Versuchsperson hatte zwei Untersuchungszeitpunkte, somit wurde ihr jedes Wort zweimal in jeweils unterschiedlicher Bedingung und in unterschiedlichen Sitzungen dargeboten. Die präsentierten Wörter wurden für jede Sitzung in sechs Blöcke unterteilt, die den Versuchspersonen nacheinander dargeboten wurden, wobei die Reihenfolge der Blöcke über die Versuchspersonen und Sitzungen in Form des Lateinischen Quadrats zugeteilt wurden. Jeder Block dauerte circa sieben Minuten. Nach jedem Block konnten die Versuchspersonen eine kleine Pause machen. Insgesamt dauerte jede Sitzung etwa 50 Minuten. Die Darbietung der Stimuli erfolgte mit dem Programm *Presentation 0.33* © (www.neurobehavioralsystems.com).

¹² Alle Versuchspersonen, die für die EKP-Untersuchungen der vorliegenden Arbeit gewonnen werden konnten, wurden vor ihrer Teilnahme über die Funktionsweise und mögliche Risiken einer EKP-Untersuchung fachkundig aufgeklärt und unterschrieben eine Einwilligungserklärung für ihre Teilnahme und die anonyme Weiterverwendung sowie Veröffentlichung ihrer Daten.

Die Wörter hatten eine durchschnittliche Länge von 1,5 Sekunden (Std. = 0,34) und wurden bei 70 dB (SPL) präsentiert. Während der Darbietung saßen die Probanden vor einem 21-Zoll-Monitor mit einer Auflösung von 1024 x 768 x 16 Hz und einem Abstand von 100 cm zwischen Bildschirm und Augen der Probanden. Die Versuchspersonen wurden instruiert, ein kleines Kreuz in der Mitte des Bildschirms zu fixieren, um Augenbewegungen zu vermeiden. Mit einer Verzögerung von 1500 ms nach der Darbietung des akustischen Reizes erfolgte auf dem Monitor eine Aufforderung an die Versuchspersonen, den soeben gehörten Stimulus wiederzugeben. Wenn die Probandin nichts verstanden hatte, sollte sie „nichts“ aussprechen. Die Antworten wurden online von der Versuchsleiterin kontrolliert und für die spätere Auswertung festgehalten, indem eine Markierung im EEG-Aufzeichnungsprogramm bei einer „Nichts-Antwort“ gesetzt wurde. Zusätzlich wurden die Antworten der Probanden mit Hilfe des Computerprogramms Sound Forge 4.5 © aufgenommen, um eine nachträgliche Kontrolle zu gewährleisten. Das Experiment wurde in einem abgedunkelten und schalldichten Raum durchgeführt. Vor jeder Untersuchung wurde den Probanden eine Übungsliste mit insgesamt 7 Wörtern gezeigt, damit sich die Probanden auf die Aufgabe einstellen konnten.

Datenanalyse

Im Folgenden wird das allgemeine Vorgehen der Datenanalyse beschrieben, das sich auf alle Experimente dieser Arbeit bezieht. Die jeweiligen speziellen Auswertungspunkte, wie Faktoren und Auswahl der berechneten Zeitfenster, werden einzeln für jedes Experiment erläutert.

Die Datenanalyse beinhaltet die Auswertung und Berechnung der Verhaltensdaten und der EEG-Daten. Die Verhaltensdaten beziehen sich auf die Anzahl verstandener Wörter in jedem Experiment, die in absoluten Werten und Prozentwerten angegeben werden. Bei den nicht verstandenen Wörtern werden solche unterschieden, bei denen die Probanden eine „nichts“-Antwort gaben (sie das Wort nicht verstanden haben) und jene Wörter, bei denen die Probanden eine falsche Antwort gaben. Diese wurden extra gekennzeichnet und gingen in der Auswertung nicht mit ein.

Die Auswertung der EEG-Daten erfolgte demzufolge getrennt für die verstandenen und die nicht verstandenen Wörter. Die Mittelung der EEG-Daten erfolgte in bestimmten Zeitabschnitten getrennt für die unterschiedlichen Bedingungen und Elektroden, zunächst für jede Versuchsperson einzeln, dann über alle Versuchspersonen hinweg. Die Zeitabschnitte wurden abhängig von der Länge des zu interessierenden Intervalls, also der mittleren Länge der Wörter und aufgrund der angenommenen Verarbeitungslänge gewählt.

Die Bereinigung der Artefakte erfolgte automatisch und durch visuelle Inspektion. Die Anzahl der jeweils ausgeschlossenen Stimuli sind in den einzelnen Experimenten angegeben.

Die statistische Analyse der Verhaltensdaten und der EKP-Daten erfolgte mit Hilfe von mehrfaktoriellen und einfaktoriellen Varianzanalysen mit Messwiederholung (ANOVA). Für die statistische Berechnung der Hirnpotentiale wurden unterschiedliche Zeitfenster aufgrund

visueller Inspektion der mittleren Potentiale gewählt, die Berechnungen erfolgten demnach getrennt für jedes Zeitfenster pro Bedingung. Es werden mittlere Amplitudenwerte über einen Zeitbereich, Gipfelamplituden (maximale Ausprägung einer Amplitude) in einem Zeitbereich und Gipfelatenzen (Zeitpunkt des Maximums einer Auslenkung) für die unterschiedlichen Bedingungen berichtet.

Die Huynh-Feldt-Korrektur für inhomogene Varianzen wurde verwendet, da die experimentellen Designs jeweils mehr als einen Freiheitsgrad im Zähler aufwiesen. Die berichteten p-Werte sind korrigiert (Huynh & Feldt, 1980).

Die dargestellten gemittelten Hirnpotentiale sind mit einem Tiefpassfilter von 8 Hz bearbeitet worden, die statistische Analyse erfolgte über die ungefilterten Daten.

EEG-Aufnahme

Das EEG wurde mit Hilfe von 30 Zinnelektroden abgeleitet, die in einer elastischen Kappe der Firma Electro-Cap International (Eaton, Ohio) montiert waren, wobei sämtliche Punkte des standardisierten 10-20-Systems sowie weitere intermediäre Ableitpunkte gewählt wurden (Fp1/2, F3/4, C3/4, P3/4, O1/2, F7/8, T3/4, T7/8, Fz, Cz, Pz, Fpz, Fc1/2, Fc5/6, Cp1/2, Cp5/6, Po1/2). Die Elektrode Fcz diente als Erdungselektrode.

Zusätzlich wurden Elektroden am linken Mastoid (Referenzelektrode) sowie am linken und rechten Orbitarand (horizontales EOG) und oberhalb und unterhalb des linken Auges (vertikales EOG) angebracht. Alle Elektrodenwiderstände wurden unterhalb von 5 kOhm gehalten. Die Signale wurden mit einem Bandpassfilter von 0,05 bis 30 Hz verstärkt und mit 250 Messzeitpunkten pro Sekunde digitalisiert. Das EEG und das EOG wurden mit einem SynAmp Verstärker der Firma Neuroscan (Herndon, VA, USA) aufgenommen.

Einzelsegmente, die Amplituden von mehr als $\pm 100 \mu\text{V}$ (Augenkanäle) bzw. $\pm 75 \mu\text{V}$ (Skalpkanäle) enthielten, wurden bei der Mittelung nicht berücksichtigt, wodurch die Verunreinigung der ermittelten Daten durch verschiedene Artefakte ausgeschlossen werden konnte. Nach dieser Korrektur gingen 80 % der dargebotenen Ereignisse in die Bewertung ein, was eine genügend große Anzahl für statistisch abgesicherte Aussagen darstellt.

Es wurden separate Mittelpotentiale für verstandene und nicht verstandene Wörter erstellt, die weiterhin bezüglich der einzelnen Bedingungen getrennt waren. Die Mittelung erfolgte für Epochen von 2100 ms Länge einschließlich eines 100 ms Prästimulusbereichs, der als Basislinie diente.

2.2.3 Ergebnisse

Die statistische Analyse erfolgte mit Hilfe von Varianzanalysen für Messwiederholungen (ANOVA). Es ergaben sich die Faktoren *Bedingung* (nicht invertiert/50 ms/80 ms/100 ms) und *Elektrodenposition* (F3/4, C3/4, P3/4, Fz, Cz, Pz) als Innersubjektfaktor. Die Analyse wurde auf die angegebenen Elektrodenpositionen beschränkt, da sich hier die größten Effekte fanden.

Es werden zunächst die Anzahl der verstandenen Wörter in den unterschiedlichen Wahrnehmungsbedingungen berichtet. Anschließend erfolgen die Beschreibung der ereigniskorrelierten Potentiale in dem angegebenen Zeitbereich und die statistische Analyse der einzelnen Zeitfenster für den Vergleich der Bedingungen. Für jedes Zeitfenster werden zunächst die globalen ANOVAs und danach die Paarvergleiche der einzelnen Bedingungen untereinander dargestellt. Es werden die Werte für die Berechnung der mittleren Amplituden, der Gipfelamplituden und der Gipfellatenzen berichtet.

Verhaltensdaten:

Von den dargestellten Stimuli wurden insgesamt 10,6 % (Std. = 2,5) nicht verstanden, wobei allerdings 1 % (Std. = 0,2) der 50-ms-Bedingung, 11,2 % (Std. = 0,8) der 80-ms-Bedingung und 33,6 % (Std. = 1,8) der 100-ms-Bedingung betroffen waren. Eine einfaktorische Varianzanalyse für die nicht verstandenen Bedingungen ergab, dass sich die Bedingungen hinsichtlich der Anzahl der nicht verstandenen Wörter signifikant voneinander unterscheiden ($F(3,33)=10,31; p=0,003$).

EKP-Daten

Die Gesamtmittelpotentiale für die verstandenen Wörter sind in Abbildung 5 dargestellt. Die ereigniskorrelierten Potentiale sind durch eine frühe Negativität mit einem Maximum bei ungefähr 100 ms (N100) gekennzeichnet. Dabei zeigen die zeitinvertierten Bedingungen höhere Amplituden und frühere Latenzen als die nicht-invertierten Bedingungen. Diese negative Komponente wird abgelöst von einer Positivität bei ungefähr 150 ms (P200) und einer nachfolgenden sich langsam aufbauenden Negativität mit einem Maximum bei ungefähr 400 ms. Letzterer Effekt war wiederum für die zeitinvertierten Bedingungen stärker ausgebildet.

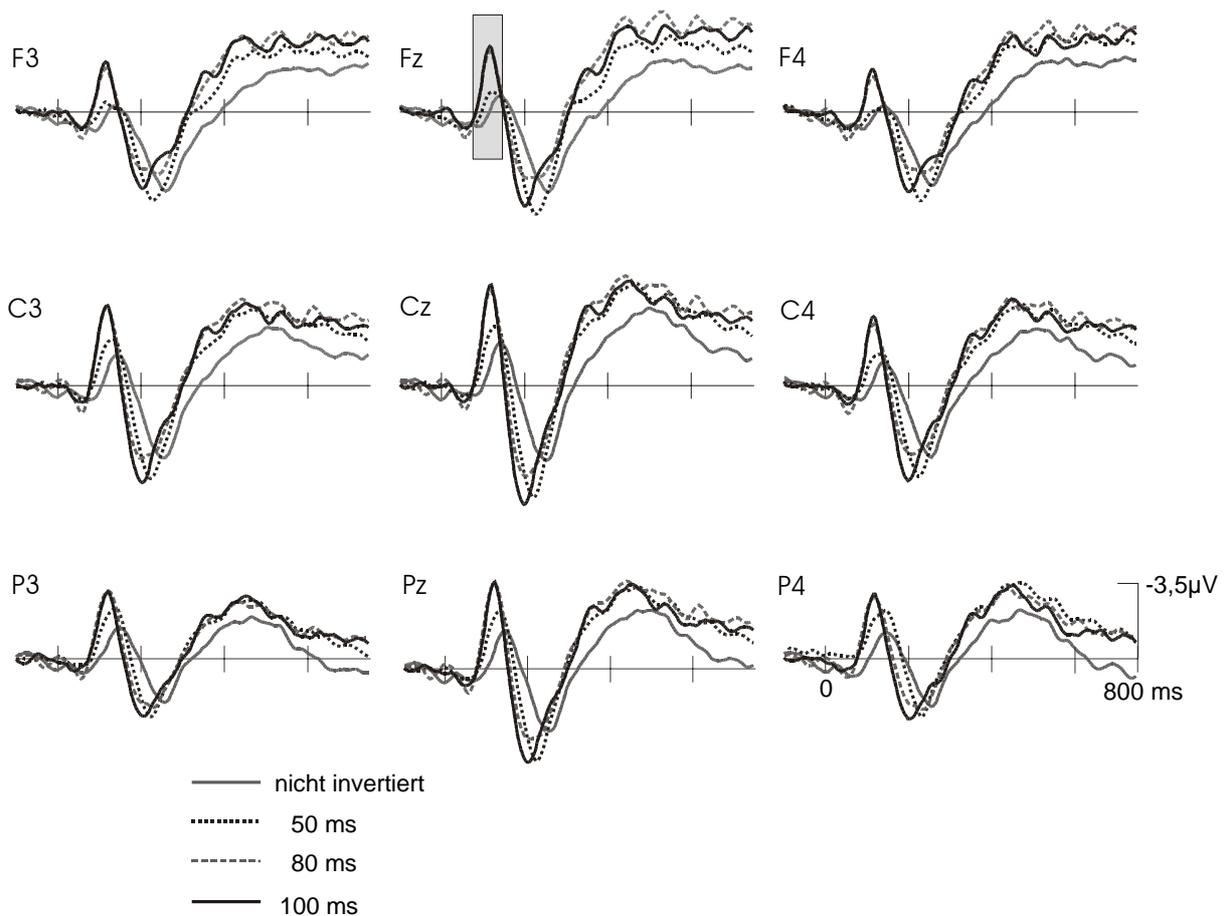


Abbildung 5: Gesamtmittelpotentiale im Vergleich zwischen allen experimentellen Bedingungen, dargestellt an den neun relevanten Elektroden (F3/4, C3/4, P3/4, Fz, Cz und Pz) in einem Zeitfenster von 100 ms vor Beginn des akustischen Wortes (Basislinie) bis 800 ms danach. Für diese Darstellung wurden nur die Werte der verstandenen Wörter benutzt. Der grau unterlegte Ausschnitt an der Elektrode Fz stellt den Zeitbereich zwischen 90 und 150 ms (N100) dar und deutet darauf hin, dass das Maximum der Amplituden für die invertierten Bedingungen eher und schmaler ausgeprägt ist. Aus diesem Grunde werden in den ersten Zeitfenstern die Unterschiede in den Gipfelerhöhen berechnet, in den späten Zeitfenstern (300 - 500 ms und 500 - 800 ms) die mittleren Amplituden. Die Ausprägung der Amplituden zeigt sich am stärksten an der Elektrode Cz.

Auf Grundlage dieser Beobachtung wurden für die statistische Analyse die Zeitfenster zwischen 90 - 150 ms, 180 - 280 ms, 300 - 500 ms und 500 - 800 ms gewählt. Zunächst wurden alle verstandenen Wörter in den verschiedenen Zeitfenstern betrachtet, danach folgt der Vergleich zwischen verstandenen und nicht verstandenen Wörtern.

Zeitbereich 90 - 150 ms (N100)

Eine Omnibus-ANOVA über die Gipfelerhöhen mit allen Faktoren und allen neun Elektroden zeigten einen signifikanten Haupteffekt für den Faktor *Bedingung* ($F(3,33) = 56,6$; $p \leq 0,001$) und *Elektrodenposition* ($F(8,88) = 22,7$; $p \leq 0,001$) sowie eine signifikante Interaktion zwischen beiden Faktoren ($F(8,88) = 12,8$; $p \leq 0,001$). Ein Post-hoc-Paarvergleich zeigte, dass sich alle zeitinvertierten Bedingungen von der nicht invertierten Bedingung bei einem α -Niveau von 1 % signifikant unterscheiden. Die Daten der Paarvergleiche sind in Ta-

belle 4 zusammengefasst. Weiterhin wurden signifikante Unterschiede der Vergleiche zwischen den Bedingungen 50/80 ms; 50/100 ms; 80/100 ms ermittelt.

Tabelle 4: Ergebnisse der ANOVA der Paaranalysen aller Bedingungen zueinander im Zeitbereich zwischen 90 – 150 ms. Die Bezeichnungen 50 ms, 80 ms und 100 ms beziehen sich auf die Länge der Segmente, die in den Wörtern invertiert wurden.

Paarvergleiche	Bedingung		Bedingung × Elekt- rodenposition	
	F(3,33)	p ≤	F(8,88)	p ≤
nicht invertiert – 50 ms	77,3	0,001	12,3	0,001
nicht invertiert – 80 ms	248,6	0,001	25,8	0,001
nicht invertiert – 100 ms	59,3	0,001	30,1	0,001
50 ms – 80 ms	221,2	0,001	17,8	0,001
50 ms – 100 ms	70,0	0,001	14,2	0,001
80 ms – 100 ms	60,7	0,001	5,6	0,03

Die signifikanten Interaktionen zwischen den Faktoren legen nahe, dass sich die Ausprägung der mittleren Amplituden der unterschiedlichen Bedingungen in Abhängigkeit von der Elektrodenposition unterscheiden.

Die mittleren Amplituden der verschiedenen Versuchsbedingungen der N100 Komponente in der Elektrode Cz sind in Abbildung 6 dargestellt.

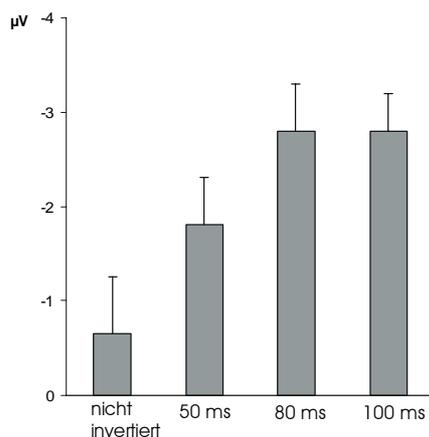


Abbildung 6: Mittlere Ausprägung der Amplituden an der Elektrode Cz für alle experimentellen Bedingungen im Zeitfenster zwischen 90 - 150 ms.

Die frühere Gipfelatenz für die invertierten Stimuli (an Cz: *nicht invertiert*: 144 ms, Std. = 6,4; *50-ms-Bedingung*: 133,6 ms, Std. = 14,2; *80-ms-Bedingung*: 121 ms, Std. = 11,2; *100-ms-Bedingung*: 119,6 ms, Std. = 8,3) ist statistisch hochsignifikant (Zeitfenster 90 – 150 ms $F(3,33) = 46,5$; $p < 0,0001$).

180 – 280 ms (P200)

Für die P200-Komponente zeigte sich eine höhere Amplitude für die invertierten Wörter (Haupteffekt *Bedingung*: $F(3,33) = 8,5$; $p \leq 0,001$; *Elektrodenposition*: $F(8,88) = 3,8$; $p \leq 0,01$; Interaktion zwischen *Bedingung* und *Elektrodenposition*: $F(8,88) = 4,9$; $p = 0,001$) sowie eine frühere Gipfelatenz (an Cz: *nicht invertiert*: 249 ms, Std. = 16,7; *50-ms-Bedingung*:

218 ms, Std. = 14,7; 80-ms-Bedingung: 203 ms, Std. = 20,1; 100-ms-Bedingung: 197 ms, Std. = 15,2; $F(3,33) = 34,8$; $p = 0,001$).

Aufgrund der Interaktion zwischen den Faktoren wurden post-hoc Paarvergleiche zwischen einzelnen Bedingungen vorgenommen, welche in Tabelle 5 dargestellt sind. Für den Faktor Bedingungen ergab sich kein signifikanter Haupteffekt. Es scheint, dass sich die Ausprägungen der Gipfelamplituden in Abhängigkeit vom Faktor Elektrodenposition voneinander unterscheiden.

Tabelle 5: Ergebnisse der ANOVA der Paarvergleiche aller Bedingungen untereinander im Zeitfenster zwischen 180 – 280 ms.

Paarvergleiche	Bedingung		Bedingung × Elektrodenposition	
	F(3,33)	p ≤	F(8,88)	p ≤
nicht invertiert – 50 ms	1,23	n.s.	6,3	0,003
nicht invertiert – 80 ms	0,54	n.s.	4,4	0,01
nicht invertiert – 100 ms	1,3	n.s.	5,6	0,01
50 ms – 80 ms	0,67	n.s.	4,4	0,01
50 ms – 100 ms	1,16	n.s.	5,7	0,01
80 ms – 100 ms	0,42	n.s.	3,3	0,04

300 – 500 ms

An diese positive Komponente schließt sich eine sich langsam aufbauende Negativität an, die weiter verteilt ist und eine signifikant größere Amplitude für die invertierten Bedingungen als für die nicht invertierte Bedingung aufweist. Die Berechnung für den Vergleich der mittleren Amplituden ergab einen Haupteffekt für den Faktor *Bedingung*: $F(3,33) = 12,07$; $p \leq 0,001$, *Elektrodenposition*: $F(8,88) = 6,3$; $p = 0,002$ und eine signifikante Interaktion zwischen beiden Faktoren: $F(8,88) = 8,6$; $p \leq 0,0001$. Post-hoc-Paaranalysen zeigten, dass alle Bedingungen zueinander signifikant unterschiedlich waren (Tabelle 6).

Tabelle 6: Ergebnisse der ANOVA für die Paarvergleiche aller Bedingungen zueinander im Zeitfenster zwischen 300 – 500 ms.

Paarvergleiche	Bedingung		Bedingung × Elektrodenposition	
	F(3,33)	p ≤	F(8,88)	p ≤
nicht invertiert – 50 ms	25,5	0,0001	9,1	0,001
nicht invertiert – 80 ms	20,0	0,0001	14,4	0,001
nicht invertiert – 100 ms	18,2	0,0001	13,0	0,001
50 ms – 80 ms	25,3	0,0001	4,8	0,02
50 ms – 100 ms	19,4	0,0001	3,1	0,03
80 ms – 100 ms	12,6	0,0001	2,9	n.s.

Die mittleren Amplituden an Cz für die unterschiedlichen experimentellen Bedingungen sind in Abbildung 7 gezeigt.

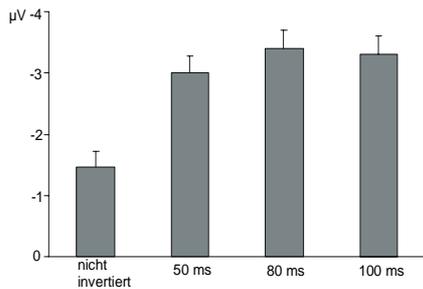


Abbildung 7: Mittlere Ausprägungen der Amplituden an der Elektrode Cz für die unterschiedlichen Bedingungen im Zeitfenster zwischen 300 – 500 ms.

500 – 800 ms

Im Zeitbereich zwischen 500 – 800 ms ergaben sich ein signifikanter Haupteffekt für den Faktor *Bedingung* ($F(3,33) = 4,8$; $p = 0,02$) und eine signifikante Interaktion zwischen *Bedingung* und *Elektrodenposition* ($F(8,88) = 9,7$; $p \leq 0,0001$). Auch hier wurde ein Vergleich der einzelnen Bedingungen untereinander vorgenommen (Tabelle 7). Dabei ergaben sich Unterschiede in den Bedingungen in Abhängigkeit vom Faktor *Elektrodenposition*.

Tabelle 7: Ergebnisse der ANOVA der Paarvergleiche aller Bedingungen zueinander im Zeitfenster zwischen 500 – 800 ms.

Paarvergleiche	Bedingung		Bedingung × Elektrodenposition	
	F(3,33)	p ≤	F(8,88)	p ≤
nicht invertiert – 50 ms	0,53	n.s.	6,4	0,001
nicht invertiert – 80 ms	0,9	n.s.	14,6	0,001
nicht invertiert – 100 ms	0,01	n.s.	13,6	0,001
50 ms – 80 ms	0,1	n.s.	6,4	0,001
50 ms – 100 ms	0,3	n.s.	5,0	0,02
80 ms – 100 ms	0,3	n.s.	4,4	0,03

Vergleich zwischen verstandenen und nicht verstandenen Wörtern

Lediglich in der Bedingung mit 100 ms-Invertierung wurden ausreichend Wörter nicht verstanden, so dass eine eigenständige Berechnung von ereigniskorrelierten Potentialen ermöglicht werden konnte. Für die verschiedenen Zeitfenster wurden wiederum Varianzanalysen berechnet, für die sich die Faktoren *Verständlichkeit* (verstanden/nicht verstanden) und *Elektrodenposition* (wie oben) ergaben. Abbildung 8 zeigt die Gesamtmittelpotentiale an Fz und Cz für den Vergleich der verstandenen und der nicht verstandenen Wörter. Tabelle 8 beinhaltet die Ergebnisse der ANOVA für den Vergleich der Amplitudenausprägungen in den verschiedenen Zeitfenstern.

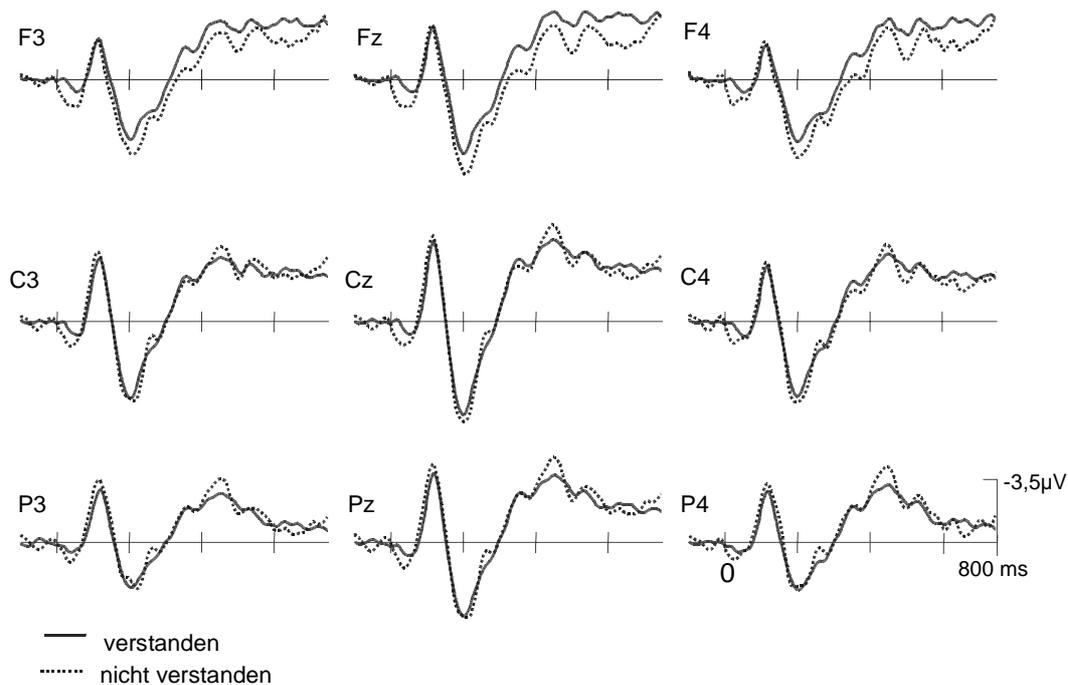


Abbildung 8: Gesamtmittelpotentiale für den Vergleich von verstandenen und nicht verstandenen Wörtern der Bedingung mit 100 ms Segmentumkehrung, abgebildet in einem Zeitbereich von -100 ms (vor Beginn des Wortes) bis 800 ms. Der Bereich von 100 ms vor dem Einsetzen des Wortes diente als Grundlinie.

Tabelle 8: Ergebnisse der globalen ANOVA für den Vergleich der verstandenen und nicht verstandenen Wörter in den verschiedenen Zeitfenstern.

Zeitfenster	Bedingung		Bedingung × Elektrodenposition	
	F(3,33)	p ≤	F(8,88)	p ≤
90 – 150 ms (Gipfelamplituden)	43,6	0,0001	3,4	n.s.
180 – 280 ms (Gipfelamplituden)	1,2	n.s.	0,3	n.s.
300 – 500 ms (mittlere Amplituden)	20,6	0,0001	1,3	n.s.
500 – 800 ms (mittlere Amplituden)	0,5	n.s.	0,1	n.s.

2.2.4 Diskussion

Mit den hier dargestellten Ergebnissen konnten die Befunde aus den Verhaltensbeobachtungen von Saberi & Perrott (1999) repliziert und auch erweitert werden. Wie in der früheren Studie konnte auch hier trotz der radikalen Veränderung der zeitlichen Struktur der sprachlichen Informationen die Mehrzahl der Wörter verstanden werden. Die lokale Zeitinvertierung der Sprachsignale führte zu verschiedenen Effekten im EKP: Die Gipfelatenz der N100-Komponente nahm mit zunehmender Segmentlänge der Zeitinvertierung in den Stimuli ab, während die Amplitude über die Bedingungen hinweg zunahm. Zwei mögliche Erklärungen für Prozesse, die diesen Effekten zugrunde liegen, kommen hierfür in Frage. Zum einen scheint es möglich zu sein, dass die Modulation der N100-Komponente die top-down Korrektur des Sprachsignals, also die Korrektur aufgrund von sprachstatistischen und anderen Kontextinformationen, auf sehr früher Verarbeitungsebene reflektiert. Das in Abbildung 6 dargestellte Beispielwort zeigt aber auch, dass durch die gewählte Invertierungsprozedur, bei der

keine Glättung der Segmentübergänge durchgeführt wurde, zu einem relativ abrupten Beginn der invertierten Reize führt. Auch Kegel (1990) berichtet, dass es bei der Wahrnehmung invertierter Stimuli zu Knackgeräuschen an den Grenzen zwischen den invertierten Segmenten kommt.

Es könnte also möglich sein, dass die Latenz- und Amplitudenmodulationen der N100 aufgrund der Veränderungen des Stimulusbeginns hervorgerufen werden. Diese Erklärung scheint jedoch aus zwei Gründen wenig wahrscheinlich: Einerseits wird hierdurch nicht erklärt, warum es zu einem stetigen Anstieg der Amplitude mit zunehmender Segmentlänge kommt. Andererseits zeigt der Vergleich zwischen den Wörtern (100-ms-Bedingung), die verstanden wurden, und denen, die nicht verstanden wurden, dass hier ebenfalls ein signifikanter Unterschied gefunden wird, obwohl gleiche experimentelle Verhältnisse vorliegen. Somit erscheint es durchaus möglich, dass die Modulation der N100-Komponente ein elektrophysiologisches Korrelat einer frühen Korrektur des Sprachsignals widerspiegelt.

Die experimentellen Effekte, die für spätere Komponenten nachgewiesen wurden, lassen sich nicht durch exogene Faktoren erklären. Hier wurde eine frontozentral verteilte Negativität für alle zeitinvertierten Bedingungen im Verhältnis zur nicht invertierten Bedingung gefunden. Auch dieser Effekt ist folglich als Korrelat einer auf späterer Ebene, z. B. auf der Ebene des lexikalischen Zugriffs erfolgende Korrektur zeitinvertierter sprachlicher Stimuli zu diskutieren. Hier ergibt sich die Frage, in welcher Beziehung diese späte Negativität zur so genannten N400-Komponente steht. Diese wurde erstmals von Kutas und Hillyard (1980) für semantisch abweichende Wörter am Ende eines Satzes beschrieben. Eine Vielzahl mittlerweile vorliegender Befunde legt nahe, dass es sich bei der N400 um ein Korrelat der semantischen Verarbeitung handelt. Je leichter sich ein Wort verstehen lässt, umso kleiner ist die N400-Komponente (Chwilla et al., 1995). Latenz, Polarität und topografische Verteilung legen eine Verwandtschaft der im vorliegenden Experiment beobachteten späten Negativität mit der N400 zumindest nahe. Das würde bedeuten, dass die zeitinvertierten Stimuli größere Anforderungen an das Verstehenssystem stellen.

Die erhaltene Verstehensleistung der invertierten Stimuli kann möglicherweise auch auf den Erhalt der globalen Hülle des Sprachspektrums zurückgeführt werden. Der Zusammenhang zwischen spektralen und zeitlichen Informationen während der Sprachwahrnehmung ist von Fu, Galvin und Wang (2001) diskutiert worden. Bei der Präsentation zeitverzerrter Sätze (in diesem Fall langsamer oder schneller im Vergleich zur normalen Sprechgeschwindigkeit abgespielte Sätze) zeigten Normalhörende keine Beeinträchtigung der Hörleistung, wohingegen Patienten mit einem Cochleaimplantat jene zeitverzerrten Signale nicht verstehen konnten. Die Autoren erklären diesen Befund mit der Annahme, dass die spektrale Auflösung sprachlicher Reize bei Patienten mit einer geschädigten Hörschnecke und einem eingesetzten Implantat herabgesetzt ist und aus diesem Grunde zeitverzögerte Signale schlechter wahrgenommen werden können. In der vorliegenden Untersuchung ist das Sprachspektrum trotz der Inversion dagegen erhalten und dient möglicherweise ebenfalls einer kognitiven Korrektur.

Zusammenfassend kann man festhalten, dass die hier vorliegende Untersuchung einen weiteren Beleg dafür liefert, dass das Sprachverstehen trotz ungünstiger Wahrnehmungsbedingungen, wie zum Beispiel bei Verzerrung der zeitlichen Struktur sprachlicher Informationen, in weiten Grenzen erhalten bleibt. Gleichzeitig existieren jedoch gute Belege, dass die zeitliche Feinstruktur des Sprachsignals für das Sprachverstehen unter bestimmten Umständen wichtig sein kann (Tallal et al., 1993; Merzenich et al., 1996; von Steinbüchel, 1998). Beide Sichtweisen können zusammengeführt werden, wenn man davon ausgeht, dass das Sprachverstehen immer das Ergebnis der Wechselwirkung zwischen den ankommenden Sinnesdaten (bottom-up Informationen) und der dem Individuum innewohnenden Kontextinformationen (top-down Informationen) ist. Je nachdem, ob ein Experiment die genaue zeitliche Analyse des Stimulus erfordert, um etwa Ambiguitäten (z. B. zwischen Boden und Boten) aufzulösen oder nicht (wie hier im Experiment), kann das Verhältnis zwischen top-down und bottom-up Informationen unterschiedlich gewichtet werden.

2.3 Experiment 2: Einfluss des Satzkontextes auf die Identifikation zeitinvertierter Sprachsignale

2.3.1 Einleitung

Wie im vorangegangenen Experiment gezeigt wurde, ist die Einhaltung der genauen zeitlichen Feinstruktur akustischer Sprachreize nicht unbedingt notwendig, um das Verstehen dieser Stimuli zu gewährleisten. Im folgenden Experiment soll nun noch deutlicher auf die Rolle der top-down Verarbeitung während der Wahrnehmung akustischer Sprachsignale eingegangen werden.

Der Einfluss der top-down Korrektur eintreffender (bottom-up) Informationen im Sprachverstehensprozess ist in vorangegangenen Studien mit Hilfe der Modulation der semantischen Kongruenz (Kutas und Hillyard, 1980) sowie der Veränderung der so genannten Cloze-Probability (Erwartungswahrscheinlichkeit) jener Wörter am Satzende (Kutas und Hillyard, 1984; Van Petten und Kutas, 1991; Chwilla et al., 1995) gezeigt worden. Grundlage dieser Annahme ist, dass mit einem Satz Informationen und Erwartungen hinsichtlich des Kontextes langsam aufgebaut werden, also Erwartungen für ein spezielles Wort am Satzende mit entsprechender semantischer Passung. Bei Wörtern, die sich als semantisch inkongruent zum vorangehenden Satzinhalt herausstellten, konnte eine stärker ausgeprägte Negativität mit einer maximalen Ausprägung bei 400 ms beobachtet werden (Kutas & Hillyard, 1980). Kutas und Hillyard (1984) zeigten zusätzlich eine stärker ausgeprägte Negativität zwischen 250 - 600 ms nach dem Einsetzen des Stimulus für Wörter am Satzende, bei denen die Sätze eine geringe Erwartungswahrscheinlichkeit (Cloze-Probability – CP) aufweisen im Vergleich zu Wörtern mit einer hohen Erwartungswahrscheinlichkeit. Während die ersten Studien zur Untersuchung von Satzmaterial mit unterschiedlicher Erwartungshaltung für das letzte Wort am Satzende mit visuellem Material erfolgten (Kutas und Hillyard, 1984), wurden ähnliche Befunde mit akustischem Material beobachtet (Connolly und Phillips, 1994). Offensichtlich stellt eine hohe Erwartung, also z.B. bei Sätzen mit einer hohen CP, mehr Informationen für eine kognitive Restauration von bottom-up Informationen zur Verfügung als weniger vorhersehbare Informationen. Demzufolge wurden im zweiten Experiment Sätze mit unterschiedlich ausgeprägter Erwartungswahrscheinlichkeit (hoch versus gering) entwickelt. Zusätzlich wurde bei diesen Wörtern der semantische Bezug des letzten Wortes zum vorangegangenen Satz manipuliert (semantisch kongruent versus inkongruent). Des Weiteren wurden die letzten Wörter in ihrer Wahrnehmungsqualität hinsichtlich ihrer zeitlichen Struktur verändert, angelehnt an das erste Experiment (zeitlich nicht invertiert versus zeitlich invertiert).

Es soll in diesem Experiment untersucht werden, ob sich auch hier in der Veränderung der Amplitude und Latenz der N100-Komponente eine früh einsetzende Korrektur der Verarbeitung sprachlicher Stimuli zeigt. Auf der anderen Seite wird aufgrund des experimentellen Aufbaus eine N400 vermutet (Kutas und Hillyard, 1980, 1984), deren Ausprägung im Vergleich zwischen invertierten und nicht invertierten Stimuli betrachtet werden soll.

Um die Interaktion zwischen top-down und bottom-up Informationsverarbeitungsprozessen während des Sprachverstehens näher zu untersuchen, wurde deshalb im folgenden Experiment die perzeptuelle Qualität der Sprachstimuli (nicht invertiert versus invertiert), die Vorhersagbarkeit eines bestimmten Wortes aus dem Inhalt des vorangegangenen Satzes (hohe Erwartungswahrscheinlichkeit versus geringe Erwartungswahrscheinlichkeit) und der semantische Bezug des letzten Wortes zum vorhergehenden Satz (semantisch kongruent versus inkongruent) in einem 2 x 2 x 2 Faktorendesign verändert.

2.3.2 Methode

Konstruktion des Materials:

Es wurden insgesamt 150 Sätze mit einer Länge von 5 – 12 Wörtern konstruiert, von denen angenommen wurde, dass sie eine unterschiedliche Vorhersagbarkeit für ein bestimmtes Wort am Ende eines Satzes hatten. Jene Sätze mit Ausnahme des letzten Wortes wurden in Form eines Fragebogens an 20 Probanden (davon 15 weibliche, im Altersbereich zwischen 21 und 34 Jahren) gegeben. Die Aufgabe der Probanden sollte es sein, die Sätze mit einem Wort zu vervollständigen, das ihnen spontan einfällt. Diese Methode zur Ermittlung der unterschiedlichen Cloze-Wahrscheinlichkeit ist schon von verschiedenen Autoren angewandt worden (Chwilla et al., 1995; van den Brink, Hagoort & Brown, 2001; Swaab et al., 2003: Hohe CP bei Swaab et al.: > 45 % hohe Erwartungswahrscheinlichkeit; van den Brink, Hagoort & Brown: > 50 %).

Auf Grundlage dieses Cloze-Testes wurden zwei Gruppen mit je 60 Sätzen ermittelt, wobei eine Gruppe von Sätzen eine Erwartungswahrscheinlichkeit von über 70 % hatte und demzufolge Sätze mit hoher Erwartungswahrscheinlichkeit genannt wurden. Die anderen 60 Sätze hatten eine geringe Erwartungswahrscheinlichkeit von weniger als 30 %, das heißt jene Sätze wurden nur von weniger als 30 % der Probanden mit einem bestimmten Wort beendet. Diese Sätze wurden dann genutzt, um die weiteren Stimulusvariationen vorzunehmen. Durch den Austausch des letzten Wortes eines Satzes mit einem Satz, zu dem dieses letzte Wort semantisch nicht passt (unter Berücksichtigung der gleichen Wortklasse und Silbenanzahl), konnten semantisch kongruente und inkongruente Sätze, getrennt für die Sätze mit hoher und geringer CP konstruiert werden. Beispielsätze für die unterschiedlichen Bedingungen sind in Tabelle 9 dargestellt. Alle Endwörter hatten eine mittlere Auftretenswahrscheinlichkeit von 10-100/Million (CELEX, Baayen et al., 1993). Die Endwörter bestanden aus ein- bis viersilbigen deutschen Verben und Substantiven mit einer mittleren Dauer von 800 ms. Die Endwörter wurden von einem erfahrenen männlichen Sprecher mit einer normalen Sprechgeschwindigkeit und Intonation auf einem Computer mit dem Programm Sound Forge 6.0 © aufgenommen bei 16 kHz Stereo und einer Sampling-Rate von 44.1 kHz. In den Audio-Dateien wurden stumme Phasen am Anfang und am Ende herauseditiert, so dass diese exakt am Anfang des Wortes begannen.

Alle Endwörter wurden zusätzlich mit einem Verfahren invertiert, das im Experiment 1 schon angewandt worden ist. Die aufgenommenen Wörter wurden digitalisiert und in Segmente unterteilt, beginnend mit dem Anfang des Wortes. Jedes Segment wurde dann zeitlich umgekehrt, wobei die Segmentgrenzen nicht weiter bearbeitet wurden. Da in diesem Experiment bei der Wahrnehmung invertierter Stimuli weitere Informationen wie Vorhersagbarkeit und semantischer Bezug für das Verstehen hinzukommen, ist in diesem Fall bei der Invertierung eine Segmentlänge von 100 ms benutzt worden, also jene Segmentlänge, die im vorangegangenen Experiment am wenigsten verstanden wurde.

Demzufolge können acht Versuchsbedingungen voneinander unterschieden werden:

1. nicht invertiert, semantisch kongruent, hohe CP (> 70 %);
2. invertiert, semantisch kongruent, hohe CP;
3. nicht invertiert, semantisch inkongruent, hohe CP;
4. invertiert, semantisch inkongruent, hohe CP;
5. nicht invertiert, semantisch kongruent, geringe CP (< 30 %);
6. invertiert, semantisch kongruent, geringe CP;
7. nicht invertiert, semantisch inkongruent, geringe CP;
8. invertiert, semantisch inkongruent, geringe CP.

Tabelle 9: Beispielsätze für die Bedingungen mit hoher und geringer Erwartungswahrscheinlichkeit (CP), jeweils mit einem zum vorangehenden Satz semantisch passenden Wort (kongruent) oder nicht passenden Wort (inkongruent).

Bedingung	Beispielsatz
hohe CP, kongruent	Der hungrige Bär stieß seine Nase in den süßen <i>Honig</i> .
hohe CP, inkongruent	Der hungrige Bär stieß seine Nase in den süßen <i>Spielplatz</i> .
geringe CP, kongruent	Das Mädchen verkaufte ihre <i>Bücher</i> .
geringe CP, inkongruent	Das Mädchen verkaufte ihre <i>Freunde</i> .

Es wurden für jede einzelne Bedingung 60 Stimuli dargeboten, 480 Sätze insgesamt für jede Versuchsperson. Demnach wurde jeder Satz im gesamten Experiment viermal dargeboten. Um eine zu häufige Wiederholung der Sätze zu vermeiden, wurde das Experiment in zwei Sitzungen aufgeteilt, wodurch jeder Satz einmal in der kongruenten Bedingung und einmal in der inkongruenten Bedingung pro Sitzung präsentiert wurde, einmal mit einem invertierten und einmal mit einem nicht invertierten Stimulus.

Die Sätze wurden, bis auf das letzte Wort, visuell Wort für Wort nacheinander in der Mitte eines 21-Zoll-Monitors (Auflösung: 1024 x 768, im Abstand von 100 cm zu den Augen der Versuchsperson) mit einer Dauer von 500 ms dargeboten. Um zu starke Farbkontraste, Bildschirmflimmern und Augenartefakte zu verringern, wurden die Wörter in weißen Buchstaben auf einem dunkelgrauen Hintergrund präsentiert (mit dem Programm Presentation 4.5 © aus www.neurobehavioralsystems.com). Die Endwörter der Sätze wurden akustisch über Lautsprecher dargeboten, die sich frontal vor dem Probanden befanden. Ungefähr 600 ms nach dem letzten visuellen Wort begann der akustische Stimulus. Diese Zeitparameter wurden ge-

wählt, um die gemessene elektrophysiologische Hirnaktivität später auch tatsächlich der Verarbeitung der relevanten Sprachstimuli und der auditiven Verarbeitung zuzuordnen.

Jedem Satz folgte 1500 ms nach dem Beginn des akustischen Wortes schriftlich in der Mitte des Bildschirms eine Aufforderung an die Versuchspersonen („Bitte wiederholen Sie, was Sie gehört haben.“). Die Versuchspersonen sollten laut aussprechen, welches Wort sie als das letzte akustisch präsentierte verstanden hatten. Hatten die Probanden nichts verstanden, dann sollten sie kurz „nichts“ sagen. Während des Experimentes wurden die Antworten der Probanden vom Versuchsleiter kontrolliert und im Falle von falschen Antworten oder „Nichts“-Antworten im EEG-Aufnahmeprogramm markiert. Weiterhin wurden die Antworten zusätzlich digital aufgenommen, um eine spätere Überprüfung durchführen zu können. Jede der zwei Versuchssitzungen dauerte ungefähr eine Stunde. Dabei wurden den Versuchspersonen jeweils acht Blöcke mit je 30 Sätzen präsentiert, zwischen denen die Probanden eine Pause machen konnten. Die Reihenfolge der zu präsentierenden Blöcke wurde über die Versuchspersonen und Sitzungen in Form des Lateinischen-Quadrat-Design verteilt. Vor dem Beginn des Experimentes wurde den Probanden eine Übungsliste mit 5 Sätzen dargeboten (mit zufälligen Bedingungen hinsichtlich der Endwörter), welche in den Versuchslisten nicht vorkamen. Mit dieser Übung konnten sich die Probanden auf die Versuchssitzung einstellen.

Versuchspersonen:

Insgesamt nahmen dreizehn rechtshändige Versuchspersonen an der Untersuchung teil (alle weiblich, im Alter zwischen 19 – 32 Jahren). Alle Probandinnen hatten deutsch als Muttersprache und nach eigenen Angaben keine neurologischen, akustischen oder visuellen Beeinträchtigungen. Aufgrund zu starker Augenartefakte wurden die Daten einer Versuchsperson aus der Analyse herausgenommen. Keiner der Versuchspersonen nahm am vorangegangenen Experiment oder am Cloze-Test teil. Sie wurden aus der Versuchspersonendatei der Arbeitsgruppe für Neuropsychologie der Otto-von-Guericke Universität Magdeburg entnommen und für ihre Teilnahme bezahlt oder erhielten Versuchspersonenstunden.

EEG-Aufnahme

Die Aufnahme des Elektroenzephalogramms erfolgte über die gleichen Elektroden, mit den gleichen Verstärkern, Bandpassfiltern und der gleichen Abtastrate wie in Experiment 1. Für die Korrektur möglicher im Signal enthaltene Artefakte wurden jene Segmente nicht in der Auswertung betrachtet, die eine Amplitude von mehr als $\pm 100 \mu\text{V}$ (für die Augenkanäle) bzw. $\pm 75 \mu\text{V}$ (Skalpkanäle) aufwiesen.

Die ereigniskorrelierten Potentiale wurden für alle Bedingungen getrennt gemittelt, dabei wurden die verstandenen und die nicht verstandenen Wörter einzeln analysiert. Es wurde ein Zeitbereich von 100 ms vor dem Beginn des akustischen Wortes bis 900 ms danach ausgewählt. Die Daten beider Versuchssitzungen jeder Versuchsperson wurden für die Analyse zusammengefasst. Hirnpotentiale wurden in der Ausprägung ihrer mittleren Amplitude, der

Gipfelamplitude und der Gipfellatenz ausgewertet. Die statistische Analyse erfolgte mit Hilfe von Varianzanalysen mit Messwiederholung (ANOVA) mit den Faktoren *Inversion* (nicht invertiert / invertiert), *Erwartungswahrscheinlichkeit* (hohe CP / geringe CP), *Kongruenz* (semantisch kongruent / inkongruent) und *Elektrodenposition* (F3/4, C3/4, P3/4, Fz, Cz, Pz) als Innersubjekt-Faktoren. Die Analyse wurde auf die angegebenen Elektrodenpositionen beschränkt, da sich hier die größten Effekte fanden. Auf Grundlage visueller Inspektion der mittleren Potentiale (siehe Abbildung 11 und 12) wurden für die Analyse die Zeitfenster zwischen 100 – 200 ms, 200 – 300 ms, 400 – 600 ms und 600 – 800 ms nach Beginn des akustischen Stimulus gewählt. Die Darstellung der Ergebnisse bezieht sich zunächst auf die verstandenen Wörter. Am Ende des Ergebnisteils wird zusätzlich der Vergleich zwischen verstandenen und nicht verstandenen Wörtern berichtet.

2.3.3 Ergebnisse

In der Ergebnisdarstellung werden zunächst die Verhaltensdaten, das heißt, die Anzahl der verstandenen Wörter in den einzelnen Bedingungen berichtet. Danach werden die mittleren Hirnpotentiale beschrieben und die statistische Analyse in den einzelnen Zeitfenstern dargestellt, wobei als erstes die globale ANOVA und anschließend die Paaranalysen für den Vergleich der einzelnen Bedingungen untereinander aufgeführt werden.

Verhaltensdaten

Es wurden insgesamt 25,2 % (Std. = 2,7) der präsentierten Wörter nicht verstanden. Die Anzahl der nicht verstandenen Wörter getrennt für die einzelnen Versuchsbedingungen, ist in Tabelle 10 dargestellt. Es wurden ausschließlich invertierte Wörter nicht verstanden.

Die statistischen Analysen ergab, dass insgesamt weniger inkongruente invertierte Wörter verstanden wurden (signifikante Interaktion der Faktoren *Kongruenz* und *Verständlichkeit* $F(1,11) = 292,1$; $p=0,001$) und Wörter mit geringer Erwartungswahrscheinlichkeit ($F(1,11) = 184,3$; $p = 0,001$), wobei inkongruente Wörter mit geringer Erwartungswahrscheinlichkeit am wenigsten verstanden wurden (Interaktion der Faktoren *Kongruenz* x *Erwartungswahrscheinlichkeit* x *Verständlichkeit*: $F(1,11) = 8,0$; $p = 0,01$). Post-hoc Paaranalysen ergaben, dass die Anzahl der verstandenen und nicht verstandenen Wörter in allen Versuchsbedingungen statistisch signifikant unterschiedlich war (Tabelle 10).

Tabelle 10: Angaben der Anzahl nicht verstandener Wörter in den einzelnen Versuchsbedingungen und bezogen auf den Prozentsatz aller nicht verstandenen Wörter insgesamt. Im letzten Teil der Tabelle sind die Ergebnisse der einfaktoriellen ANOVA für die Paarvergleiche der unterschiedlichen Bedingungen zueinander dargestellt. Die Analyse bezieht sich auf die Absolutwerte der Anzahl verstandener bzw. nicht verstandener Wörter.

Bedingung	Mittelwert nicht ver- standener Wörter	Standard- abweichung	Prozentsatz an Gesamtanzahl aller nicht verstandenen Wörter in %
Hohe CP – kongruent – invertiert	8,8	6,6	7,3
Hohe CP – inkongruent – invertiert	37,5	9,4	31,1

geringe CP – kongruent – invertiert	26,2	8,5	21,7
geringe CP – inkongruent – invertiert	47,0	7,5	38,8
Paaranalysen	df	F	p ≤
Hohe CP, kon, inv, verst – hohe CP, kon, inv, n-verst	1,11	123,8	0,003
Hohe CP, inkon, inv, verst – hohe CP, inkon, inv, n-verst	1,11	6,0	0,03
Geringe CP, kon, inv, verst – geringe CP, kon, inv, n-verst	1,11	5,1	0,04
geringe CP, inkon, inv, verst – geringe CP, inkon, inv, n-verst	1,11	59,7	0,001

EKP- Daten

Zunächst erfolgte der Vergleich zwischen invertierten und nicht invertierten Stimuli, wobei hier alle anderen Bedingungen zusammengefasst wurden. Danach werden die Ergebnisse für die Faktoren CP und Kongruenz getrennt für die invertierten und die nicht invertierten Wörter berichtet und Paarvergleiche einzelner Bedingungen dargestellt. Am Ende erfolgt der Vergleich zwischen verstandenen und nicht verstandenen Wörtern.

Vergleich zwischen nicht invertierten und invertierten Wörtern

Die ereigniskorrelierten Potentiale für die korrekt identifizierten Wörter der nicht invertierten und invertierten Bedingungen sind in Abbildung 9 zu sehen. Die abgebildeten Potentiale zeigen die zusammengefassten Daten für kongruente und inkongruente Wörter mit hoher und geringer CP.

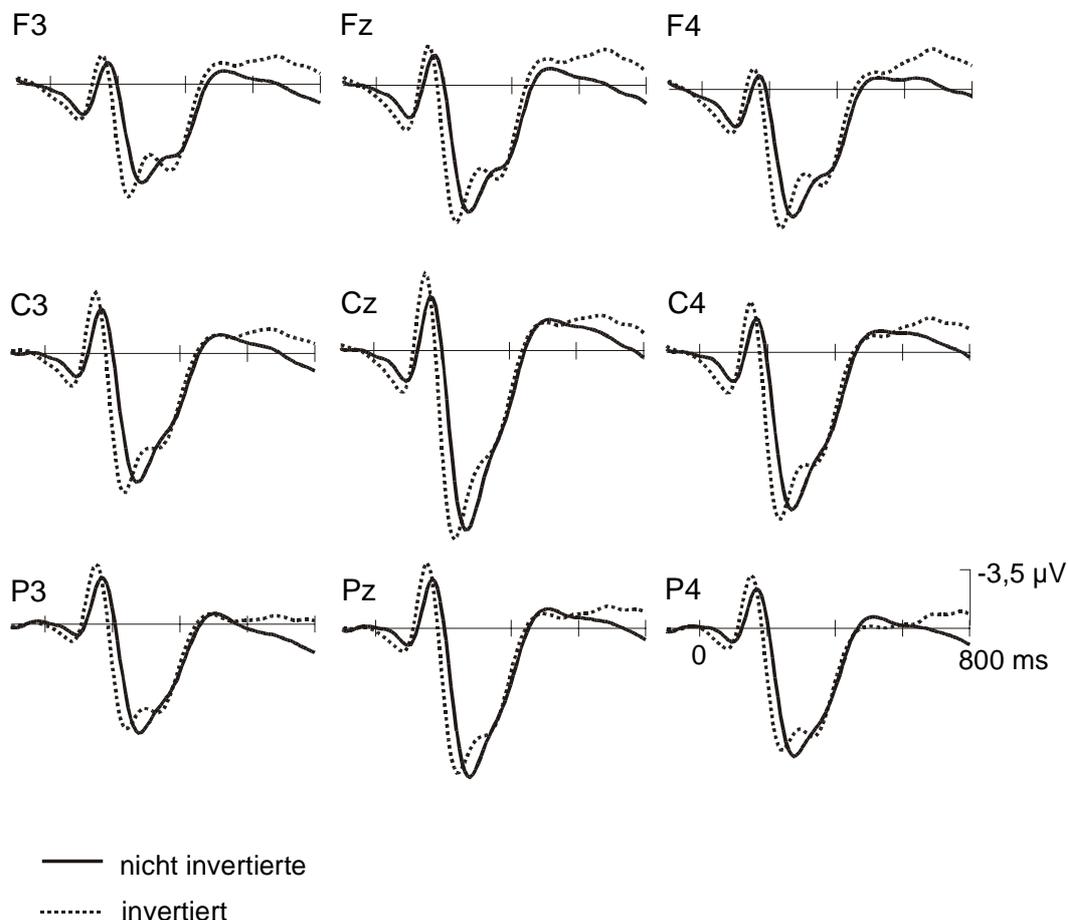


Abbildung 9: Gesamtmittelpotentiale für den Vergleich invertierter (Punktlinie) und nicht invertierter Wörter (durchgezogene Linie), wobei Wörter mit unterschiedlicher semantischer Kongruenz und Erwartungswahrscheinlichkeit zusammengefasst wurden. Die Abbildung bezieht sich auf jene neun Elektroden, an denen die Unterschiede zwischen den Bedingungen am deutlichsten sind. An der Elektrode Cz sind die Amplitudenunterschiede am stärksten ausgeprägt.

Die ereigniskorrelierten Hirnpotentiale sind gekennzeichnet durch eine frühe Negativität mit einem Maximum bei ungefähr 150 ms (N100) nach Stimulusbeginn, die eine größere Amplitude und eine früher einsetzende Gipfellatenz für die zeitinvertierten Stimuli aufweist. Dieser Negativität folgt eine Positivität, die ungefähr bei 200 ms einsetzt und eine maximale Amplitude bei 280 ms erreicht. Im weiteren Verlauf des EKP-Signals ist eine sich langsam aufbauende Negativität sichtbar, die ihr Maximum bei ungefähr 700 ms für die invertierten Wörter und bei ungefähr 500 ms für die nicht invertierten Wörter erreicht. Wie in Abbildung 10 zu sehen, ist diese Negativität ebenfalls für die invertierten Wörter stärker und im zeitlichen Verlauf später ausgeprägt.

Die Werte der ANOVA (Tabelle 11) zeigen deutlich, dass es einen signifikanten Unterschied zwischen nicht invertierten und invertierten Wörtern in allen Zeitfenstern gibt, mit Ausnahme des Zeitbereiches zwischen 400 - 600 ms.

Tabelle 11: Ergebnisse der globalen ANOVA für die Faktoren Inversion (Inv), Erwartungswahrscheinlichkeit (CP), Kongruenz (Kon) und Elektrodenposition (EL) in den unterschiedlichen Zeitfenstern. Die Berechnung bezieht sich in den ersten beiden Zeitfenstern (100-200 ms und 200-300 ms) auf die Werte der Gipfelamplituden und in den letzten beiden Zeitfenstern (400-600 ms und 600-800 ms) auf die Werte der mittleren Amplituden.

Faktor	df	100-200 ms		200-300 ms		400-600 ms		600-800 ms	
		F	p≤	F	p≤	F	p≤	F	p≤
Inv	1,11	30,6	0,001	4,5	0,05	5,1	0,05	13,5	0,003
CP	1,11	2,3	n.s.	0,6	n.s.	11,9	0,005	46,1	0,001
Kon	1,11	4,8	0,05	0,02	n.s.	7,3	0,02	13,9	0,003
EL	8,88	11,7	0,001	15,3	0,001	2,1	n.s.	8,4	0,001
Inv × EL	8,88	2,8	0,03	4,3	0,005	2,2	n.s.	3,3	0,01
Cp × EL	8,88	0,8	0,001	1,6	n.s.	2,3	n.s.	4,0	0,03
Kon × EL	8,88	0,7	n.s.	3,6	0,04	8,3	0,002	4,2	0,005
Inv × CP	1,11	0,1	n.s.	0,01	n.s.	0,1	n.s.	0,6	n.s.
Inv × Kon	1,11	2,5	n.s.	2,8	n.s.	37,3	0,001	0,1	n.s.
CP × Kon	1,11	2,3	n.s.	5,6	0,03	10,2	0,01	0,01	n.s.

100-200 ms

Die Gipfellatenz im Zeitfenster zwischen 100 – 200 ms ist für die invertierten Wörter im Vergleich zu den nicht invertierten signifikant kürzer, wobei über die unterschiedlichen Stufen der Faktoren CP und Kongruenz gemittelt wurde. Die invertierten Wörter zeigten einen Beginn der Latenz der N100 bei 151,2 ms (Std. = 12,2), die nicht invertierten bei 170,5 ms (Std. = 14,3) ($F(1,11) = 110,9$; $p \leq 0,0001$).

Der Paarvergleich der nicht invertierten und invertierten Wörter mit hoher Erwartungswahrscheinlichkeit und semantischer Kongruenz zeigten signifikante Unterschiede des Ausmaßes der Gipfelamplitude an allen neun Elektroden ($F(1,11) = 6,6$; $p \leq 0,02$). Auch der Vergleich der nicht invertierten und invertierten Wörter mit geringer Erwartungswahrscheinlich-

keit und semantischer Kongruenz zeigte einen signifikanten Unterschied ($F(1,11) = 10,1$, $p \leq 0,01$). Es zeigte sich aber kein Unterschied zwischen nicht invertierten und invertierten Wörtern, die semantisch inkongruent zum vorhergehenden Satz waren (bei hoher und geringer Erwartungswahrscheinlichkeit).

200 – 300 ms

Die sich anschliessende Positivität wurde im Zeitfenster zwischen 200-300 ms quantifiziert. Nach der statistischen Analyse zeigte sich, dass die Gipfelamplituden der invertierten Wörter signifikant stärker (durchschnittliche Ausprägung an allen neun Elektroden: $10,6 \mu\text{V}$, Std. = $4,3$) als die der nicht invertierten Wörter (im Durchschnitt $9,5 \mu\text{V}$, Std. = $3,6$) ausgeprägt sind ($F(1,11) = 5,46$; $p = 0,03$). Darüber hinaus besteht ein signifikanter Haupteffekt für den Faktor Elektrodenposition ($F(8,88) = 17,4$; $p \leq 0,001$) und eine signifikante Interaktion zwischen den Faktoren Inversion und Elektrodenposition ($F(8,88) = 4,1$; $p \leq 0,001$). Aufgrund dessen wurde eine weitere Analyse vorgenommen, die den Vergleich der Ausprägung der nicht invertierten und invertierten Wörtern an den einzelnen Elektroden beinhaltete. Dabei ergab sich ein signifikanter Effekt für den Faktor Inversion an den Elektroden F3, F4, C3, C4, Fz und Cz.

Der Paarvergleich der nicht invertierten und invertierten Wörter mit hoher CP (kongruent) zeigte eine signifikante Interaktion zwischen den Faktoren Inversion und Elektrodenposition ($F(8,88) = 4,0$; $p = 0,01$), deren Auflösung einen signifikanten Unterschied zwischen invertierten und nicht invertierten Wörtern (hohe CP, kongruent) an den frontalen Elektroden F3, F4 und Fz deutlich machte.

Die weiteren Paarvergleiche zwischen den nicht invertierten und invertierten Wörtern (hohe CP, inkongruent; geringe CP, kongruent und inkongruent) zeigten keine signifikanten Unterschiede.

Die Gipfelatenz der P200-Komponente zeigte sich deutlich früher bei den invertierten Wörtern ($242,6 \text{ ms}$, Std. = $26,1$) im Vergleich zu den nicht-invertierten ($272,4 \text{ ms}$, Std. = $17,3$; $F(1,11) = 86,8$; $p \leq 0,001$).

400 – 600 ms

Die statistische Berechnung des Vergleichs der nicht invertierten und invertierten Wörter im Zeitfenster zwischen 400 – 600 ms zeigte eine signifikante Interaktion zwischen den Faktoren Inversion und Elektrodenposition ($F(8,88) = 3,2$, $p \leq 0,02$). Zusätzliche Analysen für die einzelnen Elektroden zeigten signifikante Effekte für den Faktor Inversion an den Elektroden F3 ($F(1,11) = 13,2$, $p = 0,02$), C3 ($F(1,11) = 6,1$; $p = 0,03$) und Fz ($F(1,11) = 4,5$; $p = 0,05$).

Der Paarvergleich der nicht invertierten Wörter mit den invertierten Wörtern (hohe CP, kongruent) machte einen signifikanten Unterschied zwischen beiden Bedingungen an allen

Elektroden deutlich ($F(1,11) = 14,7, p \leq 0,002$). Ebenso war der Vergleich bei semantisch kongruenten Wörtern mit geringer CP signifikant ($F(1,11) = 9,1, p \leq 0,01$).

600 - 800 ms

Es zeigte sich weiterhin ein deutlich signifikanter Effekt für den Vergleich der nicht invertierten mit den invertierten Wörtern im Zeitfenster zwischen 600 und 800 ms ($F(1,11) = 9,5, p \leq 0,001$).

Der Vergleich zwischen nicht invertierten und invertierten Wörtern (geringe CP, kongruent) ergab einen signifikanten Effekt für den Faktor Inversion ($F(1,11) = 16,7; p \leq 0,001$).

In Abbildung 10 sind die mittleren Amplituden aller Bedingungen getrennt betrachtet für die nicht invertierten Wörter und die invertierten Wörter dargestellt für alle Mittellinien-Elektroden. Die Auswirkungen der unterschiedlichen Erwartungswahrscheinlichkeit und semantischen Kongruenz werden im gesamten Zeitbereich zwischen 100 und 800 ms sichtbar.

Die folgende Darstellung der statistischen Analysen soll zeigen, ob sich diese Auswirkungen statistisch signifikant darstellen. Deshalb wird in den unterschiedlichen Zeitfenstern der Vergleich für Wörter mit hoher und geringer CP, sowie zwischen semantisch kongruenten und inkongruenten Wörtern getrennt untersucht.

Wie in Abbildung 10 zu erkennen ist, sind die Hirnpotentiale durch eine ausgeprägte Positivität und eine Negativität bei 400 – 800 ms charakterisiert. Letztere scheint für die invertierten Wörter länger anzuhalten. Bei den nicht invertierten Bedingungen ist die N400 für semantisch inkongruente und Wörter mit geringer CP stärker ausgeprägt (Tabelle 11). Dieser klassische N400-Effekt drückt sich möglicherweise unterschiedlich für die Bedingungen mit invertierten Wörtern aus, hier dauert die Negativität insgesamt länger an als in den nicht invertierten Bedingungen.

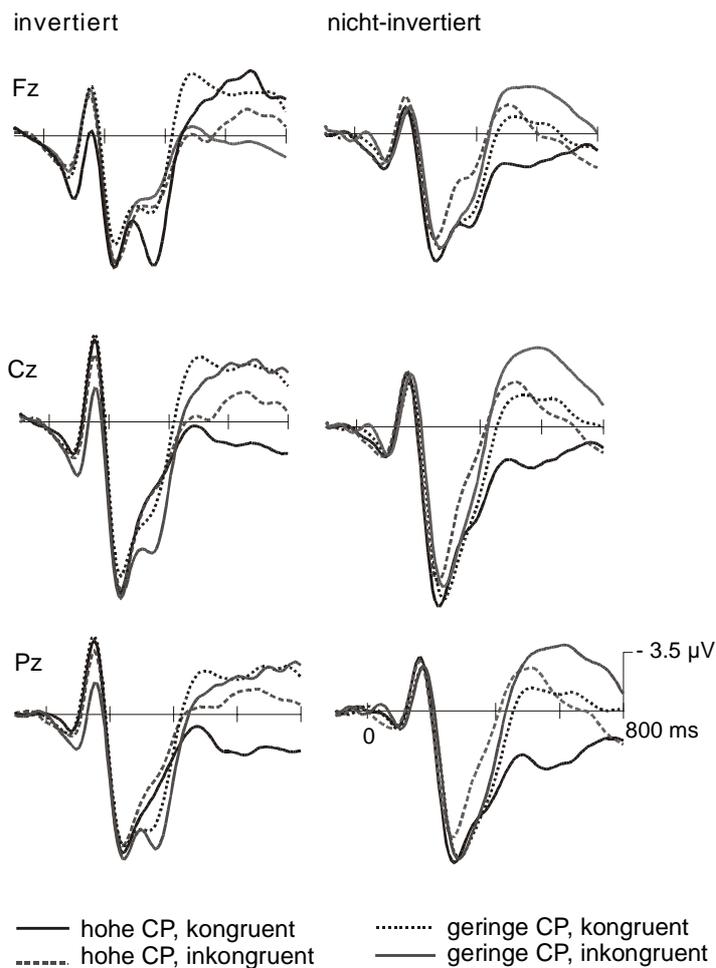


Abbildung 10: Gesamtmittelpotentiale aller experimentellen Bedingungen, getrennt betrachtet für die invertierten (links) und nicht invertierten Bedingungen (rechts) an den mittleren zentralen Elektroden (Fz, Cz und Pz) für einen Zeitbereich von 100 ms vor dem Beginn des akustischen Wortes bis 800 ms danach. Die mittlere Aktivität im Bereich von 100 ms vor dem Einsetzen des Wortes bis zum Beginn diente als Grundlinie für die Ermittlung der Potentiale. Es sind ausschließlich verständene Wörter dargestellt.

Die Analyse der unterschiedlichen Bedingungen getrennt für nicht invertierte und invertierte Bedingungen betrachtet, ist in Tabelle 12 dargestellt. Die ANOVA beinhaltet den Vergleich der Faktoren CP (hCP/gCP), Kongruenz (kon/inkon) und Elektrodenposition (neun Elektroden siehe oben).

Tabelle 12: Ergebnisse der globalen ANOVA für den Vergleich der Faktoren Erwartungswahrscheinlichkeit (CP), Kongruenz (Kon) und Elektrodenposition, getrennt betrachtet für die invertierten und die nicht invertierten Wörter in den Zeitfenstern von 400-600 ms und 600-800 ms. Es sind ausschließlich signifikante Werte angegeben.

	df	400 – 600 ms		600 – 800 ms	
		F	p ≤	F	p ≤
Invertierte Wörter					
CP	1,11	5,0	0,04	4,3	0,001
Kon	1,11	0,6	n.s.	0,2	n.s.
EL	8,88	2,2	n.s.	4,4	0,01
CP × Kon	1,11	5,4	0,04	15,6	0,01

CP × EL	8,88	1,3	n.s.	4,0	0,01
Kon × EL	8,88	4,3	0,03	3,3	0,02
<i>nicht invertierte Wörter</i>					
CP	1,11	10,3	0,008	41,1	0,001
Kon	1,11	34,9	0,001	32,3	0,001
EL	8,88	2,0	n.s.	5,5	0,004
CP × Kon	1,11	7,7	0,02	5,6	0,04
CP × EL	8,88	3,1	n.s.	7,9	0,001
Kon × EL	8,88	9,8	0,001	4,6	0,004

Vergleich der invertierten Bedingungen untereinander

Nachdem in den Zeitfenstern zwischen 100 - 200 ms und 200 – 300 ms keine signifikanten Unterschiede ermittelt werden konnten, wurde weiter im Zeitfenster zwischen 400 – 600 ms und 600 – 800 ms getestet (Tabelle 12). Es ergab sich ein signifikanter Haupteffekt für den Faktor Erwartungswahrscheinlichkeit, sowie eine signifikante Interaktion zwischen den Faktoren Kongruenz, CP und Elektrodenposition ($F(8,88) = 4,0$; $p = 0,01$). Um dieser Interaktion nachzugehen, wurden Paarvergleiche für die einzelnen Bedingungen vorgenommen. Dabei ergab sich, dass sich kongruente und inkongruente Wörter mit hoher CP in diesem Zeitfenster nicht signifikant unterscheiden, wohingegen semantisch kongruente und inkongruente Wörter mit geringer CP signifikant unterschiedlich stark ausgeprägte Amplituden an den Elektroden F3, F4, C3, C4 und Cz aufweisen ($F3: F(1,11) = 7,0$; $p = 0,02$; $F4: F(1,11) = 6,2$; $p = 0,02$; $C3: F(1,11) = 6,5$; $p = 0,01$; $C4: F(1,11) = 3,0$; $p = 0,05$; $Cz: F(1,11) = 4,9$; $p = 0,04$).

Ein reliabler Unterschied zwischen semantisch kongruenten und inkongruenten Wörtern mit hoher CP konnte im Zeitfenster zwischen 600 - 800 ms nachgewiesen werden ($F(1,11) = 12,6$; $p \leq 0,001$; Haupteffekt Elektrodenposition: $F(8,88) = 7,7$; $p = 0,001$; Interaktion zwischen Kongruenz und Elektrodenposition: $F(8,88) = 3,3$; $p = 0,03$).

Die Werte der mittleren Amplituden an der Elektrode Cz sind in Abbildung 11 dargestellt.

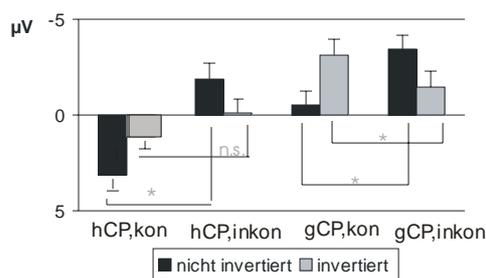


Abbildung 11: Mittlere Amplituden für die unterschiedlichen experimentellen Bedingungen im Vergleich zwischen invertierten und nicht invertierten Wörtern an der Elektrode Cz in einem Zeitbereich von 400 – 600 ms. Es sind zusätzlich mit angegeben, welche einzelnen Vergleiche signifikant sind.

Vergleich zwischen hoher und geringer Erwartungswahrscheinlichkeit

Der Vergleich der mittleren Amplituden zwischen Endwörtern aus Sätzen mit hoher und geringer CP, wobei hier alle anderen Bedingungen zusammengefasst wurden, zeigte einen signifikanten Haupteffekt für den Faktor CP in den beiden späten Zeitfenstern (400-600 ms:

$F(1,11) = 13,7$; $p \leq 0,001$ and 600-800 ms: $F(1,11) = 49,2$, $p \leq 0,001$). Die Werte der mittleren Amplituden der individuellen Bedingungen zwischen 400-600 ms an der Elektrode Cz sind in Abbildung 11 dargestellt (siehe auch Abbildung 10).

Der Vergleich der Gipfellatenzen innerhalb aller Bedingungen in den ersten beiden Zeitfenstern ergab einen signifikanten Haupteffekt für den Faktor Erwartungswahrscheinlichkeit. Der Beginn der Auslenkungen war signifikant eher für die Wörter aus Sätzen mit hoher Erwartungswahrscheinlichkeit im Vergleich zu denen mit geringer Erwartungswahrscheinlichkeit (100 – 200 ms: $F(1,11) = 21,0$; $p \leq 0,001$; Anfangslatenz bei Wörtern mit hoher CP: 159,8 ms; Std. = 12,2; geringe CP: 164,8 ms; Std. = 18,5; 200 – 300 ms: $F(1,11) = 12,4$; $p \leq 0,001$; hohe CP: 254,4 ms; Std. = 25,3; geringe CP: 260,8 ms; Std. = 27,7).

Die Differenzwellen der Hirnpotentiale sind in Abbildung 14 abgebildet. Sie wurden ermittelt, indem die Differenz zwischen der Aktivität der Wörter mit geringer CP und hoher CP einzeln für jede Versuchsperson gebildet wurden, getrennt für nicht invertierte Wörter und invertierte Wörter. Die Abbildung lässt eine N400 für alle Bedingungen erkennen, die für die invertierten Wörter verzögert auftritt. Dieser Effekt soll nun statistisch geprüft werden. Da Anfangslatenzen der N400 sich für die nicht invertierten und die invertierten Bedingungen ungefähr um 160 ms unterscheiden, wird die statistische Methode der „Fractional Area“ Latenz gewählt. Bei dieser Methode wird die Anfangslatenz einer monophasischen Komponente als derjenige Zeitpunkt definiert, an dem die Fläche unter der Kurve 50% der Gesamtfläche in einem definierten Zeitfenster erreicht hat. Im vorliegenden Fall wurde als Zeitfenster 200 bis 1000 ms gewählt und als zu erreichende Prozentzahl 50 (Elektroden Fc1/2, C3/4 und Cz). Eine für dieses Maß gerechnete ANOVA mit den Faktoren *Inversion* (*nicht invertiert*, Differenz aus geringer CP - hoher CP; *invertiert*, geringe CP - hohe CP) und *Elektrodenposition* (Fc1/2, C3/4 und Cz) zeigte einen signifikanten Haupteffekt der Gipfellatenzen ($F(1,11)=14,1$; $p = 0,003$). Der über das fractional area Maß geschätzte Beginn der N400 liegt für die nicht invertierten Wörter bei 518,9 ms (Std. = 131,9) und für die invertierten Wörter bei 675,6 ms (Std. = 65,7).

Die Verteilung der der Differenzpotentiale auf der Kopfoberfläche zeigte eine posterior-zentrale Negativität zwischen 400 - 600 ms für die nicht invertierten Bedingungen und eine stärker posterior verteilte Negativität zwischen 600 und 700 ms für die invertierten Bedingungen, dargestellt in Abbildung 12.

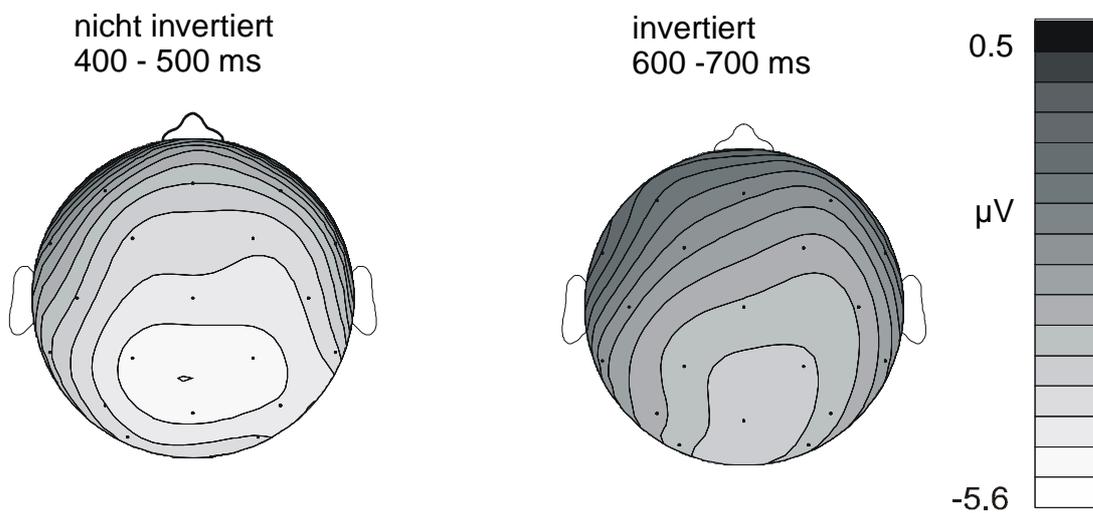
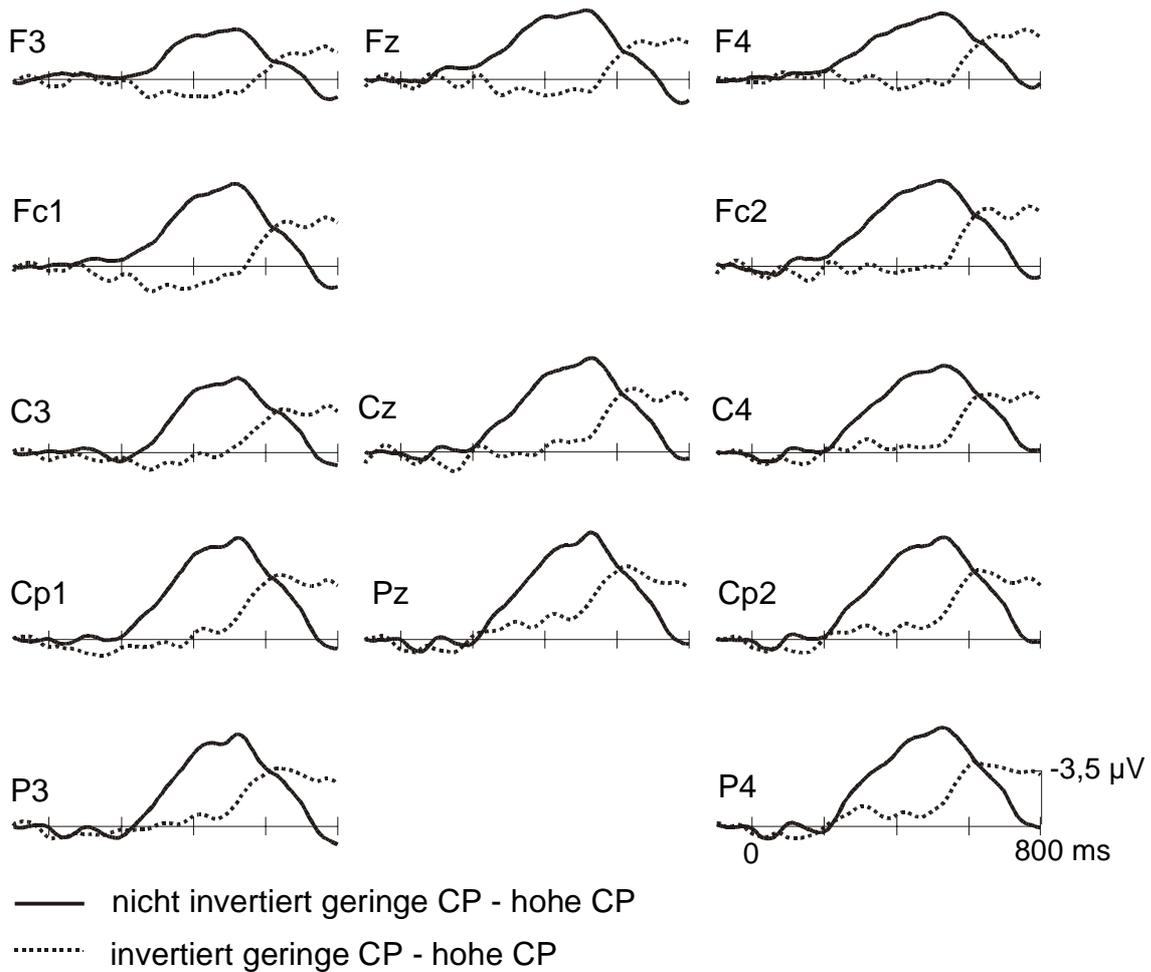


Abbildung 12: Differenzpotentiale, die aus der Differenz der Aktivierung der Wörter aus Sätzen mit geringer Erwartungswahrscheinlichkeit (CP) und Wörtern aus Sätzen mit hoher CP ermittelt wurden, getrennt betrachtet für die invertierten und die nicht invertierten Wörter in einem Zeitbereich von 100 ms vor dem Wortanfang (Grundlinie) und 800 ms danach (oben im Bild). Das Maximum der Negativität entwickelt sich für die invertierten Wörter später als für die nicht invertierten Wörter. Die untere Abbildung zeigt die topographische Verteilung der Aktivierung innerhalb der Zeitfenster, in denen das Maximum der Negativität am stärksten war: für die nicht invertierten Wörter zwischen 400 und 600 ms (links) und die invertierten Wörter zwischen 600 und 700 ms.

Eine statistische Analyse der topografischen Verteilungen erfolgte nach Normalisierung der Daten nach McCarthy & Wood (1985). Die ANOVAs wurden berechnet für die mittleren Amplituden im Zeitbereich zwischen 400 – 700 ms für die Faktoren Erwartungswahrscheinlichkeit (CP), Inversion (Inv), Hemisphäre (links gegen rechts) und sagitale Position (frontal – zentral – parietal). Es ergaben sich signifikante Interaktionen zwischen den Faktoren CP x sagitale Position ($F(3,33) = 3,3$; $p = 0,05$) und Inversion x sagitale Position ($F(3,33) = 3,2$; $p = 0,05$) sowie eine dreifache Interaktion CP x Inversion x sagitale Position ($F(3,33) = 10,04$; $p = 0,0006$). Weiterhin erreichte der Faktor Hemisphäre eine signifikante Interaktion mit dem Faktor CP ($F(2,22) = 7,01$; $p = 0,02$) und CP x Inversion x Hemisphäre ($F(3,33) = 5,4$; $p = 0,04$).

Vergleich zwischen semantisch kongruenten und inkongruenten Wörtern.

Die Analyse der mittleren Amplituden für die Faktoren Inversion, CP und Kongruenz zeigte ebenfalls einen signifikanten Haupteffekt Kongruenz ($F(1,11) = 9,1$; $p \leq 0,01$) sowohl für das Zeitfenster zwischen 400 – 600 ms als auch zwischen 600 – 800 ms ($F(1,11) = 13,6$; $p \leq 0,0001$). Die semantisch inkongruenten Wörter führten zu einer stärkeren Negativität im Vergleich zu kongruenten Wörtern sowohl in der hohen CP als auch in der geringen CP (siehe Abbildung 11). Dieser Effekt konnte nur für die nicht-invertierten Bedingungen nachgewiesen werden (400 – 600 ms: $F(1,11) = 45,7$; $p \leq 0,001$). Die invertierten Bedingungen zeigten keinen signifikanten Unterschied für den Haupteffekt Kongruenz für beide Zeitfenster (400 - 600 ms und 600 – 800 ms), wie in Tabelle 12 dargestellt, obwohl Abbildung 11 einen Unterschied vermuten lässt. An dieser Stelle wird nochmals auf die Interaktion zwischen CP und Kongruenz innerhalb der invertierten Wörter hingewiesen (siehe oben).

Vergleich der nicht invertierten Bedingungen untereinander

Für die nicht invertierten Bedingungen ergab sich ein signifikanter Unterschied zwischen Wörtern mit hoher und geringer CP und semantisch kongruenten und inkongruenten Wörtern im Zeitfenster zwischen 400 – 600 ms und zwischen 600 – 800 ms (Werte siehe Tabelle 11).

Vergleich zwischen verstandenen und nicht verstandenen Wörtern.

Die mittleren Hirnpotentiale für den Vergleich der verstandenen und der nicht verstandenen Wörter, zusammengefasst über alle Bedingungen, sind in Abbildung 15 dargestellt. Sie sind durch eine Positivität zwischen 200 – 300 ms gekennzeichnet, die stärker ausgeprägt für die nicht verstandenen Bedingungen ist. Demgegenüber ist die Negativität zwischen 400 und 600 ms Negativität geringer für die nicht verstandenen Wörter. Die statistischen Analysen mit den Faktoren Verständlichkeit (verstanden/nicht verstanden), Inversion (invertiert/nicht invertiert), CP (hohe CP/geringe CP), Kongruenz (semantisch kongruent/inkongruent) und Elektrodenposition (neun Elektroden, siehe oben) ergab einen signifikanten Haupteffekt für den Faktor Verständlichkeit innerhalb von 200 - 300 ms an der Elektrode Pz (Interaktion der Be-

dingungen mit Elektroden, was einen Einzelvergleich sinnvoll macht) ($F(1,11) = 5,3$; $p = 0,03$): Der Unterschied zwischen verstandenen und nicht verstandenen Wörtern innerhalb von 400 – 600 ms war bei einer Analyse über neun Elektroden (siehe oben) hinweg reliabel ($F(1,11) = 5,43$; $p = 0,03$).

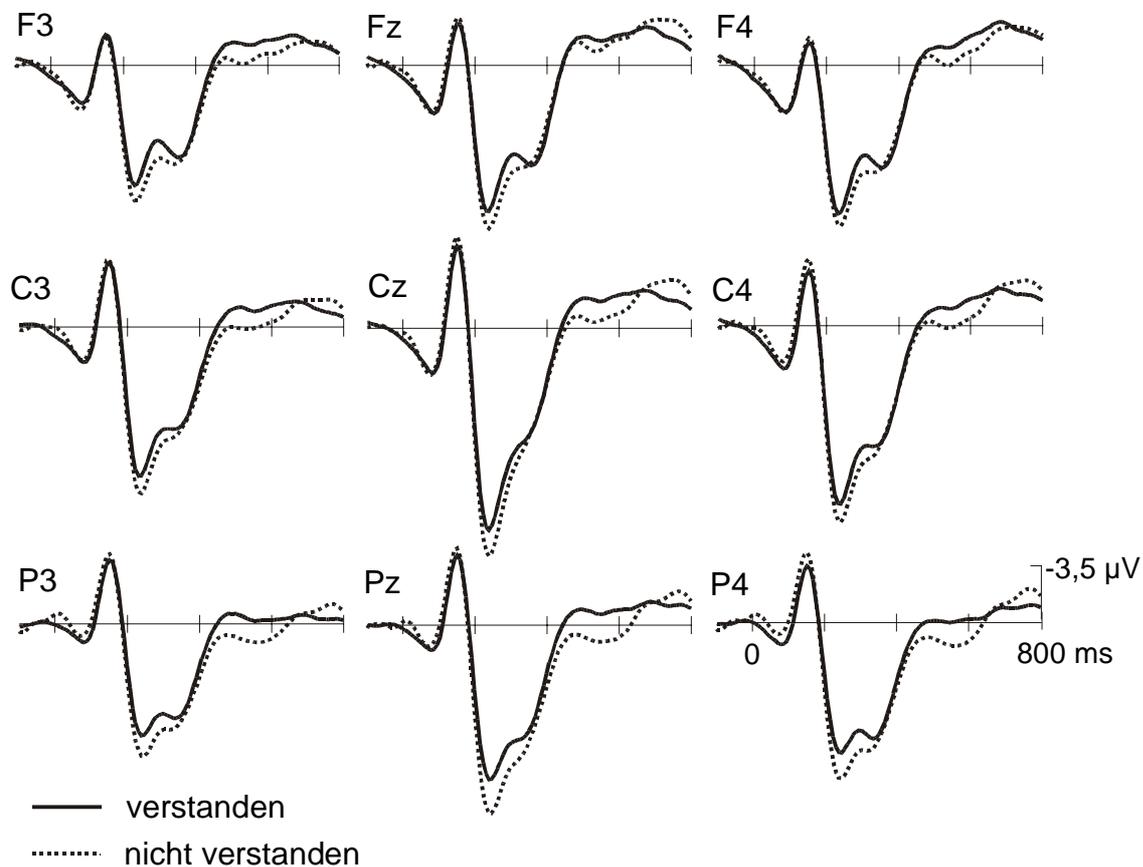


Abbildung 13: Gesamtmittelpotentiale für den Vergleich der verstandenen und nicht verstandenen Worte. Die Abbildung bezieht sich nur auf invertierte Wörter, die individuellen Bedingungen (Erwartungswahrscheinlichkeit und semantische Kongruenz) wurden jeweils für verstandene und nicht verstandene Wörter zusammengefasst. Die mittleren Potentiale sind an neun Elektroden abgebildet, an denen sich die Aktivierung am deutlichsten zeigt, in einem Zeitfenster von 100 ms vor dem Beginn des Wortes bis 800 ms danach. Der Prästimulusbereich von 100 ms diente als Grundlinie für die Ermittlung der Potentiale.

2.3.4 Diskussion

Um der Frage nachzugehen, ob die akustischen Sprachstimuli innerhalb des Sprachverstehensprozesses kognitiv korrigiert werden, wurden in dieser Studie folgende Manipulationen eingeführt: (a) Die kritischen Wörter wurden akustisch zeitinvertiert oder im Original am Ende eines visuell präsentierten Satzes dargeboten. (b) Die Sätze unterschieden sich in ihrer Erwartungswahrscheinlichkeit (CP) für ein bestimmtes Wort am Ende des Satzes (hohe versus geringe Erwartung). (c) Zusätzlich unterschieden sich die Endwörter in dem Ausmaß ihrer

semantischen Passung zum vorangegangenen Satzinhalt (semantisch kongruent versus inkongruent). Die Wahl der Präsentation des Materials in unterschiedlichen Modalitäten erlaubte einen ereigniskorrelierten Hinweis für die kognitive Korrektur akustischer Sprachsignale ohne Überlagerung anderer, vorangehender akustischer Signale.

Der Prozess des Verstehens von Wörtern in einem Kontext macht es notwendig, dass einkommende sensorische Informationen (bottom-up) und Erwartungen, die durch den vorangehenden Kontext entstehen (top-down) zusammenfassend betrachtet werden. Offensichtlich scheint das Ausmaß der Interaktion zwischen bottom-up und top-down Informationen für das Sprachverstehenssystem von spezifischen Situationen abhängig zu sein.

So werden beispielsweise Wörter innerhalb eines Rauschens leichter verstanden, wenn sie eher voraussagbar sind, das heißt, beispielsweise am Ende eines Satzes auftreten und zum vorangegangenen Kontext passen (Pichora-Fuller, Schneider & Daneman, 1995). Werden dagegen Signale präsentiert, die nicht aus dem Zusammenhang der vorangehenden Informationen vorhergesagt werden können, ist eine top-down Kontrolle nicht möglich und das Verstehen vollständig abhängig vom sensorischen Input.

Erwartungsgemäß zeigten sich in der vorliegenden Studie klare Unterschiede in der Verstehensleistung für die invertierten Wörter: während in Sätzen mit hoher Erwartungswahrscheinlichkeit und semantischer Passung zum vorhergehenden Satz nur 7 % der Wörter nicht verstanden wurden, wurden 39 % der Wörter aus Sätzen mit geringer Erwartungswahrscheinlichkeit und semantischer Inkongruenz nicht verstanden. Die invertierten Wörter mit geringer Erwartungswahrscheinlichkeit und semantischer Inkongruenz können mit den invertierten Wörtern aus dem vorangehenden Experiment 1 verglichen werden. Auch hier gab es keine Kontextinformationen, die die Identifikation eines Wortes erleichtert hätten. Die Anzahl der nicht verstandenen Wörter der 100-ms-Invertierungsbedingung betrug im ersten Experiment ca. 34 % und ist mit der Anzahl der nicht verstandenen Wörter hier vergleichbar.

Die Ergebnisse dieses 2. Experimentes zeigen, dass das Vorliegen von Kontextinformation eine top-down Korrektur ermöglicht und die Verstehensleistung verbessert.

Die Befunde gehen wiederum einher mit den Verhaltensbeobachtungen von Saberi und Perrott (1999), die ebenfalls zeitlich invertierte Sprachsignale nutzten, um das Verstehen von Stimuli mit zerstörtem zeitlichen Ablauf zu untersuchen. Weiterhin lassen sich die hier genannten Ergebnisse mit den Untersuchungen zur Demonstration des Phonem- Ergänzungseffektes nach Samuel und Ressler (1986) vergleichen, bei denen es ebenfalls zu einer Zerstörung des zeitlichen Ablaufs sprachlicher Signale kommt und eine kognitive Korrektur, genauer eine Ergänzung der fehlenden Laute mit dem vorhandenen Wissen über Wörter, stattfindet.

Mit Hilfe der Registrierung der ereigniskorrelierten Hirnaktivität können Mechanismen, die der kognitiven Korrektur sensorischer Informationen unterliegen, näher beleuchtet werden. Die Analyse der EKP Wellenformen hat zunächst ergeben, dass die erste Komponente, die von einer zeitlichen Inversion der Sprachsignale beeinflusst wird, die N100 Komponente ist. Invertierte Wörter lösen eine kürzere Gipfellatenz und eine stärker ausgeprägte Amplitude aus, die vor allem frontozentral verteilt ist. Aus diesem Befund ergibt sich die Frage, ob die-

ser Effekt tatsächlich auf eine kognitive top-down Korrektur der Sprachsignale auf der frühen Verarbeitungsebene der N100 zurückgeht.

Bezogen auf die Interpretation der N100 im Experiment 1 kann auch hier der Effekt der N100 mit den Unterschieden der Wahrnehmungsqualität in den nicht invertierten und den invertierten Wörtern in Zusammenhang gebracht werden. Wie im vorangegangenen Experiment muss auch hier angemerkt werden, dass die zeitliche Inversion zu einem abrupteren Beginn des Sprachsignals führt, da die gleiche Invertierungstechnik angewendet worden ist.

In verschiedenen Arbeiten ist gezeigt worden, dass die Amplitude der N100 mit dem Grad der auditorischen Aufmerksamkeit variiert (Hansen & Hillyard, 1980, 1983; Hillyard, et al., 1973; McCallum et al., 1983; Woldorff & Hillyard, 1991). Dabei ist berichtet worden, dass es zu einer zunehmenden Negativität mit einer Dauer von mehreren hundert Millisekunden innerhalb der exogenen N100 kommt, was zusätzliche Verarbeitungsaktivierung reflektiert und mit dem Begriff Verarbeitungsnegativität (Processing Negativity, Nd) bezeichnet worden ist.

Unter qualitativ schlechteren Wahrnehmungsbedingungen sind möglicherweise mehr Aufmerksamkeitsressourcen für die Verarbeitung einkommender sensorischer Signale notwendig. Frith und Friston (1996) gehen davon aus, dass eine Zunahme der Negativität der N100 eine Reflexion des Grades der Synchronizität verschiedener neuraler Generatoren darstellt und durch den Wahrnehmungsprozess gesteuert werden kann. An dieser Stelle muss jedoch angemerkt werden, dass es für die Versuchspersonen hier keine Möglichkeit gab, vor einer Präsentation eines Endwortes zu wissen, ob es sich um ein zeitlich invertiertes Wort handeln wird oder nicht. Demzufolge scheint ein Fehlen der Verarbeitungsnegativität für die zeitlich invertierten Wörter in den vorliegenden Daten mit der Interpretation der Veränderung der N100-Amplitude über die Zunahme der Aufmerksamkeitsverarbeitung nach Frith und Friston (1996) nicht konsistent zu sein. Aus diesem Grunde reflektieren die frühere Gipfella-tenz und die höhere Gipfelamplitude der N100 den Unterschied in der sensorischen Qualität zwischen nicht invertierten und invertierten Wörtern.

Es wurde zusätzlich ein signifikanter Unterschied in der Ausprägung der Gipfella-tenz im Vergleich zwischen Wörtern mit hoher und geringer Erwartungswahrscheinlichkeit beobachtet (die Latenz der N100 und P200 war jeweils 5-6 ms später für die Wörter mit geringer CP) In diesem Zusammenhang muss angemerkt werden, dass für die Sätze mit hoher und geringer Erwartungswahrscheinlichkeit unterschiedliche Wörter am Ende der Sätze benutzt wurden. Eine Post-hoc-Analyse ergab, dass sich diese Wörter signifikant in ihrer Wortfrequenz und Silbenanzahl unterschieden (hohe CP: 387/Million; geringe CP: 158/Million; $T = 2,53$; $p = 0,01$; hohe CP: 62 zweisilbige und 29 dreisilbige Wörter; geringe CP: 38 zweisilbige und 60 dreisilbige). Demzufolge kann der N100-Effekt auch auf Wortfrequenz- und Silbeneffekte zurückgeführt werden, was im nachfolgenden Experiment näher beleuchtet werden soll.

Die sich anschließende P200 zeigt die gleichen Merkmale wie die N100-Komponente (zunehmende Gipfelamplitude und reduzierte Gipfella-tenz für die invertierten Stimuli). Dies spricht ebenso dafür, dass sich die Effekte der N100 und der P200 auf die Eigenschaften der Sprachstimuli zurückführen lassen.

Im Gegensatz zu diesen früheren Effekten, scheinen die frontozentral verteilten Negativitäten in den späteren Zeitfenstern (zwischen 400 – 600 ms und 600 – 800 ms) die top-down Korrektur zeitlich invertierter Stimuli zu reflektieren. Diese Komponenten sind ebenfalls sensibel für die Manipulation der Erwartungswahrscheinlichkeit (CP) und der semantischen Passung.

Der Vergleich der invertierten Wörter mit den nicht invertierten Wörtern zeigte einen signifikanten Unterschied zwischen 400 – 600 ms und zwischen 600 – 800 ms. Diese Effekte werden hier als Reflexion der zusätzlich aufgewandten Ressourcen interpretiert, die für das (Wieder)-Erkennen und Integrieren beschädigter Sprachstimuli in den Sprachkontext benötigt werden.

Eine „klassische“ N400-Komponente, wie sie von Kutas und Hillyard (1984) beschrieben wurde, konnte für den Vergleich der Wörter mit hoher und geringer CP bei den nicht invertierten Wörtern in dieser Untersuchung gefunden werden (Abbildung 10). Ein ähnlicher Befund mit einer stärkeren Ausprägung und einer 160 ms späteren Anfangslatenz wurde auch für den Vergleich der invertierten Wörter mit hoher und geringer CP beobachtet¹³. Es gibt also erhebliche Zeitverzögerungen bei der Verarbeitung invertierter Wörter, wenn diese in Sätzen mit geringer CP präsentiert werden. Die N400-Komponente ist einerseits als eine Reflexion des lexikalischen Zugangs (Kutas & Federmeier, 2000) beschrieben worden, da sie unter anderem sensitiv ist für Frequenzunterschiede und Wiederholungseffekte. In diesem Zusammenhang werden syntaktische und semantische Informationen aktiviert, die mit dem Wort assoziiert werden. Rodriguez und Münte (2000) beobachteten, dass bei Bilingualen bei Präsentation eines Wortes aus der Sprache, auf die nicht geachtet werden sollte (Nichtzielsprache) keine N400 ausgebildet wurde. Das Fehlen der N400 interpretierten die Autoren damit, dass das entsprechende Wort nicht im Lexikon aufgesucht wurde und nicht integriert wurde.

Auf der anderen Seite ist die N400 beeinflussbar durch postlexikalische Informationen wie Erwartungswahrscheinlichkeit und semantische Kongruenz und demnach als postlexikalischer Integrationsprozess beschrieben worden (Holcomb & Neville, 1991; Holcomb, 1993; Brown & Hagoort, 1993, 2000; Friederici, 1997), wobei zur Frage steht, wodurch vorhergehende Prozesse, wie die lexikalische Selektion und der Punkt des Eingreifens der Kontextinformationen in den Verstehensprozess reflektiert werden (Van den Brink, Hagoort und Brown, 2001). Van Petten und Kutas (1999) geben an, dass der Aufbau eines Kontextes die lexikalische Integration schon frühzeitig beeinflusst, was typischerweise als postlexikalischer Prozess interpretiert wurde. Bezogen auf den hier vorliegenden Latenzunterschied in der Ausbildung der N400, kann geschlossen werden, dass diese Komponente wahrscheinlich eher einen lexikalischen Selektionsprozess reflektiert, der durch Kontextinformationen in seinem zeitlichen Verlauf beeinflusst wird. Je schwieriger eine Integration eines Wortes aufgrund

¹³ Der gleiche Effekt konnte nicht so klar für den Vergleich zwischen kongruenten und inkongruenten Wörtern ermittelt werden, da es hier nur eine geringe Anzahl verstandener Wörter gab: In der Bedingung invertierte Wörter mit geringer CP und semantischer Inkongruenz wurden nur 22% verstanden.

sensorischer Qualität des Eingangssignals und geringer Kontextverfügbarkeit ist, umso länger dauert dieser Prozess an, der sich in einer später ausgeprägten N400 präsentiert.

Welchen Beitrag leisten die hier gewonnenen Daten bezüglich der Einschätzung der in Kapitel 1 aufgeführten Modelle der Sprachverarbeitung?

Bezogen auf das Kohortenmodell der Sprachverarbeitung (Marslen-Wilson, 1978) wird davon ausgegangen, dass die Aktivierung einer Kohorte und die Auswahl eines geeigneten Kandidaten durch Vergleichsprozesse realisiert werden, die durch Faktoren wie Wortfrequenz oder semantische Passung beeinflusst werden. Aufgrund der Zerstörung des zeitlichen Ablaufs der Wörter, ist es unwahrscheinlich, dass die Wahrnehmung invertierter Wörter durch die Aktivierung von Kohorten abläuft. Eine Annahme des Modells würde bedeuten, dass intern eine Umkehrung der Signale stattfindet und daran anschließend Kohorten aktiviert werden. Dies scheint jedoch im Hinblick auf die Schnelligkeit und Genauigkeit der Verarbeitung jener Sprachsignale unwahrscheinlich, da die Wörter tatsächlich verzerrt und verändert wahrgenommen werden.

Auch das TRACE-Modell scheint für die Interpretation der Wahrnehmung invertierter Stimuli ungeeignet. Diesem Modell zufolge kommt es zu einer Interaktion zwischen sensorischen und semantischen Informationen. Jenes Informationsnetzwerk, das schneller und stärker aktiviert wird, trägt am ehesten zur Worterkennung bei. Bei zeitlich verzerrten Wörtern mit einer geringen Erwartungswahrscheinlichkeit, die zusätzlich nicht semantisch zum vorhergehenden Satz passen, kommt es nur zu unzureichenden Aktivierungen in verschiedenen Netzwerken und demnach zu häufigen Fehlern. Die verstärkte Positivierung zwischen 200 – 300 ms für die nicht verstandenen Wörter könnte für eine Hemmung dieses Prozesses sprechen, der dann abgebrochen wird und sich als reduzierte N400 im Vergleich zu den verstandenen Wörtern der gleichen Wahrnehmungsbedingung widerspiegelt. Die Aktivierung eines Wortes ist umso früher abgeschlossen, wenn die Interaktion zwischen sensorischen und kontextuellen Informationen genügend und eindeutige Aktivierungsniveaus erreichen. Offen bleibt nach diesem Modell nach wie vor, warum trotzdem Wörter verstanden werden, die keine Kontextinformationen mit sich bringen, wie es hier in den invertierten Wörtern mit geringer Erwartungswahrscheinlichkeit und semantischer Inkongruenz oder im Experiment 1 der Fall war. Weiterhin ist anzuführen, dass das TRACE-Modell ebenfalls keine Erklärung für das Verstehen invertierter Stimuli liefert, da durch die Segmentumkehrung möglicherweise auch ein falsches Netzwerk an Informationen aktiviert wird. Man kann davon ausgehen, dass der Wortklang der invertierten Wörter, die globale Hülle der Frequenzwellen, trotz der zeitlichen Umkehrung weitestgehend erhalten bleibt. Diese Information kann als ein Hinweis innerhalb des Systems gelten, um sensorische und vorhandene Wissenskonzepte in einen Zusammenhang zu bringen und ein invertiertes Wort trotzdem zu verstehen.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die Daten dieses Experimentes Hinweise dafür liefern, dass das Sprachverstehen auch dann noch gewährleistet werden kann, wenn die Wahrnehmungsbedingungen unvorteilhaft sind aufgrund der Zerstörung des zeitlichen

Ablaufs sprachlicher Stimuli. Die Verstehensleistung der manipulierten Sprachsignale nimmt mit der Abnahme zusätzlicher Kontextinformationen wie Erwartungswahrscheinlichkeit für ein Wort (geringe CP) oder mit einer Reduktion des semantischen Bezuges (semantisch inkongruente Wörter) ab.

Die Daten der Studie stehen im Widerspruch zu jenen Arbeiten, die gezeigt haben, dass die Einhaltung der zeitlichen Feinstruktur der Sprachsignale für das Verstehen unablässig ist (Tallal, Miller, Fitch, 1993; Merzenich et al., 1996; von Steinbüchel, 1998).

Eine Zusammenfügung dieser verschiedenen Sichtweisen ist notwendig im Hinblick darauf, dass das Sprachverstehen das Ergebnis des Zusammenspiels von einkommenden Wahrnehmungsdaten und vorhandenen Kontextinformationen darstellt.

Auf Grundlage der Wahl der experimentellen Bedingungen, die in dieser Studie benutzt wurden, kann an dieser Stelle geschlussfolgert werden, dass eine kognitive Korrektur zeitlich invertierter Stimuli innerhalb später ablaufender Verarbeitungsprozesse, genauer auf der Integrationsebene des Sprachverstehens einsetzt, welche durch Kontextinformationen wie Erwartungswahrscheinlichkeit oder semantischem Bezug beeinflusst wird.

2.4 Experiment 3: Einfluss des Satzkontextes und der Frequenz auf die Wahrnehmung auditorischer Sprachsignale (post hoc Experiment mit optimiertem Material)

2.4.1 Einleitung

Es zeigte sich im vorangegangenen Experiment ein Unterschied in der Gipfellatenz der N100 und P200 im Vergleich zwischen Wörtern mit hoher und geringer Erwartungswahrscheinlichkeit. Ein solch früher Effekt der Erwartungswahrscheinlichkeit ist bisher noch nicht beschrieben worden und würde darauf schließen lassen, dass Kontextinformation auf sehr früher, sensorischer Ebene ansetzen. Bevor aber dieser unerwartete und potentiell hoch bedeutsame Effekt in diese Richtung interpretiert werden kann, sollte er in einem weiteren Experiment zunächst repliziert werden. Zudem zeigte die Analyse des Stimulusmaterials aus dem vorhergehenden Experiment, dass die für die Sätze mit hoher und geringer Erwartungswahrscheinlichkeit verwendeten Endwörter sich in zwei Aspekten unterschieden. So wiesen die Endwörter der Sätze mit hoher Erwartungswahrscheinlichkeit eine mittlere Frequenz von 387/Million auf, diejenigen der Sätze mit geringer Erwartungswahrscheinlichkeit: 158/Million (CELEX, Baayen et al., 1993). Weiterhin ergaben sich unterschiedliche Silbenanzahlen: hohe Erwartungswahrscheinlichkeit: 62 zweisilbige und 29 dreisilbige Wörter; geringe Erwartungswahrscheinlichkeit: 38 zweisilbige und 60 dreisilbige). Dieser Unterschied war statistisch signifikant ($T = 2,53$; $p = 0,01$). Aus diesem Grunde wurde ein weiteres Experiment durchgeführt, bei dem das Stimulusmaterial optimiert wurde. Dabei wurde darauf geachtet, dass jedes kritische Endwort in jeder experimentellen Bedingung (semantisch kongruent/inkongruent, hohe und geringer CP) vorkam. Es wurde hier auf den experimentellen Faktor der zeitlichen Inversion verzichtet, da sich der beobachtete Effekt unabhängig von den invertierten Stimuli gezeigt hatte.

Ziel der Untersuchung ist es weiterhin, einen Unterschied in der Verarbeitung von Wörtern mit unterschiedlicher Erwartungswahrscheinlichkeit und dem Grad an semantischer Passung mit dem vorangehenden Kontext zu spezifizieren. In den bisherigen Studien zur N400 sind beide Merkmale bei Wörtern genutzt worden, um eine N400 zu beobachten und nachzuweisen, dass die N400 mit der Integration eines Wortes in einen größeren Kontext eines Satzes oder sogar einer Textpassage in Zusammenhang steht (Kutas & Hillyard, 1984; Connolly & Phillips, 1994; Chwilla et al., 1995; van Berkum, Hagoort & Brown, 1999;). In keiner der Studien ist bisher genauer berichtet worden, inwiefern sich diese Verarbeitungsprozesse voneinander unterscheiden. Die meisten Autoren gehen explizit oder implizit davon aus, dass es keine Unterschiede zwischen der Verarbeitung beider Merkmale gibt (Kutas, 1993; van Petten, 1993; van Petten et al., 1999). Dennoch kann nicht ausgeschlossen werden, dass sich die Verarbeitung von Wörtern, die aufgrund des vorhergehenden Satzinhalts unterschiedlich stark vorhersagbar sind („*Jeden Tag suche ich meinen Schlüssel.*“) von der Verarbeitung der Wörter am Satzende unterscheidet, die zum vorangehenden Satzinhalt semantisch nicht passen („*Ich trinke meinen Kaffee mit Milch und Stiefel.*“). Beide Sätze/Wörter benötigen unter-

schiedliche Ressourcen für die Integration in den laufenden Kontext, um den Verstehensprozess zu gewährleisten. Im ersten Fall kann aufgrund des Satzinhaltes nicht unbedingt schnell auf das Wort Schlüssel geschlossen werden, da auch andere Wörter zu dem Satzanfang semantisch passen können. Das Verstehenssystem benötigt mehr Aufmerksamkeitsressourcen, um das Wort wahrzunehmen. Im Falle des zweiten Satzes kann aufgrund des Inhalts vom Verstehenssystem mit vorhandenen Wissenskonzepten vorhergesagt werden, welches Wort möglicherweise den Satz beenden wird. Da dies aber nicht der Fall ist, sondern ein anderes, semantisch nicht passendes Wort dargeboten wird, benötigt das Verstehenssystem ebenfalls mehr Ressourcen, um das Wort trotzdem zu verstehen, obwohl es nicht in den Kontext passt. Vorhandene Wissenskonzepte müssen daher unterdrückt werden.

In der Untersuchung hier wird daher der Frage nachgegangen, ob sich die Verarbeitung von Wörtern mit geringer Erwartungswahrscheinlichkeit von der Verarbeitung semantisch inkongruenter Wörter unterscheidet. Mit Hilfe der Methode der ereigniskorrelierten Potentiale wird ermittelt, inwiefern sich die N400 bei beiden Prozessen in ihrer Ausprägung und topografischen Verteilung unterscheidet.

2.4.2 Methode

Konstruktion des Materials

Die experimentellen Stimuli bestanden aus 240 deutschen Sätzen mit hoher und geringer Erwartungswahrscheinlichkeit (CP) (hohe: > 70 % und geringe: < 30 %). Der Unterschied in dem Experiment hier zum Experiment 2 ist nun, dass alle kritischen Endwörter in jeder Bedingung (hohe/geringe CP und semantisch kongruent/inkongruent) präsentiert wurden. Es wurden Sätze gebildet, die passend zu den in Experiment 2 benutzten Endwörtern der hohen Erwartungswahrscheinlichkeit nun Sätze mit einer geringen Erwartungswahrscheinlichkeit zugeordnet bekamen. Wörter, die aus Sätzen mit geringer Erwartungswahrscheinlichkeit stammten, erhielten einen Satz mit hoher Erwartungswahrscheinlichkeit. Abgesichert wurde die Konstruktion der Sätze mit einem zusätzlichen Cloze-Test. In Form eines Fragebogens füllten 20 Versuchspersonen die dargestellten Sätze aus. Somit wurden Sätze ermittelt, deren Endwörter eine Erwartungswahrscheinlichkeit von mehr als 70 % oder weniger als 30 % hatten.

Auch in diesem Experiment wurden die semantisch inkongruenten Wörter so gebildet, dass die Endwörter zwischen den Sätzen so ausgetauscht wurden, dass sie nicht zum semantischen Kontext des Satzes passten. Insgesamt ergaben sich mit diesem Verfahren 240 verschiedene Sätze, 120 mit hoher und 120 mit geringer Erwartungswahrscheinlichkeit und bei beiden Satzbedingungen 60 Sätze mit semantisch kongruenten und 60 mit semantisch inkongruenten Wörtern.

Versuchspersonen

Insgesamt nahmen 20 Versuchspersonen an der Untersuchung teil (12 weibliche, 8 männliche, alle rechtshändig). Es wurde darauf geachtet, dass keiner von ihnen schon an Experiment 2 teilgenommen hatte. Nach eigenen Angaben hatte niemand von ihnen neurologische, akustische oder visuelle Beeinträchtigungen. Die Versuchspersonen erhielten für ihre Teilnahme eine finanzielle Vergütung. Die Daten von zwei Versuchspersonen gingen in die Analyse aufgrund zu starker technischer und Blinzelartefakte nicht ein. Alle Probanden waren Studierende der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg.

Versuchsablauf

Die mittlere Satzlänge betrug sieben Wörter. Die Wörter wurden auch hier wie in Experiment 2 visuell Wort für Wort in der Mitte eines 21-Zoll Computerbildschirms ((im Abstand von 100 cm zu den Augen der Versuchsperson) in weißen Buchstaben auf dunkelgrauem Hintergrund dargeboten. Die kritischen Endwörter wurden akustisch 600 ms nach dem letzten visuellen Wort über Lautsprecher dargeboten (mit dem Programm Presentation 0.45 ©). Sie waren ein- bis viersilbige deutsche Wörter mit einer mittleren Auftretenswahrscheinlichkeit von 300/Million (CELEX, 1993). Nach circa 1500 ms nach Beginn des akustischen Wortes erfolgte über dem Bildschirm eine Aufforderung. Die Versuchspersonen sollten dann laut wiedergeben, was sie verstanden hatten. Die Versuchspersonen wurden instruiert, die Sätze aufmerksam zu verfolgen. Zur Kontrolle der Aufmerksamkeit der Versuchspersonen auf die Aufgabe, wurden ihnen nach jedem 10. bis 15. Satz eine Frage zu den vorangehenden Sätzen gestellt, die sie mündlich beantworten sollten.

Die Versuchspersonen saßen in einem bequemen Stuhl und wurden angewiesen, Bewegungen und Blinzeln nach Möglichkeit zu vermeiden und das Kreuz in der Mitte des Bildschirms während der Präsentation zu fixieren.

Jede Versuchsperson nahm an zwei Sitzungen teil, in denen ihr für jedes Wort je zwei kritische Bedingungen dargeboten wurden. In jeder Bedingung wurden der Versuchsperson jeweils 4 Blöcke mit je 60 Sätzen dargeboten. Insgesamt wurden 480 Sätze für jede Versuchsperson ausgewertet. Die Verteilung der Blöcke über die Versuchspersonen hinweg erfolgte permutatorisch nach dem Design des lateinischen Quadrats. Vor dem Beginn des Experimentes wurde den Probanden eine Übungsliste mit 5 Sätzen dargeboten, welche in den Versuchsdurchläufen nicht enthalten waren. Diese Übung diente den Probanden dazu, sich mit der Untersuchungssituation vertraut zu machen. Weiterhin wurde so gewährleistet, dass die Versuchspersonen die Aufgabe richtig verstanden hatten.

EEG-Aufnahme

Die Aufnahme des Elektroenzephalogramms erfolgte unter den gleichen Bedingungen und unter Verwendung der gleichen Parameter wie in den vorangegangenen Experimenten. Nach der Artefaktkorrektur gingen 80% der verwendeten Ereignisse in die Analyse mit ein.

Die statistische Analyse der Hirnpotentiale beinhaltete eine mehrfache Varianzanalyse mit Messwiederholung (ANOVA) mit den Faktoren *Erwartungswahrscheinlichkeit* (CP) (hohe versus geringe CP), *Kongruenz* (semantisch kongruent versus inkongruent) und *Elektrodenposition* (F3/4, C3/4, P3/4, Fz, Cz, Pz) als Innersubjektfaktor. Die angegebenen Elektroden wurden gewählt, um eine Vergleichbarkeit zu den Daten in Experiment 2 zu gewährleisten. Außerdem wurden hier die stärksten Effekte erwartet.

2.4.3 Ergebnisse

Verhaltensdaten

Es zeigte sich, dass alle präsentierten Wörter von den Versuchspersonen verstanden wurden. Alle Fragen zu den Sätzen wurden richtig beantwortet.

Ereigniskorrelierte Potentiale

Die mittleren Hirnpotentiale sind gekennzeichnet durch eine Negativität zwischen 100 - 200 ms. Daran schließt sich eine Positivität im Zeitfenster zwischen 200 bis 300 ms an, die in eine Negativität ab 400 ms übergeht, die für die Bedingungen mit geringer CP und semantischer Inkongruenz stärker ausgeprägt ist (Abbildung 16). Die statistische Analyse der mittleren Amplituden, der Gipfelamplituden und der Gipfelatenzen erfolgte in den Zeitfenstern 100 – 200 ms, 200 – 300 ms, 300 – 400 ms und 400 – 600 ms mit einer Prästimulus-Grundlinie von –100 bis 0 ms.

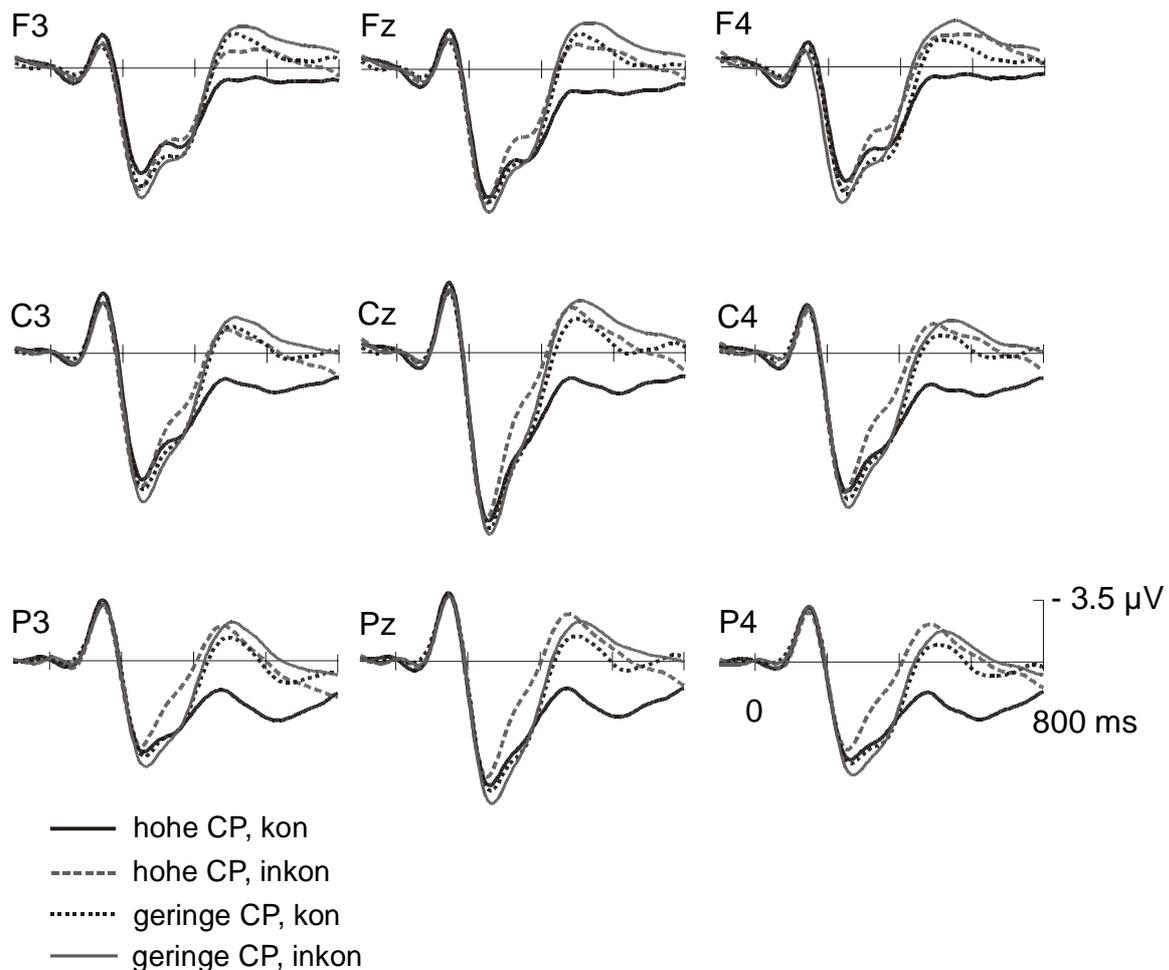


Abbildung 14: Gesamtmitelpotentiale für den Vergleich aller Bedingungen zueinander: hohe und geringe Erwartungswahrscheinlichkeit (CP), semantische Kongruenz (kon), bzw. Inkongruenz (inkon) in einem Zeitbereich von 100 ms vor dem Beginn des akustischen Reizes bis 800 ms danach. Der Prästimulusbereich von 100 ms diente als Grundlinie für die Ermittlung der Potentiale.

100 - 200 ms

Eine Omnibus-ANOVA mit den genannten Faktoren im Zeitfenster von 100 – 200 ms ergab einen signifikanten Haupteffekt für den Faktor *Elektrodenposition* ($F(8,136) = 20,34$; $p \leq 0,001$) sowie eine signifikante Interaktion zwischen den Faktoren *Erwartungswahrscheinlichkeit* und *Elektrodenposition* ($F(8,136) = 2,24$; $p = 0,03$). Zur Auflösung dieser Interaktion wurde eine Berechnung der unterschiedlichen Aktivierung in den Bedingungen an allen neun Einzelelektroden einzeln durchgeführt, die keine signifikanten Unterschiede ergab.

Eine post-hoc Paaranalyse zwischen den Wörtern mit hoher und geringer Erwartungswahrscheinlichkeit (semantisch kongruent) ergab neben einem signifikanten Haupteffekt *Elektrodenposition* ($F(8,136) = 19,4$; $p \leq 0,001$) eine signifikante Interaktion zwischen den Faktoren *Erwartungswahrscheinlichkeit* und *Elektrodenposition* ($F(8,136) = 2,7$; $p = 0,02$). Ein Vergleich der Wörter mit hoher und geringer Erwartungswahrscheinlichkeit (semantische inkongruent) zeigte in der statistischen Analyse lediglich einen signifikanten Haupteffekt für den Faktor *Elektrodenposition* ($F(8,136) = 19,4$; $p \leq 0,001$). Aus diesem Grunde wird dieser Ver-

gleich nicht weiter analysiert. Weitere Paarvergleiche zwischen den Bedingungen erzielten keine signifikanten Unterschiede.

Der Vergleich der Anfangslatenzen für die Wörter aus Sätzen mit hoher und geringer Erwartungswahrscheinlichkeit ergab einen signifikanten Haupteffekt für den Faktor *Elektrodenposition* ($F(8,136) = 3,6$; $p = 0,02$) und eine Interaktion zwischen dem Faktor *Elektrodenposition* und *Erwartungswahrscheinlichkeit* ($F(8,136) = 2,6$; $p = 0,04$). Die Auflösung dieser Interaktion über die Testung dieses Vergleichs an allen einzelnen Elektroden ergab einen signifikanten Unterschied für die Gipfellatenz an den Elektroden F3 ($F(1,17) = 4,1$; $p = 0,05$) und F4 ($F(1,17) = 7,0$; $p = 0,02$). Die Latenz der N1 Komponente für die Bedingung mit hoher Erwartungswahrscheinlichkeit lag an der Elektrode F3 bei 147,3 ms (Std. = 14,3) und bei geringer Erwartungswahrscheinlichkeit bei 142,3 ms (Std. = 20,3).

200 – 300 ms

Für die mittlere Amplitude in diesem Zeitfenster ergab sich neben einem signifikanten Haupteffekt für den Faktor *Elektrodenposition* ($F(8,136) = 19,4$; $p \leq 0,001$) eine signifikante Interaktion zwischen dem Faktor *Kongruenz* \times *Elektrodenposition* ($F(8,136) = 6,27$; $p \leq 0,001$) und aller Faktoren untereinander ($F(8,136) = 3,17$; $p = 0,02$). Eine post-hoc Analyse für den Vergleich der Wörter mit hoher und geringer Erwartungswahrscheinlichkeit (semantisch kongruent) und den Vergleich semantisch kongruenter und inkongruenter Wörter ergab jeweils nur einen signifikanten Haupteffekt für den Faktor *Elektrodenposition* ($F(8,136) = 18,8$; $p \leq 0,001$ und $F(8,136) = 19,1$; $p \leq 0,001$). Ein Vergleich aller Bedingungen an den einzelnen Elektroden ergab einen signifikanten Unterschied an den Elektroden C3 ($F(1,17) = 5,44$; $p = 0,03$) und F3 ($F(1,17) = 10,9$; $p = 0,001$) für den Faktor *Kongruenz* und eine Interaktion zwischen *Erwartungswahrscheinlichkeit* und *Kongruenz* an der Elektrode Pz ($F(1,17) = 5,0$; $p = 0,04$). Eine genauere Analyse der einzelnen Bedingungen an den Elektroden ergab, dass sich lediglich die Amplituden der kongruenten Wörter von denen der inkongruenten unterscheidet (sowohl für die Wörter mit hoher als auch mit geringer Erwartungswahrscheinlichkeit (CP): hohe CP: $F(1,17) = 5,18$; $p = 0,03$; geringe CP: $F(1,17) = 5,5$; $p = 0,03$), allerdings nur an der Elektrode F3; alle anderen Analysen zeigten keine weiteren signifikanten Ergebnisse.

300 – 400 ms

Für die mittlere Amplitude im Zeitfenster 300 bis 400 ms ergaben sich signifikante Effekt für die Faktoren *Erwartungswahrscheinlichkeit*, *Kongruenz* und *Elektrodenposition* sowie Interaktionen aller Bedingungen miteinander (siehe Tabelle 13).

Tabelle 13: Ergebnisse der globalen ANOVA für die Faktoren Erwartungswahrscheinlichkeit (CP), Kongruenz (Kon) und Elektrodenposition (EL: F3/4, C3/4, P3/4, Fz, Cz, Pz) im Zeitfenster zwischen 300 – 400 ms und 400 – 600 ms. Es sind ausschließlich signifikante Werte abgebildet.

Faktoren	df	300 – 400 ms		400 – 600 ms	
		F	p ≤	F	P ≤
CP	1,17	7,8	0,01	41,1	0,001
Kon	1,17	7,9	0,01	41,6	0,001
EL	8,136	7,2	0,001	0,9	n.s.
CP x EL	8,136	2,4	n.s.	3,5	0,02
Kon x EL	8,136	12,9	0,001	20,4	0,001
CP x Kon	1,17	19,8	0,001	20,6	0,001
CP x Kon x EL	8,136	5,6	0,002	6,7	0,001

Aufgrund der Interaktionen zwischen den Versuchsbedingungen mit dem Faktor Elektrodenposition, wurde eine Analyse für die einzelnen Elektroden vorgenommen. Die Ergebnisse sind in Tabelle 14 zusammengefasst.

Tabelle 14: Ergebnisse der zweifaktoriellen ANOVA für die Faktoren Erwartungswahrscheinlichkeit (CP) und Kongruenz (Kon) berechnet an den einzelnen neun Elektroden in einem Zeitfenster von 300 – 400 ms.

Elektroden	CP		Kon		CP x Kon	
	F	p ≤	F	p ≤	F	p ≤
F3	3,2	n.s.	0,02	n.s.	1,5	n.s.
F4	7,2	0,01	1,9	n.s.	4,3	n.s.
C3	4,3	0,05	2,8	n.s.	9,9	0,01
C4	7,4	0,01	7,7	0,01	26,2	0,001
P3	8,7	0,01	17,6	0,01	29,1	0,001
P4	10,1	0,01	17,3	0,01	31,7	0,001
Fz	1,5	n.s.	2,3	n.s.	8,9	0,01
Cz	3,9	n.s.	14,3	0,01	20,5	0,001
Pz	10,1	0,01	16,2	0,01	28,3	0,001

Die post-hoc Paaranalyse zwischen den einzelnen Bedingungen ergab zunächst für den Vergleich zwischen Wörtern mit hoher und geringer Erwartungswahrscheinlichkeit (getrennt betrachtet für die semantisch kongruenten Wörter) lediglich einen signifikanten Effekt für den Faktor *Elektrodenposition* ($F(8,136) = 5,5$; $p = 0,002$). Der Vergleich der Bedingungen mit hoher und geringer Erwartungswahrscheinlichkeit aber semantischer Inkongruenz ergab, dass sich die Amplituden signifikant unterscheiden ($F(1,17) = 16,2$; $p = 0,001$).

Der Vergleich der Wörter mit semantischer Kongruenz und Inkongruenz (hohe CP) ergab, dass sich die Amplituden der Bedingungen signifikant voneinander unterschieden ($F(1,17) = 18,3$; $p \leq 0,001$), wobei die mittlere Amplitude der kongruenten Bedingung $4,2 \mu\text{V}$ (Std. = $1,5$) beträgt und die der inkongruenten $2,8 \mu\text{V}$ (Std. = $1,8$), was für eine stärkere „Negativität“ der inkongruenten Wörter spricht¹⁴.

¹⁴ Die Betrachtung der kongruenten mit den inkongruenten Bedingungen aus Sätzen mit geringer CP ergab keinen signifikanten Unterschied zueinander

400 – 600 ms

Für die mittlere Amplitude zwischen 400 und 600 ms ergaben sich signifikante Haupteffekte für alle Faktoren (siehe Tabelle 13). Die Unterschiede in der Aktivität zwischen Wörtern mit hoher und geringer Erwartungswahrscheinlichkeit als auch zwischen kongruenten und inkongruenten Wörtern sind hoch signifikant (siehe Tabelle 15).

Tabelle 15: Ergebnisse der ANOVA für die Faktoren Bedingung (Paarvergleiche) und Elektrodenposition (EL: F3/4, C3/4, P3/4, Fz, Cz, Pz) in einem Zeitfenster von 400 – 600 ms. Es sind ausschließlich signifikante Werte angezeigt, ein tendenziell signifikanter Wert ist in kursiv angegeben.

Paarvergleiche	Bedingung		Bedingung x EL	
	F(1,17)	p ≤	F(8,136)	p ≤
hohe CP – geringe CP (semantisch kongruent)	71,66	0,001	4,3	0,01
hohe CP – geringe CP (semantisch inkongruent)	0,4	n.s.	5,9	0,001
Kon – inkon (hohe CP)	52,0	0,001	23,4	0,001
kon – inkon (geringe CP)	3,9	<i>0,06</i>	1,3	n.s.

Die Betrachtung der Differenzwellen, gebildet aus der Differenz der Amplitudenwerte für die inkongruenten Bedingungen und den kongruenten Bedingungen (Abbildung 15: Punktlinie) und der Differenz der Amplitudenwerte für die geringe CP und hohe CP (durchgezogene Linie), zeigt einen Unterschied im Beginn der Negativität für beide experimentellen Bedingungen. Die Negativerung der N400 für den Kongruenzeffekt beginnt eher als die Negativität für die Differenz von geringer und hoher Erwartungswahrscheinlichkeit. Eine Analyse der Differenzwellen ergab eine spätere Gipfellatenz für den CP-Effekt (406,6 ms; Std. = 56,5) im Vergleich zum Kongruenzeffekt (351 ms; Std. = 77,5; $F(1,17) = 7,1$; $p = 0,01$).

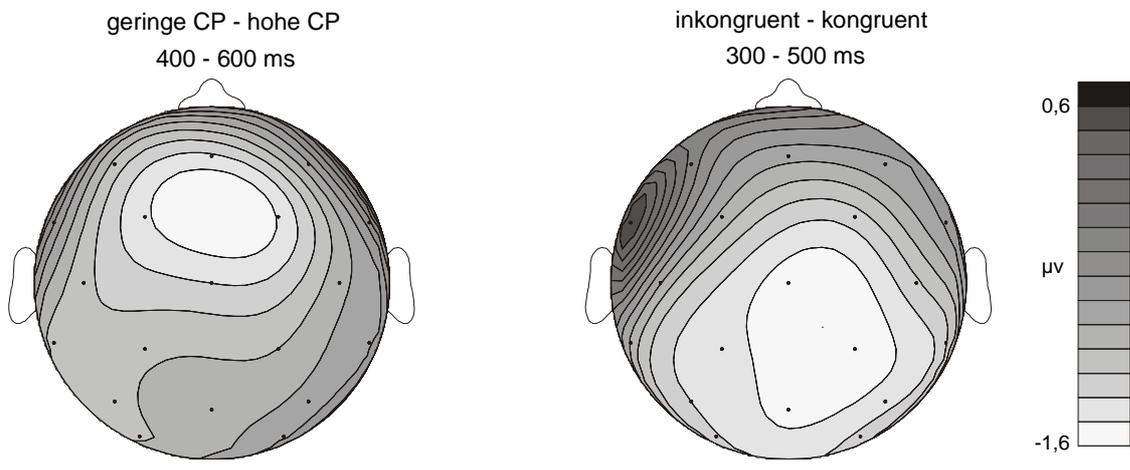
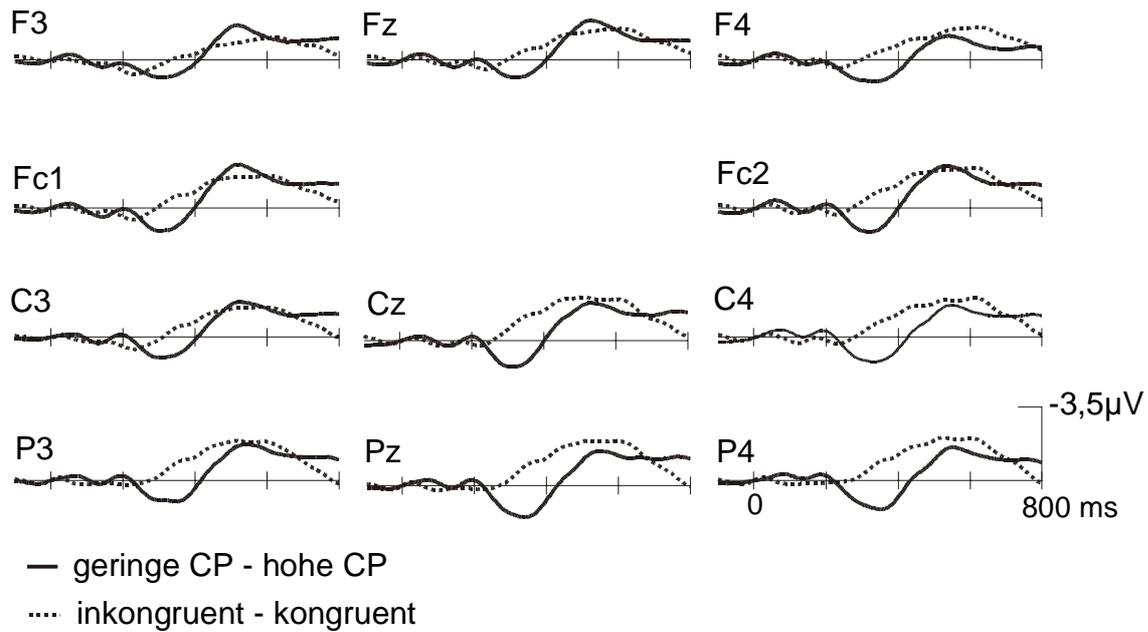


Abbildung 15: Differenzwellen für die Differenz zwischen der Aktivierung der Wörter mit geringer Erwartungswahrscheinlichkeit (CP) und hohe CP (durchgezogene Linie), sowie der semantisch inkongruenten Wörter und kongruenten Wörter in einem Zeitbereich von 100 ms vor Beginn des akustischen Stimulus bis 800 ms danach (oben im Bild). Der 100 ms Prästimulusbereich diente als Grundlinie. Es zeigt sich deutlich ein späteres Einsetzen der Negativität für die Differenz zwischen geringer und hoher CP. Im unteren Teil der Abbildung ist die Verteilung der Aktivierung für die Differenz der Aktivität der Wörter mit geringer CP von denen mit hoher CP (links im Bild unten) im Zeitbereich zwischen 400 – 600 ms und für die Differenz der Aktivität der inkongruenten Wörter und kongruenten Wörter im Zeitbereich zwischen 300 – 500 ms (rechts im Bild unten) bei gleicher Skalierung dargestellt. Es zeigt sich deutlich, dass die Negativität bei beiden Differenzen unterschiedlich verteilt ist: die Differenz für die unterschiedliche Erwartungswahrscheinlichkeit ist eher frontozentral verteilt, die der unterschiedlichen Kongruenz in den Wörtern eher posterior.

Ein statistischer Vergleich der topografischen Verteilung ergab nach Normalisierung der Daten (McCarthy & Wood, 1985) eine signifikante Interaktion der Faktoren Kongruenz x Hemisphäre ($F(2,34) = 25,8; p \leq 0,001$) und CP x Kongruenz x Hemisphäre ($F(2,34) = 12,3; p = 0,002$). Weiterhin ergab sich eine signifikante Interaktion zwischen den Faktoren CP x sagittale Position ($F(3,51) = 3,7; p = 0,04$) und Kongruenz x sagittale Position ($F(3,51) = 11,3; p = 0,0002$).

2.4.4 Diskussion

Das vorangegangene Experiment hatte nahe gelegt, dass es frühe Unterschiede im Bereich der Komponenten N1 und P2 gibt, vor allem bei Wörtern, die am Ende eines Satzes mit hoher CP präsentiert wurden, im Vergleich zu jenen Wörtern, die Sätze geringer CP abschlossen. Das Experiment 3 diente dazu, diese Ergebnisse zu bestätigen, insbesondere nachdem zwei potentielle Fehlerquellen des Experiments 2 (unterschiedliche Silbenzahl und unterschiedliche Wortschatzfrequenz der terminalen Wörter) beseitigt worden sind. Wiederum wurden Sätze mit hoher und geringer Erwartungswahrscheinlichkeit durch semantisch kongruente oder inkongruente Wörter abgeschlossen. Der im Experiment 2 beobachtete Unterschied in der Ausprägung der Gipfellatenz im Zeitfenster zwischen 100 – 200 ms für den Vergleich zwischen Wörtern aus Sätzen mit hoher und geringer Erwartungswahrscheinlichkeit konnte nicht überzeugend repliziert werden. Es zeigte sich lediglich eine signifikante Interaktion zwischen den Faktoren Erwartungswahrscheinlichkeit und Elektrodenposition, deren Auflösung einen signifikanten Unterschied zwischen beiden Bedingungen an den Elektroden F3 und F4 ergab. Dies legt den Schluss nahe, dass im vorhergehenden Experiment beobachteten frühen Unterschiede im Bereich der N100 und P200 auf die unterschiedlichen Eigenschaften der experimentellen Stimulizurückgeführt werden kann.

Eine zweite Motivation für die Durchführung dieses 3. Experimentes war die Frage, ob sich zeitliche und topographische Aspekte der N400-Effekte, die auf die Kongruenz / Inkongruenz der Stimuli zum vorhergehenden Satz bzw. auf die Erwartungswahrscheinlichkeit, die durch den jeweiligen Satz aufgebaut wurde, zurückgeführt werden können. Kutas und Hillyard (1984) berichteten bereits eine eher posterior-zentral verteilte Negativierung nach der Wahrnehmung eines semantisch inkongruenten Wortes im Vergleich zu einem weniger erwarteten. King & Kutas (1998) beschreiben eine links-frontal verteilte Negativität, die sich sensitiv auf unterschiedliche Wortfrequenzen und Auftretenshäufigkeiten verhält, allerdings bei geschriebenem Material. Ein expliziter Vergleich des möglichen Unterschiedes in der Ausprägung der N400 für semantische Anomalien oder geringe Erwartungswahrscheinlichkeiten findet sich in der Literatur nicht (Kutas, 1993; van Petten, 1993). Die aktuellen Ergebnisse zeigen, dass sich die N400 in ihrem zeitlichen Verlauf und ihrer topografischen Verteilung als Reaktion auf semantisch inkongruente Wörter und Wörter mit geringer Erwartungswahrscheinlichkeit unterscheidet. Wörter, die sich als semantisch inkongruent zum vorhergehenden Satzinhalt herausstellen, lösen eine eher posterior-zentral verteilte Negativität aus, die circa 350 ms nach Beginn der Darbietung des akustischen Wortes beginnt (Abbildung 15). Die stärkere Negativität kann an dieser Stelle damit erklärt werden, dass ein Wort in das Verstehenssystem integriert werden muss, obwohl es nicht zum vorher präsentierten Satzkontext passt. Netzwerkaktivierungen (im Sinne des TRACE-Modells des Sprachverstehens, McClelland & Elman, 1986) für ein spezielles Wort, die aufgrund des fortlaufenden Satzinhaltes aus dem Wissenspeicher bereits aktiviert wurden, müs-

sen unterdrückt werden, andere dagegen aktiviert werden, so dass das semantisch inkongruente Wort mit seinen sensorischen Merkmalen dennoch wahrgenommen wird.

Im Gegensatz dazu lösen Wörter, die aufgrund des fortlaufenden Satzinhaltes weniger erwartet werden können, eine eher fronto-zentral verteilte Negativität aus, die ab circa 400 ms nach Einsetzen des akustischen Wortes beginnt. In diesem Fall ist die Negativität damit zu erklären, dass ein Wort aufgrund des Satzinhaltes weniger leicht zu integrieren ist und mehr Ressourcen benötigt. Der Satzinhalt löst die Aktivierung verschiedener Netzwerke aus, deren Aktivierungsschwelle durch das Fehlen vorhandener Wissensstrukturen nicht so schnell herabgesetzt werden können. Die Untersuchung zeigt weiterhin, dass sich die Effekte der semantischen Inkongruenz und die Effekte der Erwartungswahrscheinlichkeit addieren können (Abbildung 14), wobei die stärkste Negativität für die inkongruenten Wörter aus Sätzen mit geringer Erwartungswahrscheinlichkeit zu verzeichnen ist. Dieser Befund ist konsistent mit der Annahme, dass die N400 die Schwierigkeit der Integration eines Wortes in den Kontext reflektiert. Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass sich die N400 in ihrem zeitlichen Verlauf und ihrer topografischen Verteilung für die Verarbeitung von Wörtern mit geringer Erwartungswahrscheinlichkeit und semantischer Inkongruenz unterscheidet und verschiedene Prozesse des Verstehens und Integrierens eines akustisch präsentierten Wortes reflektiert.

2.5 Experiment 4: Konzeptgesteuerte Informationsverarbeitung visueller Sprachsignale

2.5.1 Einleitung

Die kritischen Stimuli der vorangegangenen Experimente wurden auditorisch präsentiert. Dabei wurde bewusst der vorhergehende Satzrumpf visuell gezeigt, da so vermieden werden konnte, dass sich die frühen auditorischen Verarbeitungsareale in ihrer Refraktärzeit befanden. Der Modalitätswechsel zwischen Satzrumpf und kritischem Stimulus diente also der Maximierung der Chancen, auch frühe Effekte einer kognitiven Korrektur nachweisen zu können. Experiment 3 hat dabei gezeigt, dass man von einer frühen kognitiven Korrektur im auditiven System auf der Ebene der N100 und P200 wahrscheinlich nicht ausgehen kann, da die sorgfältige Erstellung der Stimuli den in Experiment 2 gesehenen frühen Effekt zum Verschwinden brachte. Im Experiment 4 soll nun der umgekehrte Fall, d.h. Präsentation des Satzrumpfes auditorisch und Präsentation des kritischen Wortes visuell, untersucht werden, um zu überprüfen, ob in der visuellen Modalität eine frühe Korrektur möglich ist.

Die N400 wurde erstmals von Kutas und Hillyard (1980) als Reaktion des Gehirns auf semantisch inkongruente Stimuli bei geschriebenem Material entdeckt. Ihre Befunde sind vielfach repliziert worden (Rugg, 1984; Holcomb & Neville, 1990, 1991; van Berkum, Hagoort und Brown, 1999) und konnten auch auf gesprochene Sprache bezogen werden (McCallum et al., 1984; Holcomb & Neville, 1990, 1991; van Petten & Kutas, 1990, 1991; van Berkum, Hagoort und Brown, 2003). Alle Studien benutzten für die Untersuchung sprachlicher Verarbeitung entweder visuelles oder akustisches Material. In den vorangegangenen Experimenten 2 und 3 ist aus den oben beschriebenen Gründen der Modalitätswechsel von geschriebener zu gesprochener Sprache benutzt worden.

Im folgenden Experiment wird das gleiche Stimulusmaterial wie für Experiment 3 genutzt. Es soll beobachtet werden, wie sich die ermittelten Hirnpotentiale bei einem Wechsel von akustischem zu visuellem Sprachmaterial verhalten, wobei davon ausgegangen wird, dass die visuell evozierte N400 eher posterior und rechtshemisphärisch ausgeprägt sein wird und eine kürzere Latenz im Vergleich zur akustisch evozierten N400 aus Experiment 3 haben wird (vgl. Kutas, 1987; McCallum, 1984; Holcomb & Neville, 1990).

2.5.2 Methode

Material

Es wurden die gleichen Sätze benutzt wie in Experiment 3, nur wurden die Sätze bis auf das letzte Wort aufgesprochen und digitalisiert. Das letzte Wort wurde visuell auf dem Computerbildschirm in weißen Buchstaben auf einem schwarzen Hintergrund dargeboten (mit einer Auflösung von 1024 x 768 Punkten und im Abstand von 100 cm zu den Augen der Versuchsperson).

Das Stimulusmaterial bestand demnach ebenfalls aus 120 Sätzen mit hoher Erwartungswahrscheinlichkeit (hCP) und 120 Sätzen mit geringer Erwartungswahrscheinlichkeit (gCP). Jeweils die Hälfte der Sätze endete mit einem semantisch kongruenten Wort (K) und einem Wort, das semantisch nicht zum vorhergehenden Kontext des Satzes passt (IK).

Versuchspersonen

Insgesamt nahmen 16 Versuchspersonen (12 Frauen) im Alter zwischen 19 und 24 Jahren an dem Experiment teil. Keine von ihnen hatte an einem vorhergehenden Experiment teilgenommen. Nach eigenen Angaben hatte keine der Versuchspersonen Hör- oder Sehbeeinträchtigungen oder neurologische (Vor-)Erkrankungen, die die Auswertung des EEGs beeinträchtigen könnten. Alle Versuchspersonen waren rechtshändige Studierende der Otto-von-Guericke Universität Magdeburg mit deutscher Muttersprache. Die Teilnahme wurde finanziell oder mit Versuchspersonenstunden vergütet.

Versuchsablauf

Der Versuchsablauf orientierte sich am Experiment 3. Die gleiche Anzahl von Blöcken wurde den Probanden in 2 Sitzungen dargeboten. Die Aufgabe bestand darin, die Sätze aufmerksam zu verfolgen. Zur Aufmerksamkeitskontrolle wurde nach jedem 10. Satz eine inhaltliche Frage zu den vorher präsentierten Sätzen gestellt, die die Versuchspersonen mündlich beantworten sollten. Damit sollte gewährleistet werden, dass die Versuchspersonen die Sätze auch verfolgen und inhaltlich erfassen.

Die gesprochenen Sätze hatten eine mittlere Dauer von 3,8 Sekunden, das letzte Wort des Satzes wurde visuell, 600 ms nach Beendigung des gesprochenen Satzes in der Mitte eines schwarzen Bildschirms in weißen Buchstaben präsentiert, wobei die Versuchspersonen während der gesamten Präsentation des Satzes auf ein Fixationskreuz in der Mitte des Bildschirms schauen sollten (die Auflösung betrug 1024 x 768 x 16 Hz, der Abstand des Monitors zu den Augen der Versuchsperson betrug 100 cm). Bevor das Experiment begann, wurde den Versuchspersonen eine Übungsliste mit 7 Sätzen dargeboten (zufällige Auswahl der Bedingungen), welche in den Versuchsblöcken nicht vorkamen. Die Übung diente dazu, dass sich die Probanden an die Experimentalsituation gewöhnen und Unklarheiten über die Aufgabe beseitigt werden konnten.

EEG-Ableitung

Die Ableitung des Elektroenzephalogramms erfolgte wie in den vorangegangenen Experimenten. Zur Korrektur möglicher im Signal enthaltene Artefakte wurden jene Segmente nicht in der Auswertung betrachtet, die eine Amplitude von mehr als $\pm 100 \mu\text{V}$ (für die Augenkanäle) bzw. $\pm 75 \mu\text{V}$ (Skalpkanäle) aufwiesen. Durch diese Artefaktkorrektur sind etwa 15 % der dargebotenen Stimuli nicht in die Auswertung eingegangen. Die Ereigniskorrelierten Po-

tentiale wurden für alle Bedingungen getrennt gemittelt. Es wurde ein Zeitbereich von 100 ms vor dem Beginn der Präsentation des visuellen Wortes bis 900 ms danach ausgewählt.

2.5.3 Ergebnisse

Es zeigte sich, dass von den Versuchspersonen nahezu alle Inhaltsfragen richtig beantwortet werden konnten, so dass sichergestellt war, dass die Sätze aufmerksam verarbeitet worden sind. Die Auswertung der ereigniskorrelierten Potentiale erfolgte über die Bestimmung der mittleren Amplituden in zwei Zeitfenstern, die nach visueller Inspektion bestimmt wurden. In Abbildung 16 sind die Gruppenmittelpotentiale für alle experimentellen Bedingungen dargestellt. Diese sind gekennzeichnet durch eine kleine negative Komponente zwischen 50 und 150 ms. Daran schließt sich eine stärker ausgeprägte positive Auslenkung zwischen 150 und 300 ms an, die der P200-Komponente entspricht. Schließlich lässt sich zwischen 300 und 500 ms eine negative Komponente beobachten, die für die inkongruenten Bedingungen und die Sätze mit geringer Erwartungswahrscheinlichkeit für das letzte Wort stärker ausgeprägt ist und demnach auf eine N400 deutet.

Die statistische Analyse der Zeitfenster zwischen 150 – 250 ms und 300 – 500 ms erfolgte über neun Elektroden (F3/4, C3/4, P3/4, Fz, Cz und Pz) da hier die Effekte am ausgeprägtesten schienen.

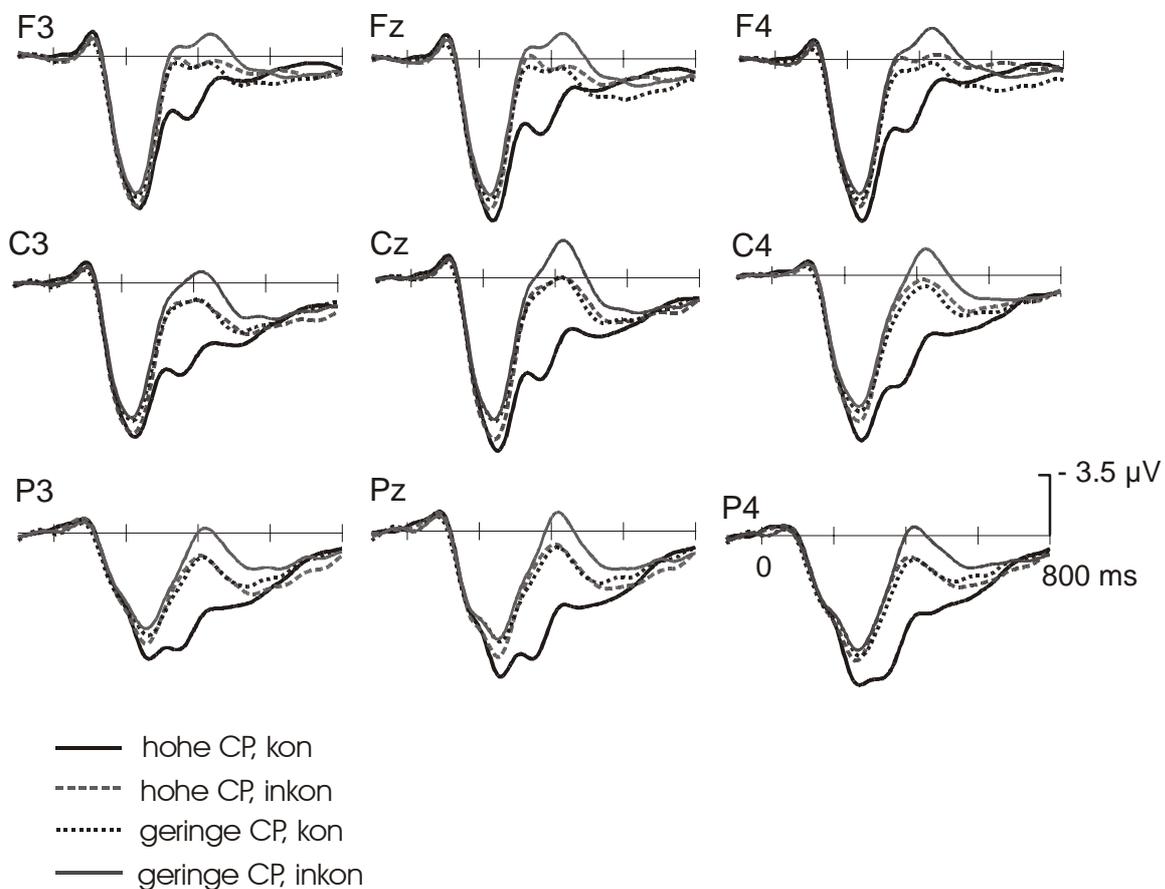


Abbildung 16: Gesamtmittelpotentiale für den Vergleich der Bedingungen mit unterschiedlicher Erwartungswahrscheinlichkeit (CP) und semantischer Kongruenz (kon) bzw. Inkongruenz (inkon) des letzten Wortes zum vorangehenden Satz in einem Zeitbereich von 100 ms vor dem Beginn der Präsentation des visuellen Wortes bis 800 ms danach, wobei der Prästimulusbereich von 100 ms als Grundlinie für die Ermittlung der Potentiale diente. Es sind jene Elektroden dargestellt, an denen die Aktivierung am deutlichsten ausgeprägt war (F3/4, C3/4, P3/4, Fz, Cz und Pz).

150 – 250 ms

Zwischen 150 – 250 ms findet sich ein signifikanter Haupteffekt für den Faktor *Erwartungswahrscheinlichkeit* ($F(1,15) = 13,3$; $p = 0,002$). Die mittlere Amplitude für die Wörter mit einer hohen Erwartungswahrscheinlichkeit erreicht einen Wert von $6,39 \mu\text{V}$ (Std. = $3,9$) und für die Wörter mit geringer Erwartungswahrscheinlichkeit einen Wert von $5,8 \mu\text{V}$ (Std. = $3,7$). In diesem Zeitfenster wurde weder ein Haupteffekt für den Faktor Kongruenz noch eine Interaktion zwischen den Faktoren CP und Kongruenz gefunden.

300 – 500 ms

Die Ergebnisse der globalen ANOVA sind in Tabelle 16 zusammengefasst. Da es hier zu einer Interaktion zwischen den Faktoren Kongruenz und CP kommt, wurden Post-hoc Paarvergleiche berechnet. Die Ergebnisse und die mittleren Amplituden an der Elektrode Cz sind in Abbildung 17 dargestellt.

Tabelle 16: Ergebnisse der globalen ANOVA für die Faktoren Erwartungswahrscheinlichkeit (CP), Kongruenz (Kon) und Elektrodenposition (EL: F3/4, C3/4, P3/4, Fz, Cz, Pz) in einem Zeitbereich von 300 – 500 ms.

Faktoren	df	F	$p \leq$
CP	1,15	89,2	0,001
Kon	1,15	32,4	0,001
EL	8,120	14,7	0,001
CP x EL	8,120	6,7	0,003
Kon x EL	8,120	8,1	0,001
CP x Kon	1,15	10,1	0,006
CP x Kon x EL	8,120	7,8	0,001

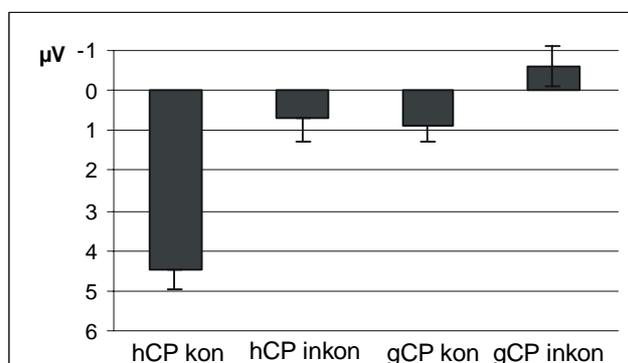


Abbildung 17: Werte der Ausprägungen der mittleren Amplituden aller unterschiedlichen Bedingungen: hohe und geringe Erwartungswahrscheinlichkeit (hCP – gCP) und semantisch kongruent (kon) und inkongruent (inkon) an der Elektrode Cz in einem Zeitbereich von 300 – 500 ms.

Tabelle 17: Ergebnisse der ANOVA für die Faktoren Bedingung (Paarvergleiche) und Elektrodenposition (EL, F3/4, C3/4, P3/4, Fz, Cz und Pz). Es werden ausschließlich signifikante Werte berichtet.

Paarvergleiche	Bedingung		Bedingung × EL	
	F(1,15)	p ≤	F(8,120)	p ≤
hohe CP – geringe CP (semantisch kongruent)	54,9	0,001	15,5	0,001
hohe CP – geringe CP (semantisch inkongruent)	15,7	0,001	0,6	n.s.
kon – inkon (hohe CP)	32,9	0,001	11,4	0,001
kon – inkon (geringe CP)	12,9	0,003	0,9	n.s.

Die Betrachtung der Differenzwellen (geringe CP – hohe CP und inkongruent – kongruent) macht deutlich, dass die Gipfelatenz und Gipfelamplitude der Negativität für die Subtraktion betreffend die Erwartungswahrscheinlichkeit und die Subtraktion betreffend die Kongruenz annähernd gleich ist (Abbildung 18). Die Gipfelatenzen unterschieden sich statistisch nicht voneinander ($F(1,15) = 0,5$; $p = 0,7$), ebenso wenig die Gipfelamplituden $F(1,15) = 1,2$; $p = 0,3$).

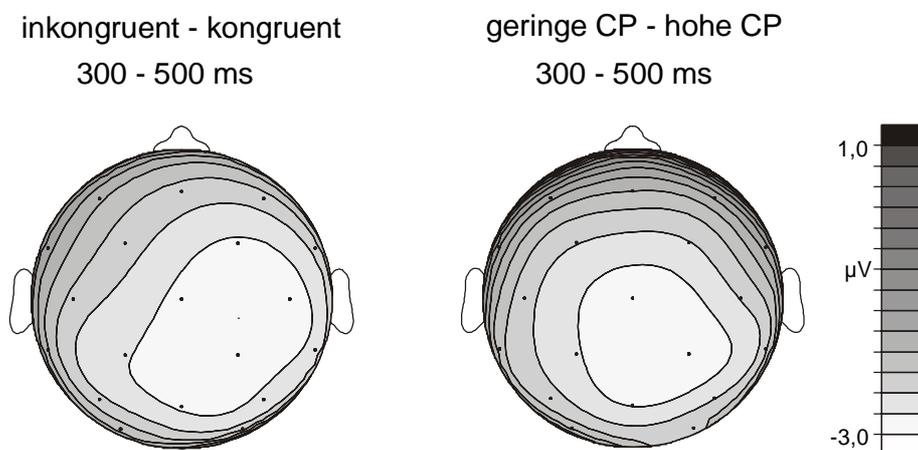
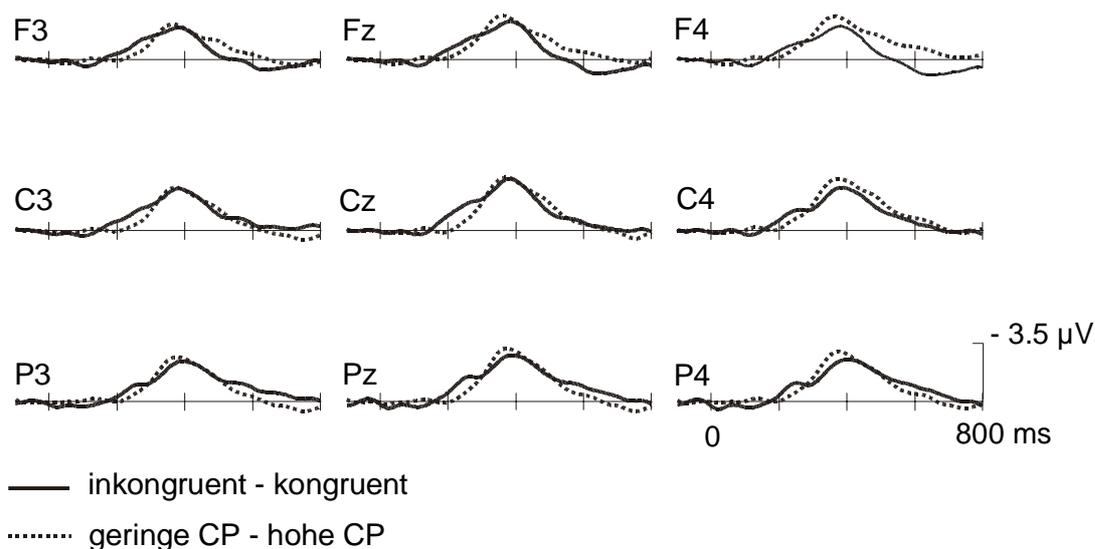


Abbildung 18: Differenzpotentiale (oben im Bild), die aus der Differenz der Aktivierung der Wörter aus Sätzen mit geringer und hoher Erwartungswahrscheinlichkeit (CP), sowie semantisch inkongruenten und kongruenten Wörtern im Zeitbereich zwischen 100 ms vor dem Beginn des visuellen Wortes (Basislinie) bis 800 ms danach. Das Maximum der Negativitäten in beiden Differenzen wird zwischen 300 – 500 ms erreicht. In der unteren Abbildung sind die topographischen Verteilungen der Differenzaktivierungen in Zeitfenster zwischen 300 – 500 ms dargestellt. Es zeigt sich deutlich eine unterschiedliche Verteilung der Aktivität, die für die Differenz der inkongruenten und kongruenten Wörter eher posterior-zentral und stärker rechtshemisphärisch ausgeprägt ist und für die Differenz der Wörter mit geringer und hoher CP eher posterior-zentral.

Die Berechnung der mittleren Amplituden in den topografischen Verteilungen zwischen 300 – 500 ms nach Normalisierung der Daten ergab eine signifikante Interaktion für die Faktoren CP x sagitale Position ($F(4,60) = 7,8$; $p = 0,001$), Kongruenz x sagitale Position ($F(4,60) = 3,1$; $p = 0,04$), CP x Hemisphäre x sagitale Position ($F(4,60) = 14,5$; $p \leq 0,0001$) sowie KOngruenz x Hemisphäre x sagitale Position ($F(4,60) = 10,5$; $p = 0,003$).

2.5.4 Diskussion

Ziele des Experimentes waren

- (1) die Replikation der Ergebnisse des vorigen Experimentes, welches bei auditiver Darbietung des terminalen Wortes eines Satzes eine unterschiedliche Anfangslatenz und eine unterschiedliche topographische Verteilung der EKP Effekte für Erwartungswahrscheinlichkeit und Kongruenz gezeigt hatte und
- (2) die Klärung der Frage, ob es zu frühen Effekten (<200 ms) der Erwartungswahrscheinlichkeit kommt.

Das Besondere an der Untersuchung war ein Modalitätswechsel zwischen dem Satzrumpf (auditorische Präsentation) und dem terminalen Wort (visuelle Präsentation), der vermeiden sollte, dass sich frühe sensorische Verarbeitungsareale in der Refraktärphase befanden.

Die Ergebnisse der Untersuchung zeigen, dass sich die ereigniskorrelierten Potentiale auf visuell präsentierte Wortstimuli von denen der vorangehenden akustisch evozierten Potentiale (Experiment 2 und 3) unterscheiden. Zunächst wird deutlich, dass die modalitätsspezifische N100 hier geringer ausgeprägt ist und die P200 deutlich stärker. Dieser Befund geht einher mit der Reaktion auf die Merkmale der Stimuli, die hier visuell dargeboten wurden. Innerhalb des Zeitfensters zwischen 150 und 250 ms (P200) zeigte sich ein signifikanter Unterschied in der Aktivierung zwischen den Wörtern mit hoher und geringer Erwartungswahrscheinlichkeit, wobei die Wörter mit hoher Erwartungswahrscheinlichkeit eine stärkere P200 auslösen.

Es wurde wie in den Vorexperimenten eine stärkere Negativität (a) für Wörter vermutet, die sich semantisch inkongruent zum vorangehenden Satzinhalt verhalten, und (b) für Wörter, die weniger vorhersagbar waren (geringe Erwartungswahrscheinlichkeit). Darüber hinaus wurde davon ausgegangen, dass sich die visuell evozierte N400 in diesem Experiment von der akustischen evozierten N400 im Experiment 3 dahingehend unterscheiden würde, dass sie eher posterior rechtshemisphärisch verteilt sein und eine kürzere Latenz besitzen würde. Bei-

de Hypothesen konnten in der vorliegenden Untersuchung bestätigt werden. Die Negativität für die Erwartungswahrscheinlichkeit und diejenige für semantische Inkongruenz begannen jeweils etwa bei 200 ms und waren stärker über der rechten Hemisphäre ausgeprägt (Abbildung 19).

Es ist deutlich geworden, dass sich die N400 als Reaktion auf weniger vorhersagbare Wörter eher posterior rechtshemisphärisch verteilt und bei semantisch inkongruenten Wörtern eher parieto-zentral verteilt ist (Abbildung 19). Dieses Ergebnis legt nahe, dass hier zumindest teilweise verschiedene neuronale Strukturen involviert sind und somit verschiedene Verarbeitungsprozesse reflektiert werden. Im Hinblick auf die Verteilung der N400 für die beiden Versuchsbedingungen in Experiment 3, bei dem die N400 für die geringe Erwartungswahrscheinlichkeit eher fronto-zentral beobachtet wurde und für die semantische Inkongruenz ebenfalls parieto-zentral, können unterschiedliche Schlussfolgerungen gezogen werden. Zum einen kann davon ausgegangen werden, dass die Verarbeitung von Wörtern, die wenig vorhersagbar sind, von der Darbietungsmodalität abhängt: Die fronto-zentrale Verteilung bei der gesprochenen Darbietung steht in Zusammenhang mit der akustischen Verarbeitung; die posteriore Verteilung in der Nähe des visuellen Kortex bei der geschriebenen Modalität für die visuelle Verarbeitung. Der Verstehensprozess ist also offensichtlich modalitätsspezifisch organisiert und während der Verarbeitung weniger vorhersagbarer Informationen stärker von den sensorischen Informationen abhängig. Die eher posterior-zentral verteilte N400 als Reaktion auf semantisch abweichende Stimuli reflektiert dagegen modalitätsunabhängige Verarbeitungsprozesse. Zusätzlich kann festgehalten werden, dass die visuell evozierte N400 insgesamt in beiden Bedingungen circa 200 ms anhält, wohingegen sie in der akustisch evozierten Form in Experiment 3 (Abbildung 17) länger als 200 ms anhält. Dieser Befund bestätigt ebenfalls vorangehende Befunde zum Vergleich zwischen visuell und akustisch evozierter N400 (McCallum, 1984; Holcomb & Neville, 1990). Erklärt wird dieser Unterschied damit, dass bei akustischer Präsentation die sensorische Information sukzessiv zur Verfügung steht (vgl. die Überlegungen zum Kohortenmodell weiter oben), während es in der visuellen Präsentation möglich ist, ein Wort als Ganzes zu erfassen (vgl. auch van Berkum, Hagoort und Brown, 2003). Holcomb und Neville (1990) führen zudem an, dass aufgrund der Methode des EKP in den Studien meist kürzere Wörter benutzt wurden, um Augenbewegungen als Folge der Lesebewegungen zu vermeiden. Die Probanden müssen die Wörter auch dann erfassen können, wenn sie während der Präsentation einen in der Mitte des Bildschirms präsentierten Fixierungspunkt anschauen. Die N400 bei geschriebenen Wörtern ist also deshalb schmaler, weil die auslösenden Wörter schneller erfasst werden.

2.6 Zusammenfassung

Inhalt dieses Kapitels war die Untersuchung der Verarbeitung akustischer sprachlicher Informationen und deren kognitive Korrektur bei unterschiedlichen Wahrnehmungsbedingungen.

Im ersten und zweiten Experiment wurde das Einsetzen einer kognitiven Korrektur durch die Verwendung zeitlich invertierter Wörter provoziert. Es zeigte sich, dass trotz der zeitlichen Verzerrung Wörter über die Ratewahrscheinlichkeit hinaus verstanden werden. Dies impliziert, dass eine Korrektur während der Verarbeitung stattfindet. Die Zeitinversion beeinflusste sowohl frühe (N100) als auch spätere (N400) Komponenten, wobei die stärkere Ausprägung der N100 möglicherweise durch die Stimuluseigenschaften der invertierten Wörter erklärt werden kann. Sicher kann jedoch davon ausgegangen werden, dass eine kognitive Korrektur in den späteren Phasen der Sprachverarbeitung stattfindet und sich in Form einer Negativität um 400 ms äussert. Aufgrund der Ähnlichkeit in der Amplitude und der Latenz dieser Negativität mit der „klassischen“ N400, kann diese Negativität hier als eine Komponente verstanden werden, die in Verwandtschaft zur N400 steht.

Im zweiten Experiment ist die Korrektur zeitinvertierter Stimuli zusätzlich in Zusammenhang mit ganzen Sätzen untersucht worden. Dabei wurden Kontextinformationen so manipuliert, dass die Erwartungswahrscheinlichkeit und die semantische Passung des letzten Wortes in einem faktoriellen Design variiert wurden. Es zeigte sich, dass mit Zunahme an Kontextinformationen das Verstehen invertierter Wörter verbessert wurde. Die ereigniskorrelierten Hirnpotentiale unterschieden sich zwischen den Bedingungen in ihrer Latenz und Ausprägung, vor allem in den Zeitfenstern zwischen 400 – 600 ms und 600 – 800 ms. Die Differenz der EKP zu Wörtern aus Sätzen mit geringer und hoher Erwartungswahrscheinlichkeit zeigte eine N400 Komponente, die für invertierte Wörter deutlich später als für nicht invertierte Wörter begann. Dieser Befund ist in Zusammenhang mit verschiedenen Sprachmodellen diskutiert worden.

In Experiment 2 hatte sich darüber hinaus ein früher Effekt der Erwartungswahrscheinlichkeit ergeben. Dieser potentiell bedeutsame Effekt sollte in Experiment 3 mit optimiertem Stimulusmaterial repliziert werden. Nachdem Wortlänge und Wortfrequenz exakt angeglichen wurden, ergab sich jedoch lediglich ein Unterschied zwischen den Bedingungen für die N400. Das letzte Experiment stellte eine Replikation von Experiment 3 mit Modalitätswechsel dar. Es zeigte sich in den Experimenten 3 und 4, dass eine klassische N400 auch bei einem Modalitätswechsel zwischen akustischem und visuellem Sprachmaterial hervorgerufen wird. Ein Latenzunterschied in der N400 für den Vergleich zwischen unterschiedlicher Erwartungswahrscheinlichkeiten und semantischer Kongruenz ergab einen späteren Beginn der N400 für die Bedingungen mit unterschiedlicher Erwartungswahrscheinlichkeiten in der akustischen Darbietung der letzten Wörter, aber keinen Latenzunterschied in der geschriebenen Version.

Die Betrachtung der topographischen Verteilungen in den Experimenten 3 und 4 zeigt einen Unterschied in der Verarbeitung der sprachlichen Wahrnehmungsbedingungen in gesprochener und in geschriebener Sprache. In der akustischen Präsentation konnte eine eher frontozentral verteilte Negativität um 400 – 600 ms für die Wörter mit geringer Erwartungswahrscheinlichkeit beobachtet werden; diese Negativität ist in der visuellen Präsentation mehr posterior und im zeitlichen Verlauf früher (zwischen 300 – 500 ms) ausgeprägt. Die Reaktion des Gehirns auf semantisch inkongruente Wörter in Form einer N400-Komponente ist sowohl in der geschriebenen als auch in der gesprochenen Modalität über den parietalen und zentralen Elektroden verteilt, wobei die N400 in der visuellen Modalität eher rechtshemisphärisch lateralisiert ist. Dies spricht dafür, dass hier in beiden Modalitäten eher ein ähnlicher Verarbeitungsprozess reflektiert wird.

Die Negativitäten mit einem Maximum bei 400 ms, wie sie in den vorangegangenen Experimenten als eine Reaktion des Gehirns auf die Integration unterschiedlicher sprachlicher Informationen und als Interaktion zwischen datengeleiteten und hypothesengeleiteten Informationen verstanden werden kann, sind in ihren Amplituden ähnlich ausgeprägt und unterscheiden sich in ihrer Latenz und topografischen Verteilung, abhängig von der Modalität des Sprachmaterials und der Modulation der kontextuellen Erwartung.

Im folgenden Kapitel soll noch näher auf die Interaktion zwischen datenbasierten und hypothesengeleiteten Informationen während der Sprachverarbeitung eingegangen werden. Die zentrale Fragestellung dabei ist, wie sich eine kognitive Kontrolle sprachlicher Informationen bei Patienten mit beeinträchtigtem Hörvermögen durch eine implantierte Ohrschnecke (Cochlea) auswirkt. Im ersten Experiment des nächsten Kapitels geht es um die Wahrnehmung visuell präsentierter Sätze mit einer hohen Erwartungswahrscheinlichkeit, deren letzte Wörter akustisch dargeboten und sich als semantisch kongruent oder inkongruent zum vorangehenden Satz herausstellen werden, wobei in einer Bedingung die inkongruenten Wörter phonologisch ähnlich zum kongruenten Wort sind. Dabei wird ermittelt, wie viele und welche Wörter die Probanden richtig verstehen können und welche ereigniskorrelierten Potentiale sich während der Verarbeitung abbilden lassen. Die Ergebnisse werden im Vergleich zu einer gesunden Kontrollgruppe betrachtet.

Im letzten Experiment geht es um die gleichzeitige Wahrnehmung von akustischen und visuellen sprachlichen Informationen. Es soll beobachtet werden, wie Patienten mit einem Cochleaimplantat Informationen eines sprechenden Gesichtes wahrnehmen, wenn die akustischen Informationen zusätzlich mit einem Rauschen unterlegt sind oder die akustischen und visuellen Informationen nicht zusammen passen. Auch in diesem Experiment soll ermittelt werden, wie viele und welche Wörter die Probanden im Vergleich zu einer gesunden Kontrollgruppe verstehen und welche ereigniskorrelierten Potentiale sich während der Verarbeitung ablesen lassen.

3 Die konzeptgesteuerte kognitive Korrektur während der Wahrnehmung sprachlicher Signale bei Patienten mit Cochleaimplantat

In den vorangegangenen Experimenten konnte gezeigt werden, wie sich eine kognitive Korrektur bei herabgesetzter Wahrnehmungsqualität sprachlicher Laute aufgrund zeitlicher Inversion von einzelnen Teilen des akustischen Signals auswirkt. In diesem Kapitel wird darauf eingegangen, wie natürliche Sprachreize bei beeinträchtigter Hörfähigkeit verarbeitet werden. Dazu wird ein Experiment bei Patienten mit einem Implantat in der Hörschnecke, die eine geringere spektrale Auflösungsfähigkeit aufweisen, durchgeführt.

Dass Ertaubten die Fähigkeit zum Hören von Sprache und Musik wieder gegeben werden kann, ist eine herausragende Errungenschaft der modernen Medizin und Implantationstechnik. Mit Hilfe von in die Hörschnecke des Innenohres eingesetzten Elektroden werden akustische Signale über den Hörnerv an das Gehirn weitergeleitet. Wahrnehmungseindrücke sind so wieder möglich. Seit den 70er Jahren des letzten Jahrhunderts wurden Cochleaimplantate bei circa 40.000 Personen im Alter zwischen 0 bis 85 Jahren weltweit implantiert. Die technische Qualität der Implantate und damit auch die Qualität der Wahrnehmungseindrücke hat sich immer weiter verbessert. So ist es möglich, dass selbst taub geborene Kinder ein Cochleaimplantat erhalten und fast unbeeinträchtigt hören können.

Bisher ist in der Literatur offen geblieben, wie sich eine kognitive Korrektur in einer realistischen Sprechsituation äussert, das heisst, wenn die Wörter sowohl gehört, als auch das sprechende Gesicht dazu gesehen wird. Die Frage ist, wie die Informationen der akustischen und der visuellen Modalität zeitgleich wahrgenommen und miteinander kombiniert werden. Das folgende Experiment erfordert die Verarbeitung von Wörtern bei gleichzeitiger akustischer und visueller Präsentation von Sprache. Die Verstehensleistung und die Ausprägung elektrophysiologischer Korrelate werden auch hier im Vergleich zwischen Patienten und einer vergleichbaren Kontrollgruppe eingeschätzt und diskutiert.

Das Einsetzen einer kognitiven Korrektur während der Sprachverarbeitung ist in den vorangegangenen Experimenten dieser Arbeit in Zusammenhang mit zeitlich verzerrten Wörtern und Manipulationen der Erwartungswahrscheinlichkeit und des semantischen Bezuges eines Wortes zum Satzkontext untersucht worden. Dabei wurde festgestellt, dass sich eine Korrektur als eine verstärkte Negativität um 400 ms nach Beginn des Wortes im EKP abbildet. Demnach kann vermutet werden, dass die Sprachwahrnehmung auf späteren Verarbeitungsebenen beeinflusst wird. Angelehnt an das vorhergehende Kapitel wird im Experiment 6 gezeigt, wie Patienten im Vergleich zu einer gesunden Kontrollgruppe Sprachsignale identifizieren, die im Kontext eines Satzes dargeboten werden. Dabei wurde der semantische Bezug des erwarteten Wortes am Satzende manipuliert, diese semantisch inkongruenten

Wörter unterscheiden sich zusätzlich in ihrer Ähnlichkeit des phonologischen Klangs zum erwarteten Wort.

3.1. Einleitung: Grundlagen der Funktionsweise des Cochleaimplantats

Aufgrund einer Funktionsschädigung der Haarzellen innerhalb der Hörschnecke des Innenohres infolge verschiedener Erkrankungen können die Betroffenen Laute nicht mehr adäquat wahrnehmen und durch Lautstärkeerhöhung auch nicht weiter kompensieren. Mit Hilfe eines Implantats kann es den Patienten ermöglicht werden, Schall- und vor allem auch Sprachsignale wieder zu verstehen (Dijourno & Eyries, 1957). In Abbildung 19 soll verdeutlicht werden, wie sich die Verstehensleistung durch ein Implantat bei Ertaubten verbessert.

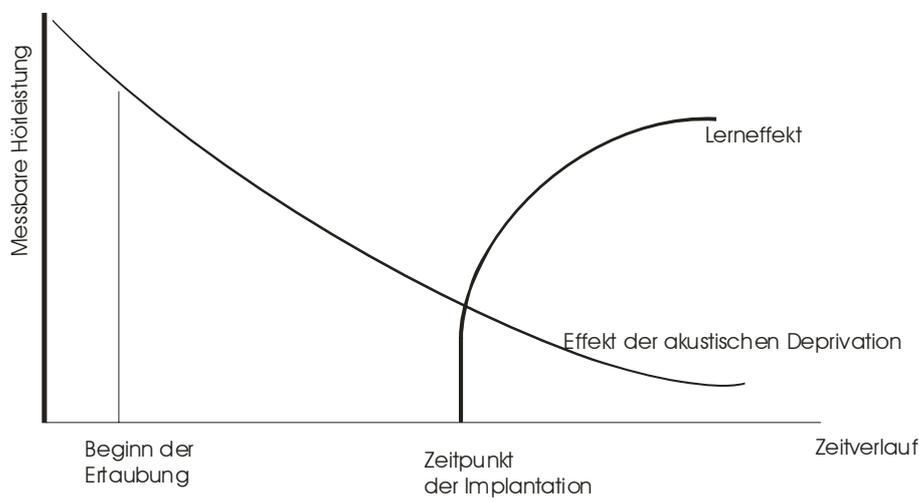


Abbildung 19: Phasenmodell zur Darstellung der Verbesserung der Hörleistung nach Implantation (abgewandelt aus: Blamey et al., 1996)

Die Technik basiert auf dem Ersetzen zugrunde gegangener sensorischer Zellen durch Elektroden, die die auditorischen Nervenzellen direkt stimulieren. Für eine Wiederherstellung eines akustischen Höreindrucks wird die tonotopische Verteilung der verschiedenen Frequenzen innerhalb der Cochlea genutzt (Békésy, 1960). Hohe Frequenzen eines Schallsignals werden als Aktivierung der Haarzellen am unteren Ende der Hörschnecke repräsentiert, niedrige Frequenzen am oberen Ende (Apix).

Das Implantat ist aus einem externen und einem internen Teil zusammengesetzt (Abbildung 20). Der externe Teil besteht aus einem Mikrophon, der die akustischen Reize auffängt, einem Sprachprozessor und einem Transmitter. Der Sprachprozessor analysiert und digitalisiert die akustischen Reize und gibt sie an den Transmitter weiter, der sich auf dem Mastoid des betroffenen Ohres befindet. Die akustischen Signale werden auf diesem Wege durch die Haut in den internen Teil des Implantats weitergeleitet. Hier werden die digitalisierten Reize

in elektrische Signale umgewandelt und von den jeweiligen implantierten Elektroden innerhalb der Cochlea an den Hörnerv weitergegeben (Abbildung 20), so dass ein Höreindruck im auditorischen Kortex entstehen kann.

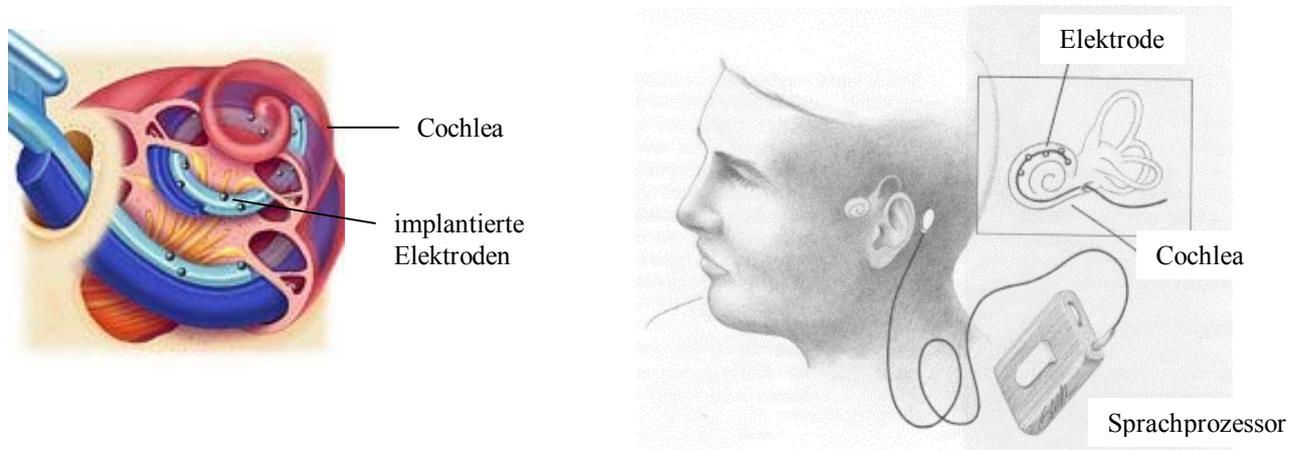


Abbildung 20: links im Bild: Darstellung der Elektroden auf der künstlichen Cochlea; im Bild rechts: interne und externe Teile eines Cochlea-Implantates und deren Anordnung am Ohr des Patienten (aus: <http://www.cochlea.com>)

Da die akustischen Signale auf eine reduzierte Anzahl an Frequenzbändern weitergegeben werden, ist die Qualität dieser neu wahrnehmbaren Signale herabgesetzt und kann nur bedingt mit der Qualität der natürlichen Sprache verglichen werden (Rubinstein et al., 1999). Patienten berichten, dass die Sprachsignale direkt nach der Implantation etwa so klingen wie ein schlecht eingestellter Radiosender oder die Stimme von Donald Duck unter Wasser. Folgerichtig müssen diese Patienten die herabgesetzte Qualität intern durch zusätzliche sensorische, beispielsweise visuelle Informationen und ihr vorhandenes Wissen über Sprache korrigieren bzw. kompensieren. Aus diesem Grunde spielt die kognitive Korrektur während der Sprachverarbeitung bei diesen Patienten vermutlich eine große Rolle.

In einer Studie zum Vergleich der Verstehensleistung bei Patienten nach einer Implantation in den neun größten Implantationszentren der Welt zeigten sich bei den meisten Patienten signifikante Verbesserungen des Sprachverstehens und des bewussten Wahrnehmens akustischer Informationen (Gantz et al., 1994). Im Durchschnitt können die Patienten etwa 85% der Wörter in einem zusammenhängenden Satz gut verstehen, ohne dabei zusätzliche visuelle Informationen zu benötigen (CII bionic ear system, 2001; vgl. auch: Cohen, 1997; Cohen, Waltzmann & Fisher, 1993; Helms et al., 1997). Die Autoren gehen von einer starken Verbindung zwischen hypothesengeleiteten top-down Prozessen (Lippenlesefähigkeit) und der Verstehensleistung der Patienten aus. In vielen darauf folgenden Publikationen ist angemerkt worden, dass verschiedene Faktoren eine Rolle dabei spielen, ob eine Implantation „erfolgreich“ im Sinne einer Verbesserung der Hörleistung ist. Dies soll im Folgenden näher erörtert werden.

Wesentlich ist das Alter des Patienten zum Zeitpunkt der Ertaubung, genauer, ob die Ertaubung in der Entwicklung noch vor dem Spracherwerb auftritt (prälingual), oder nach dem Spracherwerb (postlingual). Auch bei taub geborenen Kindern konnte mit Hilfe eines Implantates eine Verbesserung der Entwicklung des Sprachverstehen und der Sprachproduktion erzielt werden (Osberger, 1997; Tyler et al., 1997a, 1997b; Miyamoto, 1996; Pisoni, 2000). Bei Personen, die noch vor dem 18. Lebensmonat ertaubt sind und im Erwachsenenalter ein Implantat erhielten, konnten Verbesserungen in den auditorischen Funktionen nachgewiesen werden, selten jedoch die Verbesserung des Sprachverstehens (Baumgartner, 2000; Noble, 2000). Weitere Kriterien für die Verbesserung der Hörleistung sind:

- Dauer der Taubheit bis zur Implantation: Je kürzer die Zeit zwischen Ertaubung und Implantation ist, umso weniger erfolgt eine kortikale Reorganisation des auditorischen Kortex (Rubinstein, Wilson & Finley, 1999; vgl. auch Blamey et al., 1996; Geier et al., 1999; Wiebe, 2001; Chourd et al., 1976 berichten dagegen keinen Zusammenhang zwischen Leistung im Sprachverstehen und Ertaubungsdauer);
- Bilaterale oder unilaterale Implantation: Bis vor einigen Jahren gab es ausschließlich unilaterale Implantationen, in der letzten Zeit sind bilaterale Implantationen zunehmend wichtiger geworden;
- Intensität einer Rehabilitation/ Sprachtherapie nach der Implantation: Bewusstes Training und Erlernen für Lippenlesen erhöht die Hörkompensation (Tyler et al., 1984);
- Anzahl der implantierten Elektroden.

Die meisten Veröffentlichungen, die sich mit dem Phänomen der Hörleistung nach einer implantierten Cochlea befassen, beziehen sich auf Verhaltensdaten für die Verstehensleistung. Wie das Gehirn auf die Implantation reagiert und wie die Sprachverarbeitung kortikal realisiert wird, ist in den letzten Jahren zunehmend Gegenstand des wissenschaftlichen Interesses geworden. Vor allem die Methode der ereigniskorrelierten Potentiale mit ihrer hohen zeitlichen Auflösung für die Abbildung kortikaler Mechanismen scheint für die Untersuchung von Informationsverarbeitungsprozessen bei CI-Patienten besonders gut geeignet. Im Folgenden wird auf ausgewählte Studien eingegangen, bei denen die akustische Informationsverarbeitung bei Patienten mit Cochleaimplantat elektrophysiologisch untersucht wurde. Anschließend werden Ergebnisse von Arbeiten vorgestellt, die sich mit den zugrunde liegenden neuronalen Grundlagen bei Patienten mit implantierter Hörschnecke beschäftigen.

Ereigniskorrelierte Potentiale nach Cochleaimplantation

Die Fähigkeit der Sprachwahrnehmung bei CI-Patienten ist vor allem in Zusammenhang mit den Ausprägungen der Komponenten N1, P2, P3 und der MMN (Mismatch Negativity) beschrieben worden (Groenen et al., 1996; Kraus et al., 1993; Ponton & Don, 1995; Ponton et al., 2000; Firszt, Chambers & Kraus, 2002; Lonka et al., 2004; Koelsch et al., 2004).

Die Arbeitsgruppe um Groenen untersuchte die Wahrnehmung der Kontrastpaare /ba/ und /da/ und fand eine ähnlich ausgeprägte MMN bei CI im Vergleich zu Kontrollprobanden. Dabei stellte die Arbeitsgruppe fest, dass es eine erhöhte Variabilität innerhalb der Leistungen zwischen den CI-Nutzern gab und konnte „gute“ CI-Patienten von „schlechten“ unterscheiden (Groenen et al., 1996).

Bei der Wahrnehmung irregulärer Musik in einem Oddball-Paradigma konnte gezeigt werden, dass die MMN für CI-Patienten eine geringere Amplitude aufweist als für normal hörende Kontrollpersonen (Koelsch et al., 2004). Dies bedeutet, dass es bei CI-Patienten zu einer aufmerksamkeitsunabhängigen Detektion akustischer Signale trotz der Beeinträchtigung des Hörvermögens kommt. Eine generell verminderte MMN lässt sich dadurch erklären, dass es bei CI-Trägern zu einem verminderten auditorischen Diskriminationsprozess im Vergleich zu Normalhörenden kommt und die Ermittlung einer MMN als Hinweis für die kortikale auditorsche Reorganisation betrachtet werden kann (Kraus et al., 1993; Lonka et al., 2004).

Zusammenfassend bedeutet dies, dass bekannte ereigniskorrelierte Potentiale bei CI-Patienten untersucht werden können. Innerhalb der bisherigen Forschungsarbeiten ist zunächst Augenmerk auf die frühe, das heißt, die aufmerksamkeitsabhängige und –unabhängige Verarbeitung akustischer Signale vor allem im Rahmen von Mismatch-Paradigmen gelegt worden. Dabei wurden kurze Töne, Tonfolgen oder kurze Silben als Stimulusmaterial benutzt. Die Verarbeitung komplexer sprachlicher Signale wie Wörter, Sätze oder visuell präsentierte Sprache ist bisher nicht untersucht worden und soll Gegenstand der folgenden Experimente sein.

Neuronale Grundlagen bei der akustischen Verarbeitung nach Cochleaimplantation

Mit Hilfe der PET-Methode konnte gezeigt werden, dass es während der Wahrnehmung von Sprache zu einer veränderten Hirnaktivität im Vergleich zwischen prälingualen und postlingualen CI-Patienten kommt. Bei den postlingual ertaubten Erwachsenen zeigten sich ähnliche Aktivierungen wie bei einer gesunden Kontrollgruppe (Okazawa et al., 1996; Naito et al., 1997; Young et al., 1998). Postlingual Ertaubte zeigten während des Hörens akustischer Signale Aktivierungen noch vor einer signifikanten Sprachrehabilitation in den primären und sekundären akustischen Cortexarealen. Prälingual Ertaubte dagegen zeigten nach einer Implantation Aktivierungen in den Bereichen des Broca- und Wernickeareals, nicht aber in auditorischen Cortexarealen. Dieser Unterschied in den Aktivierungen ist von den Autoren als Hinweis interpretiert worden, wie erfolgreich eine Implantation die Sprachwahrnehmung verbessert. Weiterhin gilt dies auch als ein Zeichen für die neuronale Reorganisation des auditorischen Kortex, die sich individuell unterschiedlich gestaltet und aus diesem Grunde auch die sehr variierenden individuellen Leistungen der CI-Patienten widerspiegelt (Ponton et al., 1993).

Die Arbeitsgruppe um Anne-Lise Giraud zeigte im Jahre 2000 in ihrer PET-Untersuchung, dass nicht nur die klassischen Sprachverarbeitungsareale bei CI-Patienten aktiviert werden. Zusätzlich beobachteten sie eine stärkere Aktivierung in jenen Arealen, die am ehesten mit der phonologischen Verarbeitung in Zusammenhang gebracht werden, wie dem rechten posterioren Gyrus temporalis (Petersen et al., 1996; Fiez, 1997; Price et al., 1997) und den rechten prämotorischen Regionen, die mit der Produktion von Silben assoziiert sind (Price & Giraud, 1998). Die Kontrollprobanden zeigten eher eine stärkere Aktivierung im inferioren Temporallappen, der an der semantischen Verarbeitung beteiligt ist (Alexander, Hiltbrunner & Fischer, 1989; Hodges und Patterson, 1997). Giraud et al. (2000) interpretieren ihre Befunde hinsichtlich der unterschiedlichen Aktivierungen bei beiden Versuchsgruppen dahingehend, dass bei den Patienten mit beeinträchtigtem Hörvermögen eher eine detaillierte phonologische Verarbeitung des verbalen Eingangssignals im Vordergrund steht, um eine generelle Bedeutung wahrzunehmen. Zusätzlich berichten die Autoren von einer stärkeren Aktivierung im linken posterioren Hippocampus bei den Patienten. Dieser ist unter anderem bei der Zuordnung des Kontextes bei semantischen Gedächtnisaufgaben involviert (LePage, Habib und Tulving, 1998) und kann in diesem Zusammenhang als Areal verstanden werden, das die Bedeutung der Sprachreize aus dem Gedächtnis aktiviert, um die Wahrnehmung des phonologischen Inputs zu erleichtern. Ein weiterer Hinweis für das Einsetzen einer kognitiven Korrektur während der Wahrnehmung sprachlicher Informationen bei Personen mit einer Hörschneckenprothese ist der Befund, dass es zusätzlich zu einer stärkeren Aktivierung in den tieferen Arealen des Hirnstamms kommt (Giraud et al., 2000). In diesem Gebiet werden die aufsteigenden (bottom-up) und absteigenden (top-down) Bahnen des auditorischen Verarbeitungsweges lokalisiert. Da die Neurone für die absteigenden Bahnen aufgrund der Implantation die Haarzellen der Hörschnecke nicht mehr erreichen und die Aktivität der Cochlea nicht weiter modulieren können, wird die Korrektur des akustischen Inputs auf der Ebene des Hirnstamms und höher geordneter kortikaler Ebenen bedeutsamer als bei Normalhörenden (Giraud et al., 2000).

Des Weiteren konnten höhere Aktivierungen in dorsalen und ventralen okzipitalen Regionen während der Erwartung von Vokalen bei CI-Patienten beobachtet werden (Giraud et al., 2000). Hier kommt es also zu einer sensitiveren Verarbeitung visueller Informationen im Sinne einer crossmodalen Kompensation bei den CI-Patienten (Rauschecker und Korte, 1993).

Aufgrund dieser Befunde kommt es bei Personen mit einer implantierten künstlichen Hörschnecke zu einer stärkeren Interaktion zwischen sensorischen und hypothesengeleiteten Informationen. Wie genau eine kognitive Korrektur während der Wahrnehmung sprachlicher Informationen bei dieser Patientengruppe einsetzt und wie sie sich im ereigniskorrelierten Potential nachweisen lässt, soll Gegenstand von Experiment 5 sein.

3.2 Experiment 5: konzeptgesteuerte Korrektur sprachlicher Stimuli über die Wahrnehmung von Lippenbewegungen

3.2.1 Einleitung

Die zeitgleiche Wahrnehmung akustischer Sprachsignale und dazugehöriger Lippen- und Gesichtsbewegungen des Sprechenden ist die typische Art der Sprachwahrnehmung. Die Untersuchung der Integration dieser beiden Informationen zu einem Wahrnehmungsereignis hat eine lange Tradition und soll Gegenstand folgender Untersuchung sein.

Gesprochene Sprache kann im Allgemeinen auch ohne zusätzliche visuelle Informationen verstanden werden, wohingegen bei einer alleinigen Darstellung von Lippenbewegungen die meisten Menschen Schwierigkeiten im Verstehen der Äußerungen haben. Personen mit eingeschränktem Hörvermögen helfen zusätzliche visuelle Informationen wie die Lippenbewegungen, um das Gesprochene zu verstehen. Agelfors et al. (1998) berichteten von einer Verständlichkeit für Silben bei hörgeschädigten Patienten von etwa 30%. Mit einer zusätzlichen Darbietung der Lippenbewegungen eines synthetischen Gesichtes konnten 55% der Silben erkannt werden und bei der Darbietung eines natürlichen Gesichtes 58% der Silben.

Auch Normalhörende profitieren von den Informationen der Lippen, auch wenn sie diese nicht im eigentlichen Sinne „lesen“ können, zum Beispiel innerhalb einer geräuschvollen Umgebung bei einem Konzert oder Diskobesuch. Auch das Erlernen einer Fremdsprache oder das Verstehen eines komplexen philosophischen Textes in der Muttersprache wird durch die zusätzliche Wahrnehmung des Gesichtes des Sprechenden erleichtert (Reisberg et al., 1987). Dass visuelle Informationen das Verstehen akustischer Signale unter geräuschvoller Umgebung verbessern können, ist schon 1954 von Sumbly und Pollack empirisch nachgewiesen worden. Die Autoren konnten zeigen, dass mit zusätzlichen Lippenbewegungen das Sprachsignal um 15-20 dB relativ zur Rauschumgebung ansteigt, wenn man davon ausgeht, dass die normale Sprache eine Lautstärke von 65 dB hat und das Hintergrundrauschen 70 dB.

Einen empirischen Vergleich zwischen der Wahrnehmung unimodal dargebotener Wörter (akustisch oder visuell) und bimodaler Wörter (Kombination aus akustischer und visueller Darbietung) zeigte Dodd (1977) in einem Verhaltensexperiment. Zusätzlich wurde zu den akustischen Stimuli ein weißes Maskierungsrauschen präsentiert. Der Vergleich der Verstehensrate der einsilbigen Wörter in den einzelnen Bedingungen ergab eine Zunahme verstandener Wörter in der audiovisuellen Darbietung, auch dann wenn beide Modalitäten in einer zeitlichen Asynchronizität auftraten. Die Fehlerrate nahm in der audiovisuellen Bedingung dagegen erheblich zu, wenn der Inhalt beider Modalitäten nicht miteinander übereinstimmte. Summerfield (1987) umschreibt die Funktion visueller Reize bei der Wahrnehmung gesprochener Sprache in geräuschvoller Umgebung folgendermaßen: Durch die Lippenbewegungen wird die Aufmerksamkeit auf das akustische Signal gelenkt (da beide Informationsquellen räumliche und zeitliche Merkmale miteinander teilen). Die Beobachtung der Lippenbewe-

gungen helfen dabei herauszufinden, welche akustischen Signale auf die Sprachinformationen und welche auf das Hintergrundgeräusch zurückgehen (vgl. auch Grant & Seitz, 2000).

McGurk und MacDonald (1976) konnten zeigen, dass visuelle Sprachinformationen die Wahrnehmung akustischer Sprache auch ohne Geräuschumgebung beeinflusst. Die simultane Darbietung der akustischen Silbe /ba/ und der Lippenbewegung zur Silbe /ga/ führte bei den meisten Versuchspersonen zur Wahrnehmung der Silbe /da/. Dieser sogenannte McGurk-Effekt bleibt trotz des Wissens über die Unterschiedlichkeit der Silben erhalten und kann auch noch bei einer Verzögerung der beiden Informationsquellen von bis zu 180 ms ausgelöst werden (Bertelson et al., 1994).

Fixmer und Hawkins (1998) untersuchten den Einfluss der sensorischen Qualität auf das Auslösen eines McGurk-Effektes. Die akustischen Silben (/aba/ und /aga/) wurden mit einem zusätzlichen weißen Rauschen dargeboten; das visuell dargebotene Gesicht des Sprechers auf einem Bildschirm wurde mit einem Blatt Papier unterschiedlicher Durchlässigkeit maskiert. Die Autoren stellten fest, dass sich die Anzahl der McGurk-Antworten erhöht, wenn die Qualität des visuellen Reizes abnimmt. Dem gegenüber zeigte sich ein geringer McGurk-Effekt bei einer Zunahme der Maskierung des akustischen Reizes. Das bedeutet, dass bei einer Reduktion der sensorischen Qualität in einer Modalität die Aufmerksamkeit stärker auf die andere Modalität gelenkt wird, um die Wahrnehmung zu kompensieren. Bezogen auf Personen mit beeinträchtigtem Hörvermögen wird eine stärkere Aufmerksamkeit auf zusätzliche Informationen wie die Lippenbewegungen gelegt, um die akustischen Sprachlaute wahrnehmen zu können.

Die Integration akustischer und visueller Sprachinformationen zu einem einheitlichen Perzept

Nicht nur der Grad der Wahrnehmungsqualität in der akustischen und visuellen Modalität spielt eine Rolle für die Integration von Sprachinformationen, die sich über einen McGurk-Effekt nachweisen lässt. Auch das zeitliche Zusammentreffen zwischen beiden Reizquellen scheint eine wichtige Voraussetzung zu sein, um beide Reize als zusammengehörig zu erkennen. Stein, Meredith & Wallace (1994) bemerken, dass die zeitliche Synchronizität des Auftretens von Reizen verschiedener Modalitäten über deren Integration entscheidet. Eine Asynchronizität bei sprachähnlichen audiovisuellen Reizen wird dagegen aber auch erst entdeckt, wenn der akustische Reiz dem visuellen um 80 ms vorausgeht oder der akustische Reiz 140 ms hinter dem visuellen Reiz zurückliegt (McGarth & Summerfield, 1984). Auch Smeele (1994) berichtet, dass eine zeitliche Verzögerung des akustischen Signals eher toleriert werden kann als ein zeitliches Vorangehen im Vergleich zum visuellen Reiz. Die Ursache für diesen Unterschied der Zeitspanne in den Modalitäten scheint in den unterschiedlichen Antwortlatenzen der Rezeptororgane zu liegen (Retina: 20 – 100 ms; Cochlea: 1 – 4 ms; Summerfield, 1992).

Die lange vorherrschende Vorstellung über die Integration audiovisueller Informationen geht von einer separaten Verarbeitung der einzelnen Modalitäten aus, die dann in eine multisensorische Verarbeitung zusammengeführt werden (Massaro, 1987, 1999; Mesulam, 1998). Grund für diese Annahme sind Befunde aus Tierstudien (Duhamel, Colby, Goldberg, 1991) und die Methode der Untersuchung unimodaler sensorischer Systeme, um auf deren Interaktion zu schließen. Das Phänomen des McGurk-Effektes verweist dagegen darauf, dass eine frühe Integration zwischen den Modalitäten stattfinden muss, noch bevor eine Extraktion in phonetische Merkmalseinheiten vorgenommen wird, da selbst eine Geschlechtsdiskrepanz zwischen den McGurk-Silben in der akustischen und visuellen Modalität keinen Einfluss auf das Auslösen eines McGurk-Effektes hat (Green, 1998).

Elektrophysiologische Korrelate der Verarbeitung audiovisueller Sprache

Elektrophysiologische Untersuchungen zur multisensorischer Integration zeigen ebenfalls, dass die Interaktion zwischen verschiedenen sensorischen Modalitäten schon auf früher Verarbeitungsebene stattfinden muss. Giard und Peronnet (1999) zeigten in einer EKP-Studie, dass die Integration visueller und akustischer Signale schon ab 40 ms nach Beginn ihrer gemeinsamen Darbietung nachweisbar ist. Die Kombination audiovisueller nichtsprachlicher Reize wurde nicht nur schneller und fehlerfreier erkannt, die Differenz aus der audiovisuellen (AV) evozierten Amplitudenstärke und der Zusammenfassung der Aktivierung aus den einzeln dargebotenen Modalitäten (A+V) zeigte eine Zunahme der Aktivität ab 40 ms an parieto-okzipitalen Regionen, zwischen 90 – 110 ms an auditorischen Regionen und zwischen 140 – 165 ms an den rechten fronto-temporalen Elektroden. Diese Befunde wurden von Molholm et al. (2002) in einer ähnlichen Untersuchung bestätigt. Die Autoren interpretieren diesen frühen Effekt damit, dass das auditorische Signal das visuelle beeinflussen kann, da es den Kortex eher als das visuelle Signal erreicht. Während davon ausgegangen wird, dass das akustische Schallereignis den primären auditorischen Kortex innerhalb von 9 - 15 ms erreicht (Vaughan & Arezzo, 1988), können visuelle Reize im primär visuellen Kortex erst nach 48 - 55 ms nachgewiesen werden (Foxye & Simpson, 2002). Somit können die akustischen Informationen entweder direkt in den primären visuellen Kortex projizieren (was bisher nur in Studien mit Makaken beobachtet wurde: Falchier et al., 2001) oder in eine Zwischenregion wie dem Sulcus temporalis superior, der wiederum Verbindungen zu unimodalen visuellen Arealen besitzt (Calvert, Campbell & Brammer, 2000; Driver & Spence, 2000).

Die Modulation früher akustischer Informationen durch visuelle Informationen, die zeitgleich auftreten, beschreiben van Wassenhove, Grant und Poeppel (2003) als einen Amplitudenrückgang des auditorischen N1-P2-Komplexes im Vergleich zu alleinigen akustisch evozierten Amplituden. Auch Calvert, Brammer & Iverson (1998) beschreiben die Veränderung früher unimodaler Komponenten, wie der akustisch evozierten N100 oder der visuell evozierten P200 während der Wahrnehmung multisensorischer sprachlicher Signale

(vgl. auch Sams et al., 1991; Giard & Peronnet, 1999; Raij et al., 2000; Teder-Sälejärvi et al., 2002).

Von einer im Verarbeitungsprozess früh einsetzenden Integration zwischen akustischen und visuellen Sprachsignalen gehen auch Colin et al. (2002) aus. In einer EEG-Studie stellten sie fest, dass die Darbietung von McGurk-Silben bei den Probanden eine Mismatch-Negativität (MMN) hervorruft. Die MMN wird meist beobachtet, wenn in einer Reihe von Standardreizen plötzlich ein abweichender Reiz vorkommt. Sie hat eine Latenz von 100 – 200 ms. Auf Grund dieser Ergebnisse vermuten die Autoren einen frühen, automatischen und unbewußten Vergleich zwischen beiden Modalitäten, der schon ab 100 ms nach Beginn der Stimuluspräsentation beginnt.

Welche neuronalen Strukturen sind bei der Verarbeitung audiovisueller Sprache beteiligt?

Calvert et al. (1997) konnten in einer fMRT-Studie zeigen, dass es während der Betrachtung der Lippenbewegungen eines Sprechers ohne dazugehörige akustische Inputs zu einer stärkeren Aktivierung im Bereich des Gyrus temporalis superior kommt. In dieser Region wird der primäre und assoziative Kortex vermutet. Da jene Aktivierung durch visuelle Stimuli hervorgerufen wurde, vermuteten die Autoren in diesem Bereich die neuroanatomische Struktur für die Integration gesprochener Sprache und dazugehöriger Lippenbewegungen.

In einer weiteren Studie untersuchte die Arbeitsgruppe um Calvert (2000) die Reaktion des Gehirns während der Wahrnehmung von Lippenbewegungen, die nicht mit dem akustischen Input zusammenpassten. Zusätzlich wurden die Inhalte beider Modalitäten in einer übereinstimmenden (kongruenten) Bedingung und in jeweils unimodalen Bedingungen präsentiert. Die Autoren beobachteten eine Zunahme der Aktivierung im Bereich des linken Sulcus temporalis superior (STS) während der kongruenten Bedingung, die insgesamt größer war als die Summe der Aktivierungen aus beiden unimodalen Darbietungen. Die ausgelösten Aktivierungen während der inkongruenten Bedingung waren insgesamt deutlich geringer als die Summe der unimodalen Darbietungen. Calvert et al. (2000) vermuten in diesem Bereich die Verarbeitung akustischer und visueller Sprachinformationen.

Für eine direkte Verbindung zwischen den unisensorischen Arealen sprechen die Ergebnisse der EEG-Studie von Ponton et al. (2002). Sie zeigten bei einer auditorischen, visuellen und audiovisuellen Darbietung der Silben /ba/, /da/ und /ga/, dass es zu einer überadditiven Aktivierung bei der audiovisuellen Darbietung im Vergleich zur unimodalen Darbietung kommt. Es zeigte sich im EKP eine stärkere Positivierung bei 100 ms und eine Negativierung bei 210 ms, die Dipolstärke in den Dipolpaaren im Planum temporale superior und rechten okzipitalen Kortex war signifikant größer als bei der Wahrnehmung unimodaler Silben. Auch Fingelkurts et al. (2003) bestätigten in einer MEG-Studie die stärkere Aktivierung bei audiovisueller Präsentation von kongruenten und inkongruenten McGurk-Silben, jene Zunahme der Aktivierung ist dabei mehr als die Summe der einzelnen unimodalen Aktivierungen zusammen. Den stärksten Unterschied zwischen diesen Aktivierungen fanden die Autoren im Sul-

cus temporalis superior (STS) und bestätigten damit die Befunde von Calvert et al. (2000), die den STS als Struktur der Integration auditorischer und visueller Sprachreize beschrieben haben. Ob diese Struktur allerdings auch bei der frühen Integration zwischen bimodalen Reizen (siehe auch Giard & Peronnet, 1999) eine Rolle spielt, ist mit bisherigen Studien und der zeitlichen Auflösefähigkeit bildgebender Verfahren noch nicht bestätigt worden.

Während vorhergehende bildgebende Studien zur Untersuchung der audiovisuellen Sprachverarbeitung synchrone und kongruente Stimuli beider Modalitäten genutzt haben, sind in einer PET-Studie von Macasulo et al. (2004) sowohl räumliche als auch zeitliche Aspekte der Sprachstimuli manipuliert worden. Zeitlich synchrone Informationen aktivieren ein neuronales Netzwerk innerhalb des ventralen und dorso-lateralen Okzipitallappens und des linken Sulcus temporalis superior, unabhängig von der Lokalisation der akustischen und visuellen Darbietung. Zusätzlich konnten Aktivierungen im dorsolateralen Okzipitallappen bei zeitlicher und räumlicher Übereinstimmung zwischen beiden Informationsquellen nachgewiesen werden.

Zusammenfassung: Ist die Verarbeitung audiovisueller Sprache ein spezifischer kognitiver Prozess und welchen Einfluss hat das Vorwissen auf die Verarbeitung audiovisueller Signale?

Dass das Zusammenfügen gesprochener Sprache mit dazugehörigen Lippenbewegungen einen spezifischen kortikalen Verarbeitungsprozess darstellt, konnten sowohl Verhaltensstudien als auch Untersuchungen mit bildgebenden Verfahren und ereigniskorrelierten Potentialen verdeutlichen. Verschiedene Untersuchungen bestätigten eine korrektere und schnellere Wahrnehmung von Sprachreizen vor einem Hintergrundrauschen, wenn zusätzlich die Informationen der Lippen und des Gesichtes des Sprechers zur Verfügung standen (Dodd, 1977; McLeod & Summerfield, 1987, 1990; Helfer, 1997; Grant & Seitz, 2000; Callan et al., 2001), was für eine Interaktion zwischen akustischen und visuellen Sprachinformationen im Verarbeitungsverlauf spricht. Die Studien mit ereigniskorrelierten Potentialen ermittelten eine stärkere Ausprägung der Komponenten während der Wahrnehmung audiovisueller Sprachreize im Vergleich zu unimodalen Sprachreizen, wobei hauptsächlich Veränderungen der frühen Verarbeitungskomponenten berichtet wurden (Sams et al., 1991; Calvert, 1998; Giard & Peronnet, 1999; Raij et al., 2000; Colin et al., 2002; Molholm et al., 2002; Ponton et al., 2002; Teder-Sälejärvi et al., 2002; van Wassenhove, Grant & Pöppel, 2003). Untersuchungen mit bildgebenden Verfahren ermittelten ebenfalls eine stärkere Aktivierung während der Verarbeitung audiovisueller Sprachreize im Vergleich zu unimodaler Verarbeitung, wobei hier der Bereich des Sulcus temporalis superior als Integrationsort beider Sprachquellen berichtet wurde (Calvert et al., 2000; Driver & Spence, 2000).

Eine zusätzliche Bestätigung der Befunde der bildgebenden Verfahren und der Tatsache, dass die audiovisuelle Sprachverarbeitung als spezifischer kognitiver Prozess beschrieben werden kann, lieferte eine Patientenstudie von de Gelder (2000). Bei Patienten mit Läsionen in bilateralen okzipito-temporalen Bereichen wurden Beeinträchtigungen der Integration au-

dio-visueller Sprachreize beobachtet, wohingegen audio-visuelle Paare mit emotionalem Inhalt weiterhin erkannt werden konnten (de Gelder, 2000).

Ein weiterer wichtiger Aspekt bei der akustisch-visuellen Integration ist die Aktivierung anderer Areale, die scheinbar nicht in Zusammenhang mit der bimodalen Verarbeitung stehen. Bei einer fMRT-Studie zeigte die Arbeitsgruppe um Calvert (1997) bei der Wahrnehmung eines sprechenden Gesichtes ohne zusätzliche akustische Präsentation, dass Aktivierungen in den primären und assoziativen Arealen des auditorischen Kortex deutlich zunehmen. Auch Möötönen et al. (2002) wiesen in einer MEG-Studie die Zunahme von Aktivierungen im auditorischen Kortex bei der Wahrnehmung von Veränderungen in einem visuellen Signal nach. Visuelle Informationen über artikulatorische Gesten werden möglicherweise auch im auditorischen Kortex verarbeitet (Callan, et al., 2001; Calvert et al., 1998, 1997, 2000; Sams et al., 1991; Watkinson & Strafella, 2003). Zusätzlich weisen Watkinson & Strafella (2003) darauf hin, dass es während der Wahrnehmung von Lippenbewegungen auch zu erhöhten Aktivierungen in prämotorischen und motorischen Arealen kommt, die möglicherweise mit an der Sprachproduktion beteiligt sind und möglicherweise in Zusammenhang mit der motorischen Theorie der Sprachwahrnehmung (Lieberman et al., 1967) zu sehen sind.

Das Einsetzen einer kognitiven Korrektur während der Wahrnehmung audiovisueller Sprache ist notwendig, sobald aus mindestens einer Wahrnehmungsquelle ambige Informationen wahrgenommen werden. Das Wissen über die Stellung der Lippen und des Mundes während der Artikulation bestimmter Wörter kann helfen, verwaschene oder undeutliche akustische Informationen zu kompensieren (Massaro, 1994). Dabei spielt die Häufigkeit des Vorkommens von Wörtern eine entscheidende Rolle: Hochfrequente Wörter werden schneller und leichter identifiziert (Savin, 1962). Iverson et al. (1998) konnten eine Interaktion zwischen den phonetischen Informationen und der lexikalischen Struktur von Wörtern nachweisen. Die Wahrnehmung von einsilbigen Wörtern, die sich in „dichteren“ Regionen des mentalen Lexikons befinden, führte zu überadditiven Effekten in audiovisuellen Bedingungen im Vergleich zu mehrsilbigen Wörtern. Die Autoren argumentierten, dass die Wahrnehmung hochfrequenter Wörter von der verbesserten sensorischen Qualität aufgrund der bimodalen Darbietung profitiert, während weniger frequente Wörter auch bei schlechteren sensorischen Bedingungen erkannt werden können. Der Nutzen der audiovisuellen Integration – im Sinne einer kognitiven Korrektur – ist demnach gering, wenn die Informationen des akustischen Inputs ausreichend sind, um lexikalische Ambiguitäten aufzulösen.

Im folgenden Experiment soll überprüft werden, wie sich ungünstige akustische Wahrnehmungsbedingungen während der Verarbeitung audiovisueller Reize bei Patienten mit implantierten Cochleaelektroden auswirken.

Die meisten elektrophysiologischen Untersuchungen zur audiovisuellen Sprachverarbeitung und der Sprachverarbeitung bei Cochlea-Patienten beschäftigten sich mit Silben oder sinnentleerten Silbenfolgen, wenige mit sinnvollen Wörtern oder ganzen Texten. Hier besteht

noch weiterer Forschungsbedarf. Die folgende Untersuchung soll hierzu ein erster Beitrag sein.

Fragestellungen für das folgende Experiment:

Vor dem Hintergrund der oben dargestellten Literatur ergeben sich folgende Fragen:

1. Welche Verstehensleistungen zeigen Patienten mit einer Cochleaprothese während der Wahrnehmung audiovisueller Sprache im Vergleich zu einer Kontrollgruppe und welche elektrophysiologischen Korrelate lassen sich beobachten?
2. Wie lässt sich eine kognitive Korrektur verrauschter akustischer Sprachreize durch zusätzliche Darbietung der Artikulationsgesten bei CI-Patienten im EKP nachweisen?
3. Auf welcher Art und Weise funktioniert eine Integration akustischer Wörter und Lippenbewegungen, wenn diese semantisch nicht zusammenpassen und wie äussert sich diese Inkongruenz in ereigniskorrelierten Hirnpotentialen?

Gegenstand der Untersuchung ist die Wahrnehmung zweisilbiger deutscher Substantive sein, die im alltäglichen Sprachgebrauch häufig vorkommen. Die Wörter werden akustisch und visuell präsentiert, das bedeutet, dass zeitgleich das Gesicht des Sprechers während der Artikulation der Wörter auf einem Computerbildschirm gezeigt wird. Es erfolgt eine Variation der audiovisuellen Sprachdarbietung in zweierlei Hinsicht: einerseits wird zur akustischen Modalität zusätzlich ein weißes Hintergrundrauschen dargeboten, das die sensorische Qualität beeinträchtigt. Andererseits wird die Passung zwischen akustisch präsentem Wort und Artikulationsgesten derart verändert, dass beide Informationen semantisch nicht zusammengehören: zu einem gesprochenen Wort werden die Artikulationsgesten eines anderen Wortes präsentiert.

Hinsichtlich der Verstehensrate wird erwartet, dass die CI-Patienten insgesamt weniger Wörter verstehen werden. Da die akustische Qualität bei den implantierten Patienten herabgesetzt ist, kann davon ausgegangen werden, dass die Patienten auch in den Bedingungen ohne zusätzliches Hintergrundrauschen weniger Wörter verstehen werden. Da die Patienten auf visuelle Informationen als Kompensation des akustischen Inputs angewiesen sind, wird für die inkongruenten Bedingungen erwartet, dass hier am wenigsten Wörter verstanden werden. Bei den Normalhörenden wird die Verstehensrate bei den verrauschten und inkongruenten Bedingungen ebenfalls abnehmen, jedoch nicht so stark wie bei CI-Patienten.

Bisher konnte in der Durchsicht der Literatur nur eine EKP-Studie gefunden werden, die sich mit der Wahrnehmung dargebotener audiovisueller Wörter befasste (Callan et al., 2001). Gegenstand war hier die Beobachtung der Wahrnehmung von gesprochenen Wörtern und deren Lippenbewegungen sowohl mit und ohne Hintergrundrauschen als auch in kongruenter und inkongruenter Bedingung. Die Autoren beobachteten eine Negativierung nach 200 ms

über den temporalen und okzipitalen Elektroden für die kongruente Bedingung ohne Hintergrundrauschen. Der größte Interaktionseffekt fand sich in den Bedingungen mit zusätzlichem Störgeräusch. Da es sich nur um eine einzige Versuchsperson in dieser Studie handelt, sind nur bedingt Schlussfolgerungen möglich. Eine aussagekräftige Untersuchung zur Wahrnehmung inkongruenter audiovisueller Wörter ist also bisher nicht berichtet worden.

Vor diesem Hintergrund wird für die folgende Untersuchung weiterhin angenommen, dass sich die Integration bimodaler Sprachinformationen in der Modulation früher sensorischer Komponenten (akustische N100 und visuelle P200) im Vergleich zwischen Patientengruppe und Kontrollgruppe zeigen wird als auch im Vergleich zwischen verrauschten und unverrauschten akustischen Reizen. Die ereigniskorrelierten Potentiale der inkongruenten Bedingung werden sich deutlich von denen der kongruenten Bedingung unterscheiden, wobei hier von einer geringeren Amplitude in den inkongruenten Bedingungen ausgegangen wird, da eine Integration beider Modalitäten keinen Nutzen für das Verstehen bringen würde.

3.2.2 Methode

Konstruktion des Materials

Aus der CELEX-Datenbank (CELEX, 1993) wurden die 400 am häufigsten vorkommenden deutschen zweisilbigen Nomen ausgewählt (mit Ausnahme von Eigennamen). Die Wörter hatten eine Frequenz von mehr als 200/Million.

Das Gesicht eines deutschsprachigen erfahrenen männlichen Sprechers wurde während des Sprechens dieser Wörter mit einem digitalen CamCorder (JVC DV 500) mit Blick in die Kamera aufgezeichnet. Danach wurden mit Hilfe einer Software zum Schneiden digitaler Videoaufnahmen (FAST Studio DV3[®]) die einzelnen Wörter aus der Gesamtaufnahme herausgeschnitten. Es wurden vier Versuchsbedingungen erstellt: bei den ersten beiden Bedingungen stimmten die akustischen Signale mit den dazugehörigen Lippenbewegungen des Sprechers überein. Bei einer der Bedingungen wurde zu dem akustischen Reiz zusätzlich ein weißes Rauschen mit 40 dB präsentiert. In einer dritten Bedingung wurden zu einem akustischen Signal die Lippenbewegungen eines anderen Wortes gleicher Länge zugeordnet. In der vierten Bedingung wurde zu diesem inkongruenten audiovisuellen Paar noch ein weißes Rauschen von 40 dB zusätzlich präsentiert (siehe Abbildung 21).

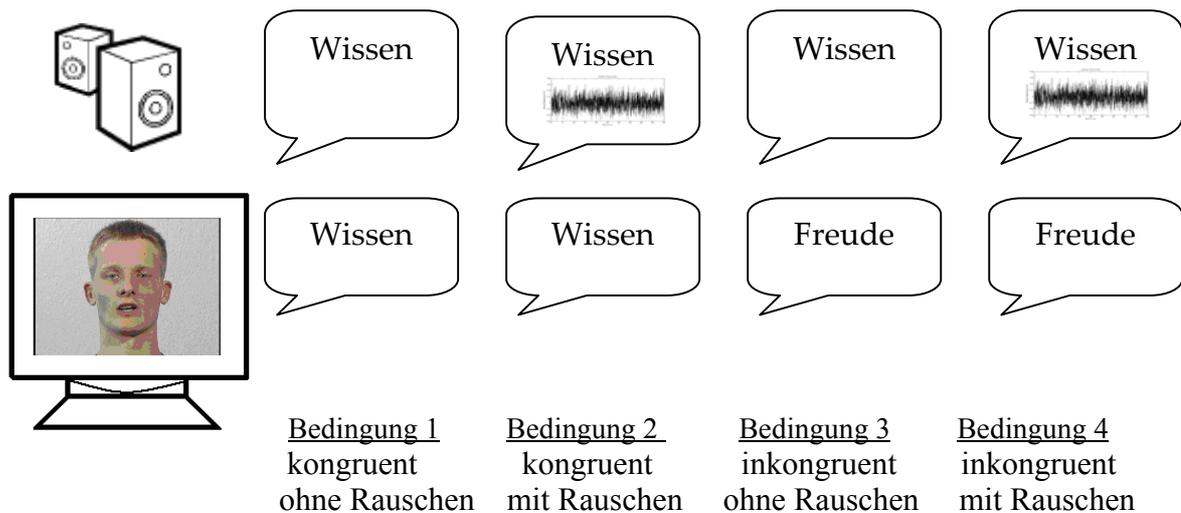


Abbildung 21. Darstellung der vier Versuchsbedingungen anhand des Beispielwortes „Wissen“ und „Freude“ mit dem Gesicht des Sprechers in der visuellen Modalität: Bedingung 1: kongruent ohne Rauschen, Bedingung 2: kongruent mit Rauschen, Bedingung 3: inkongruent ohne Rauschen, Bedingung 4: inkongruent mit Rauschen

In jeder Bedingung wurden insgesamt 200 Stimuli dargeboten, diese wurden den Versuchspersonen innerhalb von 2 Versuchssitzungen dargeboten, um zu häufige Wiederholungen und Bahnungseffekte zu vermeiden. Das bedeutet, dass die Verstehensleistung für ein inkongruentes oder verrauschtes Wort nicht durch die zufällig vorhergehende kongruente oder unverrauschte Darbietung beeinflusst wurde. Jede Versuchsperson sah somit in einer Bedingung das Wort „Wissen“ in der ersten Bedingung und als Lippenbewegung zum Wort „Freude“ in der inkongruenten Bedingung, aber nicht zusätzlich in einer verrauschten oder inkongruenten Bedingung (akustisch mit den Lippenbewegungen zum Wort „Freude“). In der nächsten Sitzung dagegen konnte das Wort „Freude“ in einer der verrauschten Bedingungen auftreten. Die beiden anderen akustischen Bedingungen des Wortes „Wissen“ (kongruent, verrauscht und inkongruent ohne Rauschen) wurden innerhalb von zwei Sitzungen einer anderen Versuchsperson dargeboten. Die mittlere Dauer der Wörter lag bei 800 ms (Standardabweichung = 230 ms).

Somit wurden für jede Versuchsperson 800 Stimuli ausgewertet. Die Verteilung der Bedingungen der Wörter über die Versuchspersonen und die Versuchssitzungen erfolgte in Form eines lateinischen Quadrates.

Versuchsablauf

Das Experiment wurde in einem abgeschirmten schallgedämpften Raum durchgeführt, die Probanden saßen in einem bequemen Stuhl und wurden instruiert, sich während des Experimentes so wenig wie möglich zu bewegen oder mit den Augen zu blinzeln. Die Aufgabe bestand darin, die dargebotenen Stimuli so genau wie möglich zu verfolgen und auf die Lippen des Sprechers zu achten, ohne die Augen zu bewegen. Die Probanden sahen zunächst ein Fi-

xationskreuz (in schwarzer Schrift auf hellgrauem Hintergrund), dass sich in der Höhe der Lippen des Sprechers befand, welche direkt danach dargeboten wurden. So konnten Augenbewegungen am Beginn der Präsentation vermieden werden. Es folgte danach die Präsentation des Stimulus. An dieser Stelle muss zusätzlich angemerkt werden, dass das Gesicht zunächst in Ruhe gezeigt wurde, nach 160 ms begannen die Lippenbewegungen und der akustische Reiz zeitgleich. In dieser Form konnte davon ausgegangen werden, dass beide Informationen als zugehörig erkannt und wahrgenommen werden. Vorversuche haben ergeben, dass es bei einem direkten Beginn des visuellen Bildes und des akustischen Reizes schwer zu sein scheint, sich auf beide Informationen sofort zu konzentrieren, es erfolgte eher eine Konzentration auf die akustischen Reize unter Vernachlässigung der visuellen. Besonders im Hinblick auf die Verarbeitung der Reize bei Patienten mit beeinträchtigtem Hörvermögen schien diese Darstellung sinnvoll. Besle et al. (2004) beschreiben in ihrer Studie zur bimodalen Sprachverarbeitung einen ähnlichen Versuchsaufbau, hier wurden die Lippen einer Sprecherin für ca. 500 ms gezeigt, bevor die Lippenbewegungen und das akustische Signal einsetzten.

Nach der Präsentation der Wörter (mit dem Programm Presentation 0.55: www.neurobehavioralsystems.com) erschien auf dem Bildschirm eine Aufforderung an die Probanden, laut zu sagen, was sie verstanden hatten. Mit Hilfe eines Mikrofons, das sich in der Nähe des Mundes der Probanden befand, ohne dabei das Gesichtsfeld einzuschränken, konnten die Antworten während des Experimentes direkt verfolgt werden und bei falschen Antworten oder nicht verstandenen Wörtern im EEG-Aufzeichnungsprogramm markiert werden. Für eine spätere Nachprüfung wurden die Antworten zusätzlich mit dem Programm „Soundforge 6.0“© aufgezeichnet.

Die Stimuli wurden pseudorandomisiert in jeder Sitzung innerhalb von acht Untersuchungsblöcken mit jeweils 50 Wörtern dargeboten. Jeder Block hatte eine Länge von 5-7 Minuten, zwischen den Blöcken konnten die Versuchspersonen eine Pause machen. Vor dem eigentlichen Experiment wurden den Probanden 7 Übungswörter dargeboten, die in den Versuchsblöcken nicht vorkamen. Dadurch konnten sie sich an die Aufgabe und die Untersuchungssituation gewöhnen.

Versuchspersonen

An der Untersuchung nahmen 10 CI-Patienten im Alter zwischen 27 – 64 Jahren (6 Frauen, Alterdurchschnitt: 49 Jahre) teil, alle waren Patienten an der HNO-Klinik der Medizinischen Hochschule Hannover. In Tabelle 18 ist für alle CI-Patienten aufgeführt, was die individuelle Ertaubungsursache war, wie lange sie insgesamt ertaubt waren und seit wann sie das Implantat tragen. Insgesamt waren 3 Patienten prälingual ertaubt, eine Patientin hatte ein bilaterales Implantat. Die mittlere Ertaubungsdauer betrug 30 Jahre (Std. = 14). Im Durchschnitt trugen die Patienten das Implantat seit 4 Jahren (Std. = 2,5).

Tabelle 18: Individuelle Merkmale der einzelnen CI-Patienten. Die Dauer der Ertaubung und Implantation sind in Jahren angegeben.

Pat. Nr.	Alter	Geschlecht	Ertaubungs- ursache	Dauer der		CI-Typ	Implantations- seite
				Ertaubung	Implantation		
1	64	w	Hörsturz 1991	10	3	Nucleus	Rechts
2	28	w	Seit Geburt	28	3	Clarion	Rechts
3	61	m	k.A.	k.A.	k.A.	Clarion	k.A.
4	56	w	Mumps mit 6 Jahren	44	6	Clarion	Links
5	62	m	Antibiotikanebenwirkung	35	2	Nucleus	rechts
6	51	w	Seit Kindheit	ca. 45	4	Nucleus	links
7	43	m	Seit 6. Lj.	36	1	Nucleus	Rechts
8	27	w	Seit 1. Lj.	23	3 (re) 1 (li)	Clarion	Bilateral
9	50	w	Meningitis im 7. Lj.	41	2	Nucleus	Links
10	49	w	Tumor in Felsenbeinhöhle	7	9	Nucleus	Rechts

Die Daten dreier zusätzlicher Probanden wurden aufgrund zu starker Augenartefakte aus der Analyse ausgeschlossen.

Die Kontrollgruppe bestand aus 10 gesunden Personen im Alter zwischen 27 – 65 Jahren (5 Frauen, Altersdurchschnitt: 39 Jahre). Alle Probanden hatten nach eigenen Angaben keine neurologischen, visuellen oder akustischen Beeinträchtigungen. Die Daten von drei zusätzlichen Probanden wurden auch hier aufgrund zu starker Augenartefakte aus der Analyse ausgeschlossen.

Die Probanden hatten nach eigenen Angaben keine Beeinträchtigungen der Seh- und Hörfähigkeit und keine neurologischen (Vor-)Erkrankungen. Die Hörleistung wurde zusätzlich mit einem digitalen Hörtest (Audiotest 1.53, 2003; <http://www.audio-soft.de/audiotst.htm>) abgeglichen, bei dem die Wahrnehmung unterschiedlicher Hörfrequenzen getestet wird (von 125 Hz bis 8000 Hz in einem Lautstärkebereich von 0 bis maximal 30 dB). Die Probanden sollten jeweils eine Taste drücken, sobald sie einen Ton hörten. Die Hörkurve aller Probanden lag im Normbereich.

Die Akquirierung der Versuchspersonen erfolgte über Aushänge in der Universität Magdeburg, der Stadtbibliothek und des Arbeitsamtes der Stadt Magdeburg. Die Probanden erhielten für ihre Teilnahme eine finanzielle Vergütung. Keiner der Probanden nahm an einem der vorhergehenden Experimente teil.

EEG-Ableitung

Die Aufnahme des Elektroenzephalogramms erfolgte über die gleichen Verstärker, Bandpassfiltern und der gleichen Abtastrate wie in Experiment 1. Die benutzen Elektroden unterschieden sich im Vergleich zu den vorhergehenden Experimenten hinsichtlich der zusätzlichen intermediären Ableitpunkte: Fp1/2, F3/4, C3/4, P3/4, O1/2, F7/8, Fc3/4, Cp3/4, Fpz, Fz, Fcz, Cz, Cpz, Pz und Oz. Für die Korrektur möglicher im Signal enthaltene Artefakte wurden

jene Segmente nicht in der Auswertung betrachtet, die eine Amplitude von mehr als $\pm 100 \mu\text{V}$ (für die Augenkanäle) bzw. $\pm 75 \mu\text{V}$ (Skalpkanäle) aufwiesen.

Die ereigniskorrelierten Potentiale wurden für alle Bedingungen getrennt gemittelt, dabei wurden nur die verstandenen Wörter analysiert. Es wurde ein Zeitbereich von 100 ms vor dem Beginn des akustischen Wortes bis 800 ms danach ausgewählt. Der Nullpunkt ist definiert als der Beginn der visuellen Darbietung des Gesichtes, 160 ms später beginnt das akustische Wort und die visuellen Lippenbewegungen; diese Zeit wurde als Grundlinie für die Darstellung und Auswertung der EKP-Daten gewählt, da hier schon von einer neuronalen Verarbeitung als Reaktion auf ein Gesicht ausgegangen werden kann. Die Wahrnehmung des ruhigen Gesichtes wird in Beziehung gesetzt zur Wahrnehmung der Lippenbewegungen und dazugehörigen akustischen Reizen.

Die Daten beider Versuchssitzungen jeder Versuchsperson wurden für die Analyse zusammengefasst. Hirnpotentiale wurden in der Ausprägung ihrer mittleren Amplitude und der Gipfelamplitude ausgewertet. Die statistische Analyse erfolgte mit Hilfe von Varianzanalysen mit Messwiederholung (ANOVA) mit den Faktoren *Gruppenzugehörigkeit* (CI-Gruppe vs. Kontrollgruppe) als Zwischensubjektfaktor, *Kongruenz* (kongruent/ inkongruent), *Rauschen* (verrauscht / unverrauscht) und *Elektrodenposition* als Innersubjektfaktoren. Die ermittelten Signifikanzwerte wurden, falls notwendig, nach Huyhn-Feldt (Huyhn & Feldt, 1980) korrigiert. Die Analyse wurde auf die angegebenen Elektrodenpositionen beschränkt, da sich hier die größten Effekte fanden. Auf Grundlage visueller Inspektion der mittleren Potentiale (siehe Abbildung 23) erfolgte eine getrennte Analyse für die anterioren Elektroden und die posterioren Elektroden in den Zeitfenstern zwischen 100 – 150 ms (N100), 150 – 230 ms (P200), 230 – 300 ms, 300 – 400 ms, 400 – 500 ms, 500 – 600 ms und 600 – 800 ms.

3.2.3 Ergebnisse

Im Folgenden werden zunächst die Ergebnisse der Verhaltensdaten in den beiden Versuchsgruppen berichtet und danach die ereigniskorrelierten Potentiale beschrieben. Die Auswertung der EKP-Daten erfolgt zunächst in einer Omnibus-ANOVA, um dann die einzelnen Versuchsbedingungen und Versuchsgruppen einzeln miteinander in den Zeitfenstern zu betrachten.

Verhaltensdaten

In Abbildung 22 ist die Anzahl verstandener Wörter in den einzelnen Bedingungen bei CI-Patienten und Kontrollpersonen dargestellt. CI-Patienten erkannten in allen Bedingungen weniger Wörter korrekt als die Kontrollprobanden (39 % vs. 93 %¹⁵, $F(3,18) = 68,8$; $p \leq 0,001$).

¹⁵ Angaben sind über alle Bedingungen gemittelt

Bei Betrachtung der Verstehensraten in den einzelnen Bedingungen bei den CI-Patienten wird deutlich, dass nur 62,2 % der Wörter mit passenden akustischen und visuellen Informationen erkannt werden. Bei zusätzlichem Hintergrundrauschen verstehen die Patienten nur noch 43,3 % der dargebotenen Wörter. Wenn die akustischen und die visuellen Informationen nicht zusammenpassen verstehen CI-Patienten in der unverrauschten Bedingung 39 %, in der inkongruenten Bedingung mit zusätzlichem Rauschen werden insgesamt etwa nur 10 % richtig verstanden. Bei den Kontrollprobanden kommt es lediglich zu einer Abnahme der Verstehensleistung in der inkongruenten Bedingung mit zusätzlichem Hintergrundrauschen. Hier werden etwa nur 82 % der Wörter verstanden. Eine statistische Analyse ergab, dass die CI-Patienten insgesamt weniger inkongruente Wörter verstanden haben (signifikante Interaktion der Faktoren Gruppe x Kongruenz: $F(1,18) = 16,5$; $p \leq 0,001$) und weniger verrauschte Wörter korrekt verstanden haben als die Kontrollgruppe (Interaktion Gruppe x Rauschen: $F(1,18) = 26,1$; $p = 0,001$).

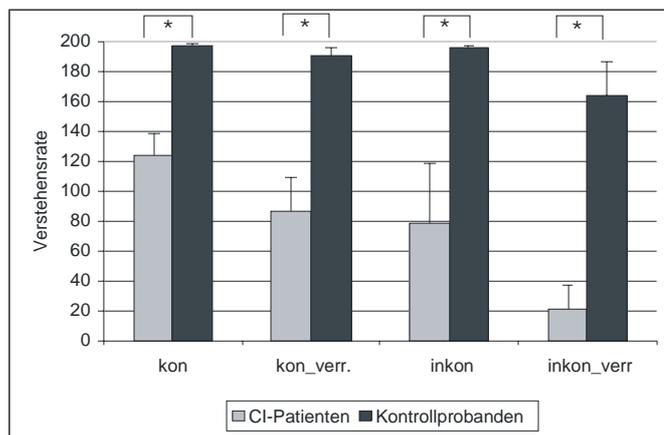


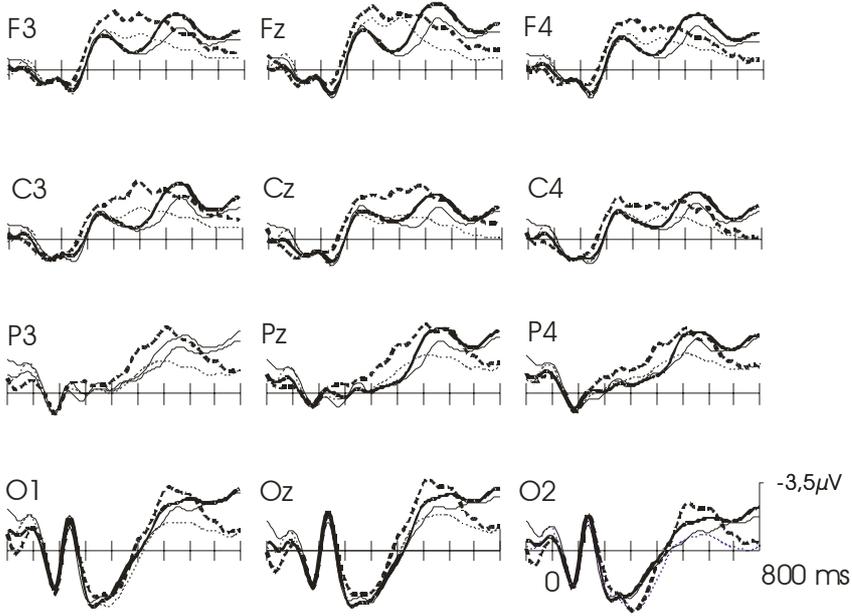
Abbildung 22: Mittlere Verstehensraten in den unterschiedlichen Bedingungen („kon“ = kongruent, „kon_verr“ = kongruent mit Hintergrundrauschen; „inkon“ = inkongruent; „inkon_verr“ = inkongruent mit Hintergrundrauschen) mit entsprechenden Standardfehlern über alle 10 Versuchspersonen in beiden Versuchsgruppen gemittelt. Die grauen Balken beziehen sich auf die Anzahl verstandener Wörter bei den CI-Patienten, die schwarzen auf die Anzahl verstandener Wörter bei den Kontrollprobanden. Ein Vergleich der Anzahl verstandener Wörter in den einzelnen Bedingungen zwischen beiden Versuchsgruppen erfolgte über T-Tests für gepaarte Stichproben. Signifikante Unterschiede sind mit * gekennzeichnet bei $p \leq 0,001$.

EKP-Analyse

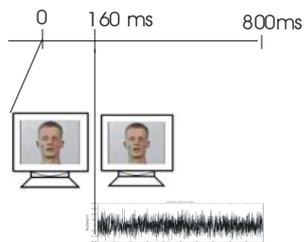
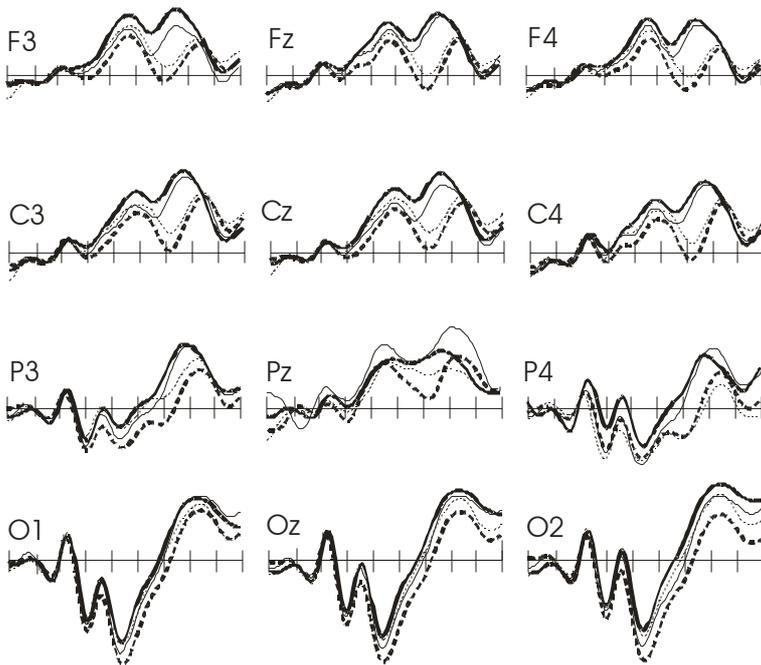
Die Gesamtmittelpotentiale für die einzelnen Bedingungen sind in Abbildung 23 in einem Zeitfenster von 100 ms vor Beginn des Stimulus bis 800 ms danach dargestellt.

Die Abbildung bezieht sich auf jene Elektroden, an denen die größten Unterschiede in den Hirnpotentialen deutlich werden.

CI



KG



- kongruent
- kongruent_verrascht
- - - inkongruent
- · - · inkongruent_verrascht

Darstellung des ruhigen Gesichts (0-160 ms) Beginn der Lippenbewegungen
 Beginn des akustischen Reizes (+Rauschen) (ab 160 ms)

Abbildung 23: Gesamtmittelpotentiale aller experimentellen Bedingungen für einen Zeitbereich von 100 ms vor dem Beginn der Präsentation bis 800 ms danach. Die mittlere Aktivität im Bereich zum Zeitpunkt des Einsetzens des akustischen Wortes bis 160 ms danach diente als Grundlinie für die Ermittlung der Potentiale. Es sind ausschließlich verstandene Wörter dargestellt. Im oberen Bereich sind die mittleren Potentiale der CI-Gruppe abgebildet, unten im Bild die Potentiale der Kontrollgruppe. Es sind jene Elektroden dargestellt, an denen die EKP-Effekte am deutlichsten sind.

Der Verlauf der Hirnpotentiale ist in beiden Versuchsgruppen gekennzeichnet durch eine Negativierung zwischen 100 – 150 ms, welche vor allem an den okzipitalen Elektroden ausgebildet ist und die sensorische Verarbeitung im visuellen Kortex widerspiegelt. Danach folgt ebenfalls okzipital eine positive Komponente, die sich in ihrer Ausprägung bei beiden Gruppen unterscheidet. Bei CI-Patienten ist eine breite Positivierung zwischen 180 und 400 ms zu beobachten, die danach in eine Negativierung übergeht. Bei den Kontrollprobanden ist diese Positivierung durch eine zusätzliche negative Komponente zwischen 230 – 300 ms unterbrochen. Ab 400 ms verlaufen die Potentiale ähnlich wie bei der CI-Gruppe und gehen in eine sich langsam aufbauende Negativierung über.

Betrachtet man sich die einzelnen Bedingungen, so wird deutlich, dass sich vor allem die Kurvenverläufe für die Wörter mit und ohne Rauschen unterscheiden. Bei den CI-Patienten wird dies ab einem Zeitbereich von 300 ms deutlich. Bei den unverrauschten Wörtern kommt es nochmals zu einem leicht ausgeprägten positiven Verlauf zwischen 350 – 450 ms, bei den verrauschten Wörtern kommt es eher zu einem fast stetig negativen Verlauf der Kurven. Bei den Kontrollprobanden finden sich ebenfalls Unterschiede in den Potentialen für verrauschte und unverrauschte Wörter, vor allem an den anterioren Elektroden. Dieser Unterschied wird allerdings erst ab 450 ms deutlich, hier kommt es zu einem deutlich positiveren Verlauf der Potentiale für die verrauschten Wörter.

Aufgrund der visuellen Inspektion der mittleren Potentiale lässt sich erkennen, dass der Amplitudenverlauf der Potentiale bei den anterioren und posterioren Elektroden unterschiedlich ist. Aus diesem Grunde schien es sinnvoll, die Auswertung getrennt für die anterioren und posterioren Elektroden in entsprechenden Zeitfenstern vorzunehmen. Eine Omnibus-ANOVA mit den Faktoren Kongruenz, Rauschen und Elektrodenposition (F3/4, C3/4, P3/4, O1/2, Fz, Cz, Pz und Oz) sowie Gruppenzugehörigkeit als Zwischensubjektfaktor deutete darauf hin, dass die Amplituden an den verschiedenen Elektroden einen unterschiedlichen Verlauf nehmen (signifikante Haupteffekte für den Faktor Elektrodenposition sowie signifikante Interaktionen der Faktoren Gruppenzugehörigkeit x Elektrodenposition ($p \leq 0,001$)).

Auswertung an den anterioren Elektroden

Die Amplitudenverläufe der Potentiale an den anterioren Elektroden unterscheiden sich bei beiden Versuchsgruppen ab etwa 200 ms nach Stimuluspräsentation (Abbildung 23 und 24). Für die Kontrollgruppe zeigt sich eine Negativierung bis etwa 400 ms, diese geht danach in

eine Positivierung zwischen 300 – 500 ms über. Bei den CI-Patienten ist jene Negativierung nur bei den unverrauschten Bedingungen beobachtbar. Die Unterschiede zwischen den Amplituden sind statistisch signifikant (Haupteffekt Gruppenzugehörigkeit siehe Tabelle 19).

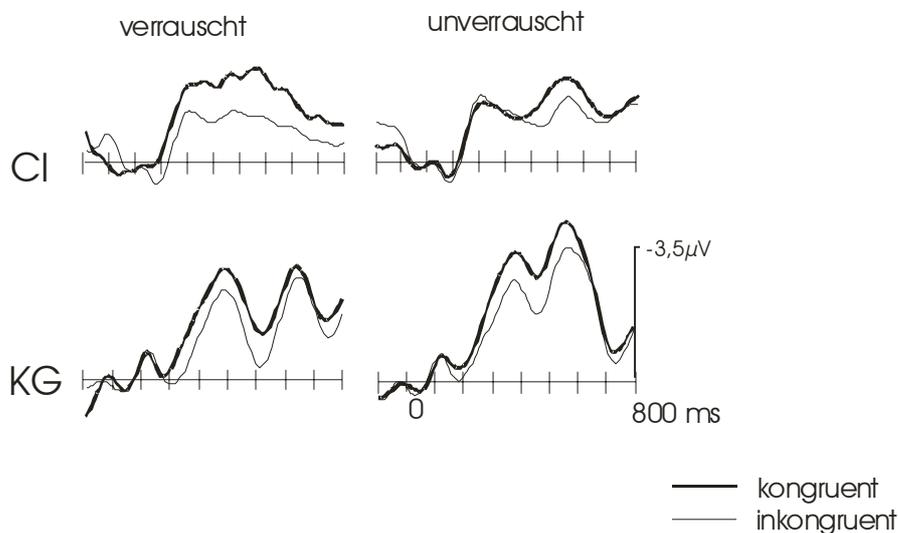


Abbildung 24: Ausprägung mittlere Potentiale für die kongruenten und die inkongruenten Bedingungen getrennt betrachtet für verrauschte und unverrauschte Wörter in den einzelnen Versuchsgruppen an der Elektrode Cz. Insgesamt betrachtet zeigen sich stärkere Negativierungen für die kongruenten Bedingungen im Vergleich zu den inkongruenten.

Ein Vergleich der Auswirkungen der einzelnen Bedingungen auf die Amplitudenausprägungen zeigt deutlich, dass sich die Gruppen hinsichtlich der Verarbeitung kongruenter und inkongruenter Bedingungen vor allem in den Zeitfenstern bis 400 ms unterscheiden (signifikante Interaktionen der Faktoren Gruppenzugehörigkeit x Kongruenz, siehe Tabelle 19). Bei den Kontrollprobanden kommt es insgesamt zu einer stärkeren Negativierung für die kongruenten Bedingungen (Abbildung 24). Bei den CI-Patienten ist dieser Unterschied nur in den verrauschten Wörtern und bei den unverrauschten Wörtern ab 400 ms beobachtbar. Eine zusätzliche positive Komponente zwischen 400 – 500 ms bei den Kontrollpersonen ist stärker für die inkongruenten Wörter ausgeprägt und in der Form bei den CI-Patienten nur in verminderter Ausprägung bei den unverrauschten Wörtern beobachtbar. Der Unterschied zwischen kongruenten – verrauschten und inkongruenten – verrauschten Wörtern wird signifikant in Abhängigkeit von der Gruppenzugehörigkeit (400 – 600 ms: $F(1,18) = 21,9$; $p \leq 0,001$; 600 – 800 ms: $F(1,18) = 3,1$; $p = 0,08$).

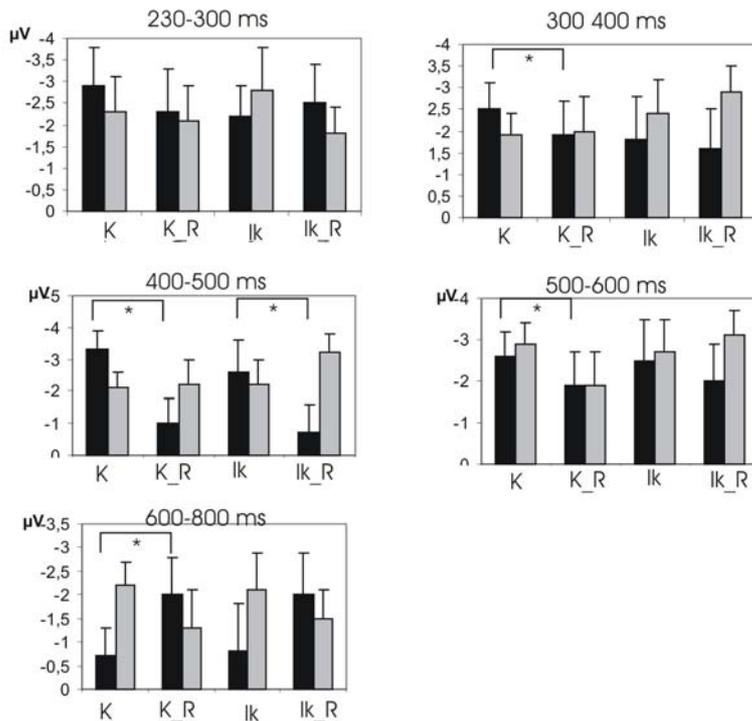


Abbildung 25: Mittlere Amplituden für die unterschiedlichen experimentellen Bedingungen im Vergleich zwischen CI-Patienten (graue Balken) und Kontrollprobanden (schwarze Balken) an der Elektrode Cz in den einzelnen Zeitfenstern. Es sind zusätzlich mit angegeben, welche einzelnen Vergleiche signifikant sind ($p \leq 0,01$).

Die Ausprägungen der Amplituden bei verrauschten und unverrauschten Wörtern unterscheiden sich ebenfalls zwischen beiden Versuchsgruppen, vor allem in den späteren Zeitfenstern ab 300 ms (signifikante Interaktionen der Faktoren Gruppenzugehörigkeit x Rauschen, siehe Tabelle 19). Die positive Komponente zwischen 400 – 600 ms ist prägnanter für die Kontrollprobanden ausgeprägt und zeigt sich vor allem bei den verrauschten Wörtern (Abbildung 24 und 25). Bei den CI-Patienten ist dieser Effekt nicht beobachtbar, was mit einer geringeren Trialanzahl in dieser Bedingung aufgrund der herabgesetzten Verstehensleistung erklärt werden kann.

Tabelle 19: Signifikante Ergebnisse der Varianzanalyse für die anterioren Elektroden (Fz, F3/4, Fc1/2, Cz, C3/4) bei der Betrachtung der Faktoren Kongruenz, Rauschen und Gruppenzugehörigkeit als Zwischensubjektfaktor in den unterschiedlichen Zeitfenstern.

Zeitfenster	Kongruenz		Rauschen		Gruppe		Gruppe x Kongruenz		Gruppe x Rauschen		Gruppe x Kongruenz x Rauschen	
	F(1,18)	p ≤	F(1,18)	p ≤	F(1,18)	p ≤	F(1,18)	p ≤	F(1,18)	p ≤	F(1,18)	p ≤
100 – 150 ms	0,04	n.s.	0,001	n.s.	0,01	n.s.	3,4	0,06	0,03	n.s.	0,01	n.s.
150 – 230 ms	0,01	n.s.	0,1	n.s.	0,2	n.s.	4,4	0,03	0,6	n.s.	0,01	n.s.
230 – 300 ms	0,01	n.s.	0,6	n.s.	3,7	0,05	3,1	0,08	1,0	n.s.	0,01	n.s.
300 – 400 ms	0,01	n.s.	0,2	n.s.	22,6	0,001	7,7	0,001	9,4	0,01	0,03	n.s.
400 – 500 ms	0,01	n.s.	5,6	0,02	24,2	0,001	2,5	n.s.	43,8	0,001	0,05	n.s.
500 – 600 ms	0,1	n.s.	2,6	n.s.	16,1	0,001	0,1	n.s.	0,04	n.s.	0,01	n.s.
600 – 800 ms	0,02	n.s.	0,03	n.s.	9,1	0,003	0,3	n.s.	8,9	0,003	0,02	n.s.

Auswertung an den posterioren Elektroden

In Abbildung 26 sind die mittleren Potentiale für die kongruenten unverrauschten Wörter an der Elektrode Oz für die CI-Gruppe und die Kontrollprobanden dargestellt. Es zeigt sich deutlich ein unterschiedlicher Verlauf zwischen beiden Gruppen, was eine unterschiedliche Verarbeitung audiovisueller Reize im posterioren Bereich bei beiden Gruppen nahe legt. Im Bereich zwischen 200 – 300 ms ergab sich für die Kontrollgruppe eine zusätzliche Negativierung, die bei den CI-Patienten nicht ausgebildet ist.

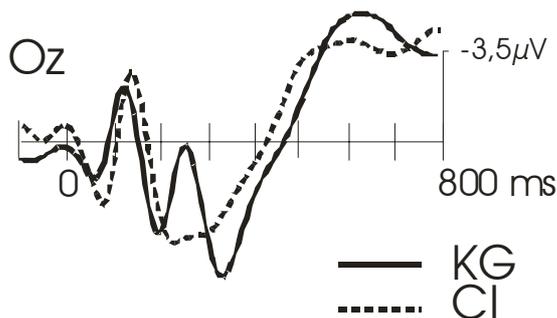


Abbildung 26: Darstellung der mittleren Potentiale für die unverrauschten kongruenten audiovisuellen Reize in den beiden Versuchsgruppen an der Elektrode Oz in einem Zeitbereich von 100 ms vor Beginn der Stimuluspräsentation bis 800 ms danach.

Die Unterschiede in den Amplitudenverläufen werden vor allem an den frühen Zeitfenstern der P1 und N1 deutlich (tendenziell signifikanter Haupteffekte für den Faktor Gruppenzugehörigkeit siehe Tabelle 20). Zusätzlich kommt es zwischen 50 – 100 ms (P1) zu einer signifikanten Interaktion zwischen den Gruppen und den experimentellen Bedingungen. Im Bereich zwischen 200 – 300 ms zeigt sich für die Kontrollgruppe eine zusätzliche Negativierung, die bei der CI-Gruppe nicht ausgebildet ist. Der Unterschied zwischen den Amplituden zeigt sich in signifikanten Haupteffekten für den Faktor Gruppenzugehörigkeit (Tabelle 20).

Tabelle 20: Signifikante Ergebnisse der Varianzanalyse für posteriore Elektroden (O1/2, Oz) bei der Betrachtung der Faktoren Kongruenz, Rauschen und Gruppenzugehörigkeit (Gruppe). In den ersten Zeitfenstern bis 400 ms wurden die Werte der Gipfelamplituden miteinander verglichen, in den späteren Zeitfenstern die mittleren Amplituden.

Zeitfenster	Kongruenz		Rauschen		Gruppe		Gruppe x Kongruenz		Gruppe x Rauschen		Gruppe x Kongruenz x Rauschen	
	F(1,18)	p ≤	F(1,18)	p ≤	F(1,18)	p ≤	F(1,18)	p ≤	F(1,18)	p ≤	F(1,18)	p ≤
50 – 100 ms	0,1	n.s.	0,3	n.s.	2,9	0,09	0,1	n.s.	0,2	n.s.	6,8	0,02
100 – 150 ms	0,3	n.s.	0,4	n.s.	3,3	0,07	0,4	n.s.	0,5	n.s.	0,1	n.s.
150 – 230 ms	0,5	n.s.	0,2	n.s.	42,6	0,001	0,4	n.s.	0,05	n.s.	0,2	n.s.
230 – 300 ms	0,1	n.s.	1,1	n.s.	29,9	0,001	4,0	0,05	1,4	n.s.	0,4	n.s.
300 – 400 ms	0,7	n.s.	2,6	n.s.	0,01	n.s.	1,1	n.s.	0,06	n.s.	0,01	n.s.
400 – 500 ms	0,01	n.s.	0,6	n.s.	4,1	0,04	3,0	0,04	3,8	0,05	0,4	n.s.
500 – 600 ms	0,2	n.s.	0,1	n.s.	3,4	0,06	1,2	n.s.	0,8	n.s.	0,2	n.s.
600 – 800 ms	0,01	n.s.	1,5	n.s.	1,4	n.s.	0,02	n.s.	0,05	n.s.	0,04	n.s.

Die Potentiale für die Wörter mit unterschiedlicher Passung zwischen akustischen und visuellen Informationen unterscheiden sich signifikant in Abhängigkeit von der Gruppenzugehörigkeit zwischen 230 – 300 ms und 400 – 500 ms (Tabelle 20). Bei den CI-Patienten kommt es zu einer Abnahme der Negativierung in den inkongruenten Wörtern zwischen 230 – 300 ms und bei den Kontrollprobanden zu einer Zunahme (Abbildung 27). Im Zeitfenster zwischen 400 – 500 ms zeigt sich ein gegenteiliger Effekt: Hier nimmt die Negativierung bei inkongruenten Wörtern bei CI-Patienten zu und bei Kontrollprobanden ab.

Ein Vergleich der Amplituden für die verrauschten und unverrauschten Wörter zeigt bei den Kontrollprobanden eine Abnahme der Negativierung für verrauschte Wörter (400 – 500 ms: $F(1,9) = 7,8$; $p = 0,02$; 600 – 800 ms: $F(1,9) = 9,6$; $p = 0,01$). In der CI-Gruppe ist dagegen eine Zunahme der Negativierung zwischen 400 – 500 ms beobachtbar und eine Abnahme zwischen 600 – 800 ms ($F(1,9) = 9,6$; $p = 0,01$).

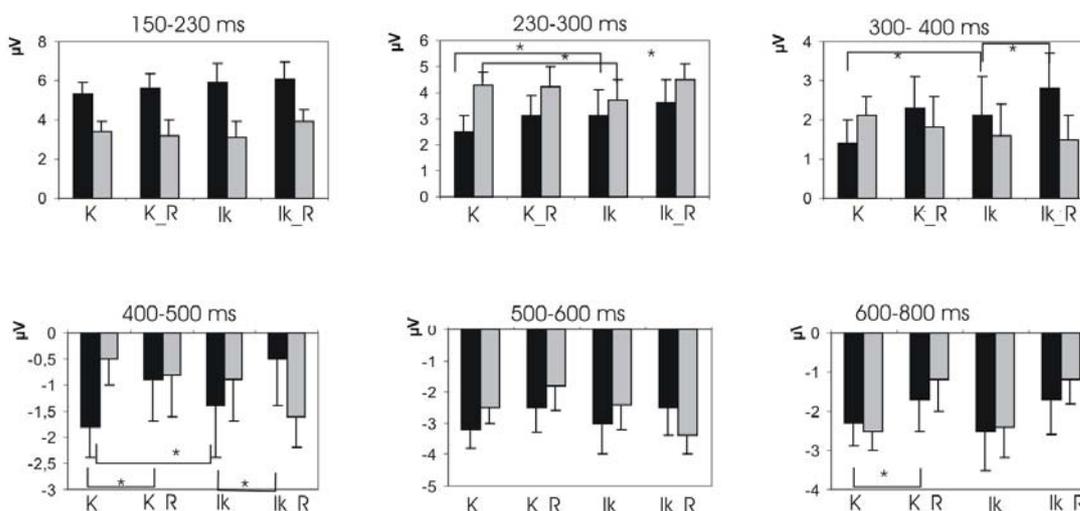


Abbildung 27: Mittlere Amplituden für die unterschiedlichen experimentellen Bedingungen im Vergleich zwischen CI-Patienten (graue Balken) und Kontrollprobanden (schwarze Balken) an der Elektrode Oz in den relevanten Zeitfenstern. Es ist zusätzlich mit angegeben, welche einzelnen Vergleiche signifikant sind ($p \leq 0,01$).

3.2.4. Diskussion

In Experiment 5 wurde die audiovisuelle Integration bei Sprachverarbeitung von CI-Patienten untersucht. Dazu wurden den Probanden ein visuelles Gesicht (sprechendes Gesicht) und ein akustisches Artikulationsmuster (gesprochenes Wort) simultan dargeboten. Die visuellen und die akustischen Inhalte waren entweder identisch (kongruente Bedingung) oder unterschiedlich (inkongruente Bedingung). Weiterhin wurde die sensorische Qualität des akustischen Reizes durch Zugabe von weißem Rauschen verschlechtert, um die Auswirkung einer kognitiven Korrektur im Vergleich zwischen CI-Patienten und Normalhörenden zu untersuchen.

Bei unverrauschten Wörtern, deren akustische und visuelle Informationen nicht zusammenpassen, können die CI-Patienten nur etwa 40 % der Wörter verstehen im Vergleich zu ca. 63 % bei kongruenter Präsentation. Das bedeutet, dass die CI-Patienten beim Verstehen eines akustischen Wortes deutlich von den visuellen Informationen profitieren. Kommt es zusätzlich zu einem Hintergrundrauschen, sinkt die Verstehensrate auf etwa 10 %. Eine kognitive Korrektur kann aufgrund der unpassenden visuellen Informationen in dieser Bedingung nicht gewährleistet werden. Somit konnten Untersuchungen bestätigt werden, die davon ausgehen, dass die top-down-Verarbeitung bei CI-Patienten eine wesentliche Rolle bei der Sprachverarbeitung spielt und für eine krossmodale Kompensation verantwortlich ist (Giraud et al., 2000; Rauschecker & Korte, 1993). Die Analyse der Verhaltensdaten der Kontrollgruppe hat ergeben, dass lediglich die inkongruenten verrauschten Wörter weniger gut verstanden werden. Dies bedeutet, dass Normalhörende im Falle eines verrauschten Signals ebenfalls von den visuellen Informationen profitieren (Sumbly & Pollack, 1954; Dodd, 1977; McLeod & Summerfield, 1987; Callan et al., 2001).

Von verschiedenen Autoren ist berichtet worden, dass die Verstehensleistung sprachlicher Signale bei CI-Patienten von Faktoren wie Implantationsdauer, Zeitpunkt der Ertaubung oder Ertaubungsdauer beeinflusst wird. Da die Ertaubungsdauer innerhalb der hier untersuchten Patientengruppe eine erhebliche Spanne aufweist und sowohl prälingual als auch postlingual Ertaubte untersucht wurden, kann der Einfluß dieser Faktoren auf die Verstehensleistung aus diesem Datensatz nicht erschlossen werden. Eine Untersuchung hinsichtlich der Verstehensleistung audiovisueller Sprachreize bei Patienten mit unterschiedlicher Ertaubungsdauer steht noch aus und würde Hinweise auf die kognitive Sprachverarbeitung bei CI-Patienten und deren Reorganisation im Vergleich zwischen verschiedenen akustischen Deprivationszeiten sowie zwischen prälingual und postlingual ertaubten Patienten liefern. Hinsichtlich der Altersspanne ist zu bemerken, dass mehrere Studien davon ausgehen, dass das Implantationsalter keinen Einfluss auf die Sprachverstehensleistung hat (Chouard et al., 1984; Nakajima et al., 2000; Wu et al., 2000).

Es konnte gezeigt werden, dass sich CI-Patienten in den Ausprägungen ihrer ereigniskorrelierten Potentiale von denen Normalhörender unterscheiden. Die Wahrnehmung audiovisueller Sprachreize löst demnach unterschiedliche Verarbeitungsprozesse bei Personen mit und ohne Hörbeeinträchtigung aus. Bedeutende Unterschiede lassen sich vor allem an den okzipitalen Elektroden erkennen.

Die Betrachtung der sensorischen Komponenten zeigt, dass es zwischen 50 – 100 ms zu einer Positivierung (P1) kommt, welche die visuelle Verarbeitung des Gesichtes des Sprechers reflektiert, noch bevor das akustische Signal ertönt. Diese Komponente ist bei den CI-Patienten stärker ausgeprägt als bei den Kontrollpersonen, der Unterschied ist jedoch nur tendenziell signifikant. Daran schließt sich ab 100 ms eine Negativierung (N1) an, die posterior ebenfalls tendenziell stärker bei den CI-Patienten ausgeprägt ist. Danach folgt eine Positivierung (P2), die posterior bei den Kontrollprobanden größer ist. Das bedeutet, dass der ange-

nommene N1-P2-Komplex insgesamt differenzierter betrachtet werden muss in Abhängigkeit vom Stimulusmaterial und den Versuchsgruppen. Eine stärkere P1 und N1 für die CI-Patienten an den posterioren Elektroden könnte bedeuten, dass insgesamt mehr Aufmerksamkeit auf die visuellen Informationen gelegt wird (Fletcher et al., 1995; Giraud et al., 2000). In einer Untersuchung der Wahrnehmung visueller Stimuli bei taub geborenen Patienten konnte gezeigt werden, dass sich bewegende visuelle Stimuli eine größere (anteriore) Amplitude der N1 auslösen im Vergleich zu Normalhörenden (Armstrong et al., 2002). Zusätzlich zeigte sich eine eher schwächer ausgeprägte N1 bei der Präsentation farblicher visueller Stimuli. Die Autoren interpretierten ihre Befunde dahingehend, dass eine frühe akustische Deprivation möglicherweise einen stärkeren Effekt auf die Funktion des dorsalen visuellen Verarbeitungsweges hat, der mit der Integration sich bewegender visueller Reize in Zusammenhang gebracht wurde. In der vorliegenden Studie können die Lippenbewegungen ebenfalls als sich bewegende visuelle Reize verstanden werden und lösen einen stärkeren N1-Effekt bei den CI-Patienten aufgrund der akustischen Deprivation aus, da die visuellen Informationen bei der Sprachverarbeitung relevanter sind als bei Normalhörenden. Darüber hinaus ist von verschiedenen Studien bereits belegt worden, dass die N1 bei audiovisueller Informationsverarbeitung bei Normalhörende geringer ausgeprägt ist (Calvert, Brammer & Iverson, 1998; Giard & Peronet, 1999; Raij et al., 2000; Teder-Sälejärvi et al., 2002).

Die zusätzliche negative Komponente zwischen 200 – 300 ms bei den Kontrollprobanden könnte als N170 interpretiert werden, die als spezifische Komponente für die Verarbeitung menschlicher Gesichter beschrieben worden ist (z.B. Allison et al., 1994; Eimer, 1998, 2000a). Möglicherweise ist diese Komponente erst in diesem Zeitfenster auffindbar, da die Lippenbewegungen des Gesichtes erst 160 ms nach der Gesichtspräsentation beginnen und in dieser Hinsicht nicht nur spezifisch für eine Gesichterdarbietung zu sein scheint, sondern spezifisch für die Lippenverarbeitung bei Kontrollprobanden interpretiert werden kann. Da Normalhörende in der alltäglichen Sprechsituation eher auf die Augen als auf die Lippenbewegungen achten (Vatikiotis-Bateson, 1998), könnte eine explizite Aufforderung an die Probanden, auf die Lippen zu achten, als ungewöhnlich empfunden werden, was sich in einer Negativierung ablesen lässt. Das Ausbleiben dieser Komponente bei CI-Patienten, könnte dahingehend interpretiert werden, dass es hier nicht zu einer spezifischen Gesichterwahrnehmung kommt, sondern die sprachliche Verarbeitung eher im Vordergrund steht und die Beachtung der Lippen generell vordergründig für die Sprachverarbeitung ist. Allison et al. (2002) beschreiben, dass spezifische Kategorien wie Gesichter oder geschriebene Wörter kategorien-spezifische Komponenten generieren (N200). Das Gesicht stellt jedoch bei CI-Patienten kein spezifisches kategorisches visuelles Objekt dar. Vielmehr dient es der kognitiven Kontrolle, um die herabgesetzte Qualität der akustischen Wörter zu kompensieren. Dies könnte sich in einer breiter ausgeprägten P200 bei den CI-Patienten äußern. Unter der Annahme, dass es unter normalen Entwicklungsbedingungen mit zunehmenden Alter zu einer stärkeren Spezifizierung sensorischer Areale kommt (Neville, 1995), kann davon ausgegangen werden, dass es bei sensorischer Deprivation nicht zu dieser Spezifizierung kommt, sondern eine redundante

Verbindung zwischen akustischen und visuellen Arealen erhalten bleibt (Neville & Bavelier, 2002). Der beschriebene Effekt könnte als eine Reorganisation des visuellen Cortex während der Verarbeitung von sprechenden Gesichtern und akustischen Reizen verstanden werden, wobei hier eine Integration audiovisueller Reize automatisch abläuft und eine Rückkopplung auf akustische Verarbeitungsebenen, reflektiert durch die zusätzliche P2b bei Normalhörenden (Portois et al., 2000), nicht notwendig ist.

Beim Vergleich der Aktivierungen für die kongruenten und die inkongruenten Wörter ist an den okzipitalen Regionen zwischen 230 – 300 ms und 400 – 500 ms eine Abnahme der Positivierung bei den CI-Patienten beobachtbar, bei den Kontrollpersonen dagegen eher eine Zunahme. Dies steht in Zusammenhang mit den von Fingelkurts und Mitarbeitern (2003) beobachteten stärkeren Effekten bei inkongruenten Bedingungen, welche von den Autoren als Reflektion verstärkter Aufmerksamkeitsprozesse interpretiert wurden (vgl. auch Giard & Peronnet, 1999; Molholm et al., 2002). Eine Aktivierungszunahme bei den Kontrollprobanden in den inkongruenten Bedingungen steht demnach für eine Aufmerksamkeitsverschiebung auf akustische Signale, um die präsentierten Wörter zu verstehen. In fronto-temporalen Bereichen zeigt sich ein Effekt für den Faktor Kongruenz eher in den frühen Zeitfenstern. Bei den Kontrollpersonen kommt es hier zu einer Abnahme der Negativierung. Zwischen 400 – 500 ms ist eine stärkere Negativierung bei den CI-Patienten zu verzeichnen. Diese unterschiedlichen Aktivierungen spiegeln möglicherweise unterschiedliche Verarbeitungsprozesse bei beiden Versuchsgruppen wider. Bei Kontrollpersonen kommt es im Falle inkongruenter Wörter zu einer Rückkopplung auf akustische Verarbeitungsareale, da visuelle Informationen nicht helfen, das Wort zu verstehen. Das Erkennen dieser Inkongruenz zeigt sich möglicherweise in den Unterschieden an den okzipitalen Regionen, welche für die audiovisuelle Integration und das Erkennen inkongruenter Sprachreize von verschiedenen Autoren berichtet wurde (Giraud et al., 2000; Calvert et al., 1997; de Gelder & Vroomen, 2000). Beide Versuchsgruppen haben nun unterschiedliche Möglichkeiten, die inhaltliche Abweichung zwischen beiden Informationsquellen zu kompensieren. Bei Normalhörenden könnte es zu einer Ressourcenaktivierung akustischer Verarbeitungsareale kommen, um das Wort zu verstehen (vgl. auch Grant & Seitz, 2000), welche sich in einer Zunahme der Positivierung im Vergleich zu CI-Patienten ablesen lässt. CI-Patienten haben beim Fehlen visueller Informationen oder falschen Informationen keine weitere Möglichkeit, ihre qualitativ herabgesetzten akustischen Signale über einen anderen Weg zu kompensieren, was sich in einer geringen Verstehensrate widerspiegelt, vor allem in der verrauschten Bedingung. Dennoch kommt es bei den inkongruenten Wörtern bei den CI-Patienten zu einer Integration der akustischen Informationen, da nicht beobachtet werden konnte, dass die CI-Patienten in den inkongruenten Bedingungen eher die „visuell“ dargebotenen Wörter, anstatt der akustischen Wörter verstanden haben.

Ein Vergleich zwischen verrauschten und unverrauschten Bedingungen ergab eine Zunahme der Negativierung an den okzipitalen Regionen bei den CI-Patienten, was dafür spricht, dass noch mehr Aufmerksamkeit auf die visuellen Informationen gelegt wird, da das

Rauschen die akustische Qualität noch stärker herabsetzt, als sie mit dem Implantat ohnehin schon ist.

Zusammenfassend kann man davon ausgehen, dass bei Patienten mit implantierten Cochleaelektroden die kognitive Kontrolle der Sprachverarbeitung über vorhandene Wissenskonzepte und zusätzlicher Informationen aus der visuellen Modalität eine große Rolle spielt. Normalhörende profitieren ebenfalls von zusätzlichen visuellen Informationen, wenn die akustischen Sprachinformationen qualitativ herabgesetzt sind. Ein Vergleich der Verstehensleistung hat deutlich gemacht, dass die CI-Patienten wesentlich stärker von den visuellen Informationen und deren Passung zum akustischen Inhalt abhängig sind.

Die simultane Wahrnehmung akustischer Sprachreize und deren Lippenbewegungen löst bei CI-Patienten und Normalhörenden unterschiedliche Verarbeitungsprozesse aus, was in unterschiedlichen Verläufen und Amplituden der ereigniskorrelierten Potentiale reflektiert wurde. Das Fehlen einer okzipitalen negativen Komponente zwischen 230 – 300 ms bei den CI-Patienten könnte dahingehend interpretiert werden, dass eine kortikale Reorganisation des Cortex stattgefunden hat und eine multisensorische Sprachverarbeitung eher im Vordergrund steht. Genauere Hinweise für diese Beobachtungen könnte eine Untersuchung liefern, bei der prälinguale und postlinguale CI-Patienten miteinander verglichen werden als auch Patienten mit geringem und hohem Implantations- und Ertaubungsalter. Diese Vergleiche könnten Schlussfolgerungen hinsichtlich der zeitlichen Dynamik der Reorganisation des Cortex für die Sprachverarbeitung liefern.

3.3 Experiment 6: Einfluss von Satzkontext und Phonologie auf die Identifikation von Sprachsignalen

3.3.1 Einleitung

Im Experiment 5 konnte gezeigt werden, wie die Verarbeitung akustischer und visueller Sprachreize bei Patienten mit Cochlea-Implantat realisiert wird. Im Folgenden soll es darum gehen, wie Sprache in Zusammenhang eines vollständigen Satzes bei diesen Patienten wahrgenommen wird und wie vorhandenes Wissen und semantische Informationen genutzt werden, um die sensorischen Informationen zu kompensieren. In Anlehnung an den ersten Teil dieser Arbeit wird die kognitive Korrektur akustischer Sprachlaute über die Darbietung von Sätzen mit einer hohen Erwartungswahrscheinlichkeit für das letzte Wort des Satzes dargeboten. Dieses Wort unterscheidet sich in der semantischen Passung zum vorhergehenden Satzkontext. In diesem Zusammenhang soll die Auslösung einer N400 bei CI-Patienten untersucht werden. Zusätzlich wurde eine Bedingung gewählt, bei der sich das letzte Wort ebenfalls semantisch abweichend zum vorhergehenden Satz verhält, aber phonologisch ähnlich wie das erwartete Wort klingt. Beispielsweise wird der Satz: „*Ich trinke meinen Kaffee mit Milch und ...*“ dargeboten, welcher von den meisten Probanden mit dem Wort „*Zucker*“ beendet werden würde. Als letztes Wort wird stattdessen das Wort „*Drucker*“ präsentiert, welches klanglich sehr ähnlich zu „*Zucker*“ ist, aber semantisch nicht zum Satz passt. Diese Präsentationsform wurde gewählt, um festzustellen, inwiefern die Patienten mit beeinträchtigtem Hörvermögen dieses phonologisch ähnliche Wort erkennen und welche elektrophysiologischen Korrelate sich im Vergleich zu einer Kontrollgruppe abbilden lassen.

Die Verarbeitung eines zum erwarteten Wort phonologisch ähnlich klingenden Wortes, das aber semantisch nicht zum vorhergehenden Satz passt, ist bereits von verschiedenen Autoren untersucht worden (Connolly & Phillips, 1994; Connolly, Phillips & Forbes, 1995; Van Petten et al., 1999). Connolly und Phillips (1994) präsentierten beispielsweise akustische Sätze, deren letzte Wörter sich semantisch inkongruent zum vorhergehenden Satz herausstellten und das gleiche oder ein anderes Anfangsphonem wie das für den jeweiligen Satz erwartete Wort besaßen. Bei den inkongruenten Wörtern beobachteten die Autoren erwartungsgemäß eine Negativierung um 400 ms nach Beginn des letzten Wortes (N400), wobei in der Bedingung mit abweichendem Anfangsphonem zusätzlich eine Negativierung um 200 ms festgestellt wurde (N200¹⁶). Hintergrund für die Verwendung des gleichen Anfangsphonems war die Annahme, dass jener Buchstabe eine Reihe möglicher Kandidaten aktiviert (Marslen-Wilson & Tyler, 1980). Bei einem abweichenden Buchstaben wird eine falsche Kohorte früh erkannt, was sich in Form einer N200 im EKP zeigt. Ein semantisch inkongruentes Wort, das das glei-

¹⁶ Die hier erwähnte N200 unterscheidet sich von der oben (S.112) angeführten N200, welche von Allison et al. (2002) in bezug auf die Gesichtsverarbeitung beschrieben wurde. Die N200 von Connolly & Phillips (1994) bezieht sich dagegen auf die akustische Verarbeitung eines Wortes im Satzkontext.

che Anfangsphonem wie das erwartete besitzt, wird später erkannt und löst nur eine N400 aus. Die Ergebnisse sind in einer Studie von van den Brink, Brown und Hagoort (2001) repliziert worden, die N200 wurde in diesem Zusammenhang als eine Reflektion des lexikalischen Selektionsprozesses interpretiert. Van Petten et al. (1999) wiederholten die Untersuchung von Connolly und Phillips (1994) ebenfalls. Sie präsentierten akustische Sätze mit hoher Erwartungswahrscheinlichkeit, deren letzte Wörter semantisch inkongruent waren und entweder das gleiche oder ein anderes Anfangsphonem wie das erwartete Wort hatten, wobei sich unerwartete und erwartete Wörter reimten. In einer letzten Bedingung hatte das inkongruente Wort keinen phonologischen Bezug zum erwarteten Wort. Der Beginn der N400 unterschied sich in Abhängigkeit von der phonologischen Überlappung mit dem kongruenten Wort und setzte in der Bedingung mit gleichem Anfangsphonem später ein. Vor dem Hintergrund der Ergebnisse der Experimente 1 und 2 wird hier davon ausgegangen, dass die Wörter nicht Phonem für Phonem, sondern in zeitlichen Abschnitten wahrgenommen werden. Deshalb werden hier nicht gleiche Anfangsphoneme, sondern klanglich ähnlich klingende Wörter zum semantisch kongruenten Wort verwendet, vergleichbar mit der Studie von van Petten et al. (1999).

Es wird erwartet, dass die Patienten insgesamt weniger Wörter verstehen werden als die Kontrollpersonen. Dabei werden die semantisch und phonologisch inkongruenten Wörter vermutlich am schlechtesten verstanden. Statt der phonologisch ähnlichen Wörter werden wahrscheinlich häufiger die semantisch erwarteten Wörter verstanden.

Hinsichtlich der ereigniskorrelierten Potentiale wird angenommen, dass diese sich zwischen beiden Versuchsgruppen unterscheiden werden. Zum Einen wird die Amplitude der akustisch evozierten N100 möglicherweise bei den CI-Patienten geringer ausgeprägt sein, da der neuronale Verarbeitungsprozess aufgrund der Reorganisation nicht in der gleichen Weise wie bei gesunden Kontrollprobanden funktioniert, das heißt, dass die synchrone Aktivierung von Neuronengruppen herabgesetzt ist (Ponton et al., 1993). Zum anderen kann erwartet werden, dass bei der Wahrnehmung semantisch inkongruenter Wörter eine Negativität genauso wie bei den Kontrollprobanden ausgelöst wird, jedoch mit einer zeitlichen Verzögerung der klassischen N400, die sich etwa nach 300 – 500 ms nach Beginn der Präsentation des Wortes entwickelt (Kutas & Hillyard, 1980).

Aufgrund der Ergebnisse in den vorangegangenen Experimenten in bezug auf die N400 wird hier trotz der Befunde von Connolly und Phillips keine N200 bei semantisch und phonologisch abweichenden Wörtern am Ende des Satzes erwartet, weder in der Patienten-, noch in der Kontrollgruppe.

Die Ergebnisse des Experimentes sollen erste Aufschlüsse über die neuronale Abbildung der Sprachverarbeitung bei Patienten mit Cochleaimplantat liefern und Einblicke in die hypothesengeleitete Informationsverarbeitung von Sprache im Vergleich zwischen hörbeeinträchtigten Patienten und gesunden Kontrollprobanden geben.

3.3.2 Methode

Konstruktion des Materials

Für die Erhebung wurden 120 Sätze mit hoher Erwartungswahrscheinlichkeit aus Experiment 2 gewählt. Diese Sätze hatten wiederum ein semantisch kongruentes und ein semantisch inkongruentes Endwort, wobei hier die gleichen Wörter genutzt wurden unter Berücksichtigung der gleichen Silbenanzahl (siehe Experiment 2 und 3). Zusätzlich wurden zu diesen Sätzen Wörter ermittelt, die phonologisch dem erwarteten Wort ähneln, aber inhaltlich keinen Bezug zum vorhergehenden Satz und zum semantisch kongruenten (erwarteten) Wort haben.

Versuchspersonen

Patientengruppe:

Insgesamt nahmen 3 Patienten an der Untersuchung teil (2 weibliche im Alter zwischen 28 – 64 Jahren), die Patienten der HNO-Klinik der Medizinischen Hochschule Hannover waren. Die Daten einer zusätzlichen Versuchsperson gingen aufgrund zu starker Artefakte nicht mit in die Untersuchung ein.

Kontrollgruppe:

Die Kontrollgruppe bestand aus 12 Versuchspersonen (6 weibliche, alle rechtshändig) im Alter zwischen 24 und 39 Jahren (mittleres Alter: 30,6 Jahre). Die Daten von 4 zusätzlichen Versuchspersonen wurden aufgrund zu starker Artefakte nicht mit in die Auswertung integriert.

Versuchsablauf

Die Sätze wurden Wort für Wort schriftlich in der Mitte eines grau hinterlegten Computerbildschirms (17 Zoll) in weißer Schrift im Abstand von 500 ms dargeboten. Das letzte Wort des Satzes wurde akustisch über Lautsprecher präsentiert, welche sich frontal vor der Versuchsperson befanden. Die akustischen Wörter hatten eine mittlere Dauer von 800 ms (Std.= 43,5). Etwa 1500 ms nach Beginn des akustischen Stimulus erhielten die Versuchspersonen eine schriftliche Aufforderung auf dem Bildschirm, laut zu sagen, welches Wort sie verstanden hatten. Falls sie nichts verstanden hatten, sollten sie kurz „nichts“ sagen. Die Antworten wurden online von den Versuchsleitern kontrolliert und innerhalb des aufgenommenen EEGs vermerkt. Die Probanden wurden instruiert, die Sätze aufmerksam zu verfolgen. Nach jedem 10. oder 15. Satz erhielten die Probanden inhaltliche Fragen zu den vorher präsentierten Sätzen (diese bezogen sich auf den Inhalt der Sätze, die nur in 30% der Fragen von der Bedeutung des letzten Wortes abhing).

Jede Versuchsperson nahm an zwei Sitzungen im Abstand von mindestens 7 Tagen teil, dabei wurden ihr insgesamt 240 Sätze dargeboten, für jede Bedingung 80 Sätze (je 40 Sätze in der ersten Sitzung und 40 in der zweiten Sitzung). Die Sätze wurden pseudorandomisiert

innerhalb von sechs Blöcken dargeboten. Jeder Block enthielt 20 Sätze und dauerte zwischen 5-7 Minuten. Die Reihenfolge der Darbietung der Blöcke wurde über die Versuchspersonen und Sitzungen nach dem Lateinischen Quadrat-Design verteilt.

EEG-Ableitung

Die Aufnahme des Elektroenzephalogramms erfolgte über die gleichen Elektroden, mit den gleichen Parametern wie im vorhergehenden Experiment. Für die Korrektur möglicher im Signal enthaltene Artefakte wurden jene Segmente nicht in der Auswertung betrachtet, die eine Amplitude von mehr als $\pm 100 \mu\text{V}$ (für die Augenkanäle) bzw. $\pm 75 \mu\text{V}$ (Skalpkanäle) aufwiesen.

Die ereigniskorrelierten Potentiale wurden für alle Bedingungen getrennt gemittelt, wobei nicht verstandene Wörter aus der Analyse ausgeschlossen wurden. Die evozierten Potentiale wurden in einem Zeitbereich von 200 ms vor Beginn des akustischen Wortes bis 800 ms danach ermittelt. Die statistische Analyse erfolgte mit Hilfe von Varianzanalysen für Messwiederholung (ANOVA) für die Faktoren *experimentelle Bedingung* (semantisch kongruent/ semantisch inkongruent, phonologisch kongruent zum erwarteten Wort/ semantisch und phonologisch inkongruent zum vorangehenden Wort) und *Elektrodenposition* (F3/4, C3/4, P3/4, Fz, Cz, Pz) in den Zeitfenstern von 100 – 200 ms, 200 – 400 ms, 400 – 600 ms und 600 – 800 ms.

3.3.3 Ergebnisse

Verhaltensdaten

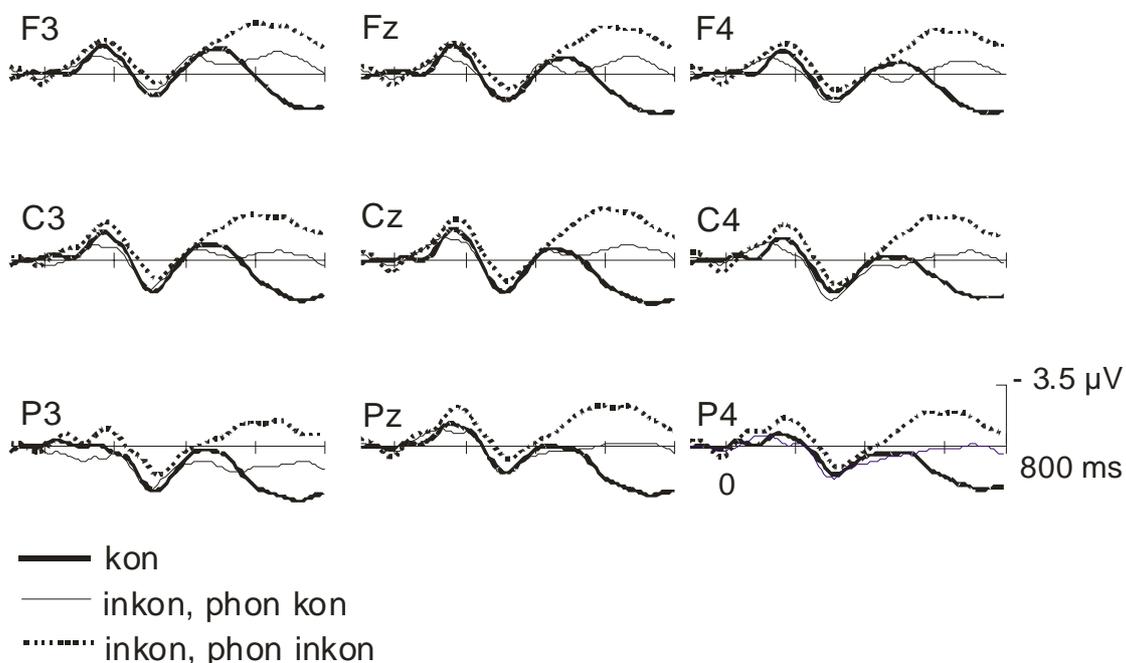
Während die Kontrollprobanden alle Wörter korrekt verstanden, wurden von den CI-Patienten über alle Bedingungen gemittelt 74% der Wörter verstanden). Auf die einzelnen Bedingungen bezogen wurden 17 % der kongruenten Wörter nicht verstanden, 36 % der phonologisch ähnlichen Wörter und 47 % der phonologisch und semantisch abweichenden Wörter nicht erkannt. Die Anzahl der verstandenen Wörter in den einzelnen Bedingungen unterscheiden sich nicht signifikant voneinander. Die Inhaltsfragen zur Kontrolle der Aufmerksamkeit wurden von allen Versuchspersonen richtig beantwortet.

EKP-Daten

Die ereigniskorrelierten Potentiale der CI-Patienten (Abbildung 28) sind gekennzeichnet durch eine Negativierung ab 100 ms nach Beginn des akustischen Wortes (N100). Daran schließt sich ab 250 ms bis 400 ms eine Positivierung an (P200). Beide Komponenten sind vor allem frontozentral ausgebildet und reflektieren die Verarbeitung akustischer Informationen. Die Amplituden sind für alle drei experimentellen Bedingungen ähnlich ausgeprägt. Im Vergleich dazu sind die Potentiale bei den Kontrollpersonen ebenfalls gekennzeichnet durch eine Negativierung mit einem Maximum bei 180 ms (N100) und einer anschließenden Positivierung zwischen 200 und 400 ms (P200). Diese sensorischen Komponenten haben

insgesamt eine größere Gipfelamplitude bei den Normalhörenden im Vergleich zu den CI-Patienten. Die akustisch evozierte N100 ist bei den Kontrollprobanden geringer für jene Wörter, die sich phonologisch kongruent zum erwarteten Wort verhalten. Ursache dessen scheint ein Unterschied in den qualitativen Merkmalen der akustischen Stimuli zu sein, welche zu einem unterschiedlichen Zeitpunkt aufgezeichnet wurden. Obwohl sich keine Unterschiede in der Lautstärke hören lassen, können die unterschiedlichen Aufzeichnungen der Wörter zu Veränderungen geführt haben, die den Unterschied der N100 zwischen den Bedingungen erklären können. Dieser Unterschied wurde noch vor der Datenerhebung der CI-Gruppe bemerkt und eine Bereinigung konnte hier noch durchgeführt werden, so dass der N100-Effekt sich in der CI-Gruppe nicht auffinden lässt.

Nach der P200 schließt sich bei beiden Versuchsgruppen eine Negativierung zwischen 400 – 800 ms an (N400). Bei den CI-Patienten kommt es zu einem Unterschied in der Ausprägung der Amplituden in allen drei Bedingungen in der Form, dass sich in der Bedingung mit semantisch und phonologisch inkongruentem Wort die größte Negativierung ablesen lässt. Bei der Kontrollgruppe ist die N400 nicht so breit ausgeprägt, sie hält nur etwa bis 600 ms an und geht dann wieder in eine leichte Positivierung über. Im Vergleich der einzelnen Bedingung scheint es zu einer stärkeren und länger anhaltenden Negativierung bei den phonologisch und semantisch inkongruenten Wörtern zu kommen.



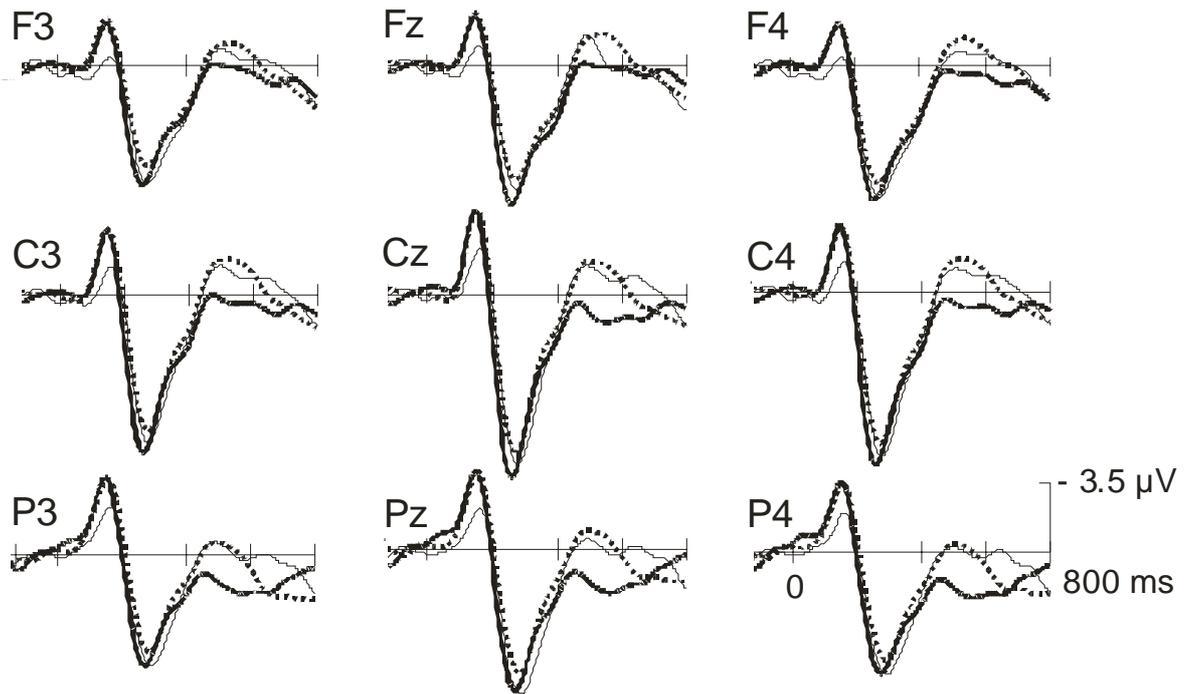


Abbildung 28: Gesamtmittelpotentiale im Vergleich zwischen allen experimentellen Bedingungen, dargestellt an den neun relevanten Elektroden (F3/4, Fc1/2, P3/4, Fz, Cz und Pz) in einem Zeitfenster von 200 ms vor Beginn des akustischen Wortes (Basislinie) bis 800 ms danach. Die Ausprägung der Amplituden zeigt sich am stärksten an der Elektrode Cz. Im oberen Bereich sind die mittleren Amplituden der CI-Patienten dargestellt, unten im Bild die Amplituden der Kontrollgruppe.

Inwiefern sich die beobachteten Unterschiede in den ereigniskorrelierten Potentialen statistisch absichern lassen, soll im Folgenden erörtert werden. Da ein Gruppenvergleich aufgrund der unterschiedlichen Anzahl an Versuchspersonen in beiden Gruppen nicht möglich ist, wird eine statistische Analyse der Ausprägung der Amplituden getrennt für beide Versuchsgruppen durchgeführt.

CI-Patienten

Eine Omnibus-ANOVA ergab, dass sich die Amplituden der einzelnen Bedingungen in den frühen Zeitfenstern nicht signifikant voneinander unterscheiden. Ab etwa 500 ms nach Beginn des akustischen Wortes kommt es zu signifikant unterschiedlichen Amplitudenverläufen für die einzelnen Bedingungen (500 – 600 ms: $F(2,2) = 31,3$; $p = 0,01$; 600 – 800 ms: $F(2,2) = 12,0$; $p = 0,07$). Zusätzlich unterscheiden sich die Ausprägungen der Amplituden in den Bedingungen in Abhängigkeit vom Ort der Ableitung auf der Kopfoberfläche (600 – 800 ms: $F(2,23) = 17,0$; $p = 0,03$).

In welcher Richtung diese Unterschiede bestehen, soll über eine Analyse an den anterioren Elektroden (F3/4, C3/4, Fz, und Cz) erfolgen (Tabelle 23). Eine Omnibus-ANOVA ergab, dass sich zwischen 500 – 600 ms ein signifikanter Haupteffekt für den Faktor *experimentelle Bedingung* ($F(2,2)=16,3$; $p=0,02$) und eine signifikante Interaktion zwischen den Faktoren *Bedingung* x *Elektrodenposition* ($F(2,8)= 3,4$; $p=0,01$) herausstellt. Die Werte der mittleren

Amplituden für die einzelnen Bedingungen an der Elektrode Cz (Abbildung 29) machen deutlich, dass es in den späten Zeitfenstern zu einer signifikant stärkeren Negativierung für die semantisch abweichenden Wörter kommt. Bei zusätzlicher phonologischer Abweichung zum erwarteten Wort nimmt die Negativierung nochmals zu. Die statistischen Analysen für den Vergleich der Aktivierungen aller Bedingungen gegeneinander ergaben signifikante Unterschiede ($p \leq 0,01$).

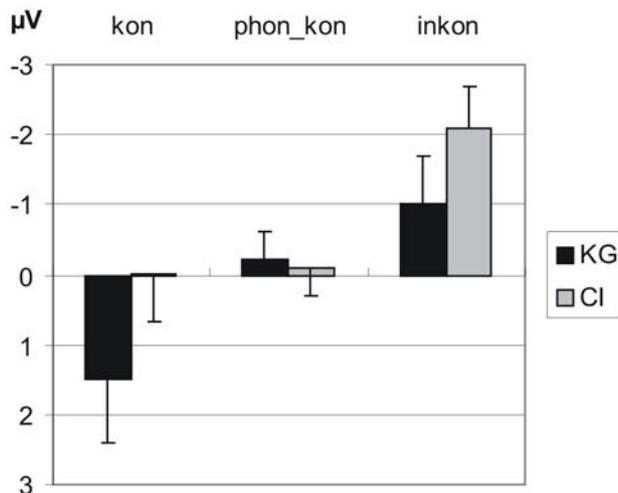


Abbildung 29: Mittlere Amplituden für die unterschiedlichen experimentellen Bedingungen im Vergleich zwischen CI-Patienten (graue Balken) und Kontrollprobanden (schwarze Balken) an der Elektrode Cz in einem Zeitbereich von 400 – 600 ms. Die Amplituden der einzelnen Bedingungen bei den CI-Patienten unterscheiden sich jeweils signifikant voneinander ($p \leq 0,01$).

Kontrollgruppe

Die Analyse der ereigniskorrelierten Potentiale der Kontrollgruppe ergab einen signifikanten Haupteffekt für den Faktor *experimentelle Bedingung* im Zeitfenster zwischen 100 – 200 ms (N100) und 400 – 600 ms (N400) (Tabelle 23). In allen berechneten Zeitfenstern unterscheidet sich die Aktivität an den einzelnen Elektroden signifikant voneinander; eine Interaktion zwischen den Faktoren *experimentelle Bedingung* x *Elektrodenposition* ergab sich nur zwischen 600 – 800 ms.

Tabelle 23: Ergebnisse der globalen ANOVA der Kontrollgruppe für die Faktoren Experimentelle Bedingung und Elektrodenposition in den unterschiedlichen Zeitfenstern. Die Berechnung bezieht sich in den ersten beiden Zeitfenstern (100 - 200 ms und 200 - 400 ms) auf die Werte der Gipfelamplituden und in den letzten beiden Zeitfenstern (400 - 600 ms und 600 - 800 ms) auf die Werte der mittleren Amplituden.

Zeitfenster	Experimentelle Bedingung		Bedingung × Elektrodenposition	
	F(2,11)	p ≤	F(15,88)	p ≤
100 – 200 ms	4,8	0,02	0,3	n.s.
200 – 400 ms	1,5	n.s.	0,6	n.s.
400 – 600 ms	3,5	0,05	1,9	0,08
600 – 800 ms	2,3	n.s.	2,3	0,05

Der Unterschied in den Amplituden in der N400 zwischen semantisch kongruenten Wörtern und inkongruenten Wörtern mit phonologischer Ähnlichkeit wird nicht signifikant (Abbildung 28), obwohl man hier von einer tendenziellen Signifikanz ausgehen kann ($F(1,11)=3,2$; $p=0,1$). Die Betrachtung der Aktivierungen der kongruenten Wörter im Vergleich zu den semantisch und phonologisch inkongruenten ergab einen signifikanten Unterschied ($F(1,11)=6,5$; $p=0,02$) an der N400.

Die Auflösung der signifikanten Interaktion zwischen den Faktoren der ANOVA zwischen 600 – 800 ms erfolgte über die Analyse an allen einzelnen Elektroden. Sie ergab, dass sich die Amplituden der verschiedenen Bedingungen signifikant an den Elektroden Cz, F3, F4, P3, P4 und Pz unterscheiden. Die Paarvergleiche der einzelnen Bedingungen zueinander ergaben, dass sich die Aktivierungen der kongruenten Wörter von denen der inkongruenten Wörter mit phonologischer Kongruenz signifikant unterscheiden ($F(1,11)=5,3$; $p=0,04$), aber nicht von denen mit phonologischer Inkongruenz. Ein Vergleich der semantisch inkongruenten Bedingungen zueinander ergab eine signifikante Interaktion mit dem Faktor *Elektrodenposition* ($F(8,88)=3,5$; $p=0,01$), deren Auflösung einen signifikanten Effekt an den Elektroden P3 ($F(1,11)=8,9$; $p=0,01$) und P4 ($F(1,11)=5,1$; $p=0,04$) ergab.

3.3.4 Diskussion

Ziel des Experimentes war die Untersuchung der Satzverarbeitung im Vergleich zwischen CI-Patienten und gesunden Kontrollprobanden. Die Wahrnehmungsbedingungen eines Wortes am Ende eines Satzes wurden dahingehend manipuliert, dass zum einen die semantische Passung des Wortes zum vorhergehenden Satz verändert wurde und zusätzlich der phonologische Klang des erwarteten Wortes.

Betrachtet man sich die ereigniskorrelierten Potentiale so wird ersichtlich, dass die frühen sensorisch evozierten Potentiale N1 und P2 bei den CI-Patienten im Vergleich zu den Kontrollpersonen geringer ausgeprägt sind (Abbildung 27). Aufgrund der geringen Probandenzahl in der Patientengruppe kann dieser Unterschied bisher nicht statistisch belegt werden, dennoch sprechen die Daten tendenziell für einen Unterschied und stehen in Einklang mit den von Ponton et al. (1993) beschriebenen Ergebnissen hinsichtlich einer aufgrund der elektrischen Stimulation durch das Implantat in der Hörschnecke geringen Ausprägungen der evozierten akustischen Potentiale.

Innerhalb der Kontrollgruppe kommt es zu einem Unterschied in der Ausprägung der N100 zwischen den verschiedenen Bedingungen, das bedeutet, dass diese geringer ausgeprägt ist für die Wörter mit phonologischer Ähnlichkeit zum erwarteten Wort. Möglicherweise ist dieser Effekt auf die unterschiedlichen Stimuluseigenschaften der Wörter in den verschiedenen Bedingungen zurückzuführen und durch eine Digitalisierung der Wörter zu unterschiedlichen Zeitpunkten zu erklären. Genauer kam es zu einer unterschiedlichen Anfangslatenz von

etwa 40 ms für das Einsetzen des akustischen Sprachsignals in den Wörtern. Subjektiv war in den Wörtern kein Unterschied zu hören, dennoch scheinen die physikalischen Unterschiede zu einer Variation der N100 geführt zu haben (vgl. Picton & Hillyard, 1974; Picton, Woods & Proulx, 1978). Der Fehler in den Stimuli wurde bemerkt, noch bevor die Datenerhebung mit CI-Patienten begann, so dass die Daten hier bereinigt präsentiert wurden und ein ähnlicher N100-Effekt wie in der Kontrollgruppe nicht beobachtet werden konnte.

Die Integration eines Wortes in den laufenden Satzkontext wird im ereigniskorrelierten Potential repräsentiert als eine Negativierung ab 400 ms nach Beginn des akustischen Wortes. Die N400 wurde erstmals von Kutas & Hillyard (1980) beschrieben und für die akustische Modalität von McCallum, Farmer & Pockock (1984). Die Wahrnehmung eines akustischen Wortes, das semantisch nicht zum vorangehenden Kontext passt, löst bei Patienten mit implantierten Cochleaelektroden eine Negativierung in den ereigniskorrelierten Potentialen ab 400 ms aus. Im Vergleich zu gesunden Kontrollprobanden ist diese N400 scheinbar stärker ausgeprägt und hält insgesamt länger an. Unter der Annahme, dass die Stärke der Amplitude der N400 die Schwierigkeit der Integration eines Wortes in den laufenden Kontext repräsentiert (Kutas & Hillyard, 1984, van den Brink, Brown, & Hagoort 2001), können die Beobachtungen dahingehend interpretiert werden, dass eine stärkere N400 bei den CI-Patienten einen intensiveren Integrationsprozess des semantisch abweichenden Wortes in den Kontext und demnach eine verstärkte kognitive Korrektur darstellt. Bei der Betrachtung der semantisch abweichenden Bedingung fällt auf, dass sich die Aktivierungen für die Wörter mit phonologischer Ähnlichkeit von denen ohne phonologische Ähnlichkeit zum erwarteten Wort unterscheiden. Dieser Unterschied ist in der Form nur bei den CI-Patienten beobachtbar. Es scheint also, dass der phonologisch ähnliche Klang Informationen dazu liefert, das richtige Wort zu verstehen. Bei einem phonologisch abweichenden Wort können weder semantische noch phonologische Informationen zur Verständlichkeit des akustischen Signals beitragen, was sich in einer erhöhten Fehlerzahl in dieser Bedingung ablesen lässt.

Im Vergleich der N400 zwischen beiden Versuchsgruppen zeigt sich, dass die N400 bei den CI-Patienten stärker ausgeprägt ist als bei den Kontrollprobanden. Dies widerspricht eingangs angenommener Hypothese, dass die N400 bei CI-Patienten geringer ausgeprägt sein wird als bei den Kontrollprobanden. Aufgrund der geringen Probandenanzahl in der CI-Gruppe konnte eine statistische Absicherung für diese Beobachtung noch nicht erfolgen.

Eine genaue Betrachtung der Negativierung bei der Kontrollgruppe zeigt, dass die N400 für die phonologisch ähnlich klingenden Wörter insgesamt länger als für die phonologisch und semantisch abweichenden Wörter anhält. Demnach scheint es hier eher zu einem länger anhaltenden Integrationsprozess zu kommen. Dieser Unterschied in den Amplituden zwischen 600 – 800 ms ist aber statistisch nicht signifikant, es zeigt sich lediglich eine signifikante In-

teraktion, deren Auflösung einen signifikanten Effekt an den Elektroden P3 und P4 ergab¹⁷. Die unterschiedliche Ausprägung der N400 in diesem späten Zeitfenster kann bedeuten, dass der Integrationsprozess eines Wortes in den semantischen Inhalt des fortlaufenden Kontextes bei phonologisch inkongruenten Wörtern eher abgeschlossen ist. Das Wort wird erkannt, obwohl es nicht zum vorhergehenden Satz passt. Bei dem phonologisch ähnlich klingenden Wort werden Wörter im mentalen Lexikon aktiviert, die eher denen des erwarteten Wortes entsprechen und deren Integration vorbereitet wird. Im Laufe der Verarbeitung und mit zusätzlichen sensorischen Informationen wird erkannt, dass es sich um ein anderes als das angenommene Wort handelt und dieses semantisch nicht zum vorhergehenden Satz passt. Aus diesem Grunde dauert der Integrationsprozess länger an und drückt sich in einer länger andauernden N400 aus.

Zusammengefasst konnte gezeigt werden, dass semantisch zum Satzinhalt abweichende Endwörter bei Patienten mit beeinträchtigtem Hörvermögen ähnliche ereigniskorrelierte Potentiale auslösen wie bei Normalhörenden. Zusätzlich konnte eine differenzierte Ausprägung der klassischen N400 in den einzelnen experimentellen Bedingungen ermittelt werden. Es wurde bei CI-Patienten beobachtet, dass die N400 sich in Abhängigkeit von der semantischen Passung und dem Grad der Ähnlichkeit der bottom-up Informationen zum erwarteten Wort verhält. Weitere Informationen über die Funktionsweise der kognitiven Korrektur während der Satzverarbeitung und genauere Aussagen über die Unterschiede in der Ausprägung und der Latenz der N400 würde eine Untersuchung mit einer größeren Anzahl an CI-Patienten liefern.

¹⁷Die tendenziell signifikante Unterschiedlichkeit könnte mit einer größeren Anzahl an Versuchspersonen deutlicher werden.

4. Abschließende Diskussion und Zusammenfassung

In der vorliegenden Promotionsschrift sollte der Frage nachgegangen werden, wie die Sprachwahrnehmung durch vorhandenes Wissen und Konzepte beeinflusst werden kann und welche zeitlichen Parameter sich im Verarbeitungsprozess abbilden lassen. Dass es zu einer kognitiven Korrektur von Wahrnehmungsprozessen kommt, ist in zahlreichen Studien belegt worden (z.B. im Phonemergänzungseffekt nach Warren, 1970). Bisher ist jedoch unklar geblieben, ob sich eine kognitive Korrektur bei der Verarbeitung akustischer sprachlicher Signale auf frühen oder späten Ebenen des Verarbeitungsverlaufs widerspiegelt. Darüber hinaus sollte untersucht werden, wie das vorhandene Wissen genutzt wird, um herabgesetzte Wahrnehmungsbedingungen zu kompensieren, wie beispielsweise in einer verrauschten Umgebung oder bei Patienten mit verminderter Hörfähigkeit.

Folgenden Fragestellungen standen konkret im Vordergrund.

- Lässt sich eine kognitive Korrektur während des Hörens akustischer sprachlicher Signale nachweisen?
- Wann im Sprachverarbeitungsprozess setzt diese Korrektur ein?
- Kommt es zu einer kognitiven Korrektur akustischer Sprache bei Patienten mit implantierten Cochleaelektroden? Zeigen sich Unterschiede in der Verarbeitung im Vergleich zu Normalhörenden?
- Wie werden visuelle Informationen des Gesichtes genutzt, um verrauschte akustische Signale zu kompensieren? Welche Verarbeitungskomponenten lassen sich für diese audiovisuelle Integration abbilden?

Im ersten Experiment wurde gezeigt, dass eine kognitive Korrektur sogar schon beim Hören einzelner Wörter stattfindet. Eine grobe Verzerrung der zeitlichen Struktur führte zu einer minimal geringeren Verstehensrate. Bei zusätzlicher Präsentation semantischer Informationen über einen gesamten Satz nahm die Verstehensleistung für zeitlich invertierte Wörter zu (Experiment 2). Die Ermittlung ereigniskorrelierter Potentiale zeigte eine frühe negative Komponente (N100) und eine späte negative Komponenten (N400). Beide Komponenten wurden als Reflektion der top-down Korrektur angesehen. Post-hoc Untersuchungen mit optimiertem Material zeigten, dass die Effekte an der N100 aufgrund unterschiedlicher Stimuluseigenschaften hervorgerufen wurden (Experiment 3). Die Negativierung im späteren Verlauf konnte jedoch eindeutig auf die interne Korrektur akustischer Sprachsignale bezogen werden. Somit ist davon auszugehen, dass es zu einem top-down Einfluss während der Wahrnehmung akustischer Reize kommt und dieser sich auf späteren Ebenen im Verarbeitungsprozess widerspiegelt. Darüber hinaus konnte gezeigt werden, dass bei zunehmend schwieriger Integration von sensorischer Information und sprachlichen Kontext sich nicht nur die Amplitude, sondern auch der zeitliche Verlauf und die topografische Verteilung der N400 verändert. Dies wurde als Hinweis interpretiert, dass in diesem Stadium der Worterkennung eine lexikalische Selektion stattfindet. Aufgrund der visuellen Präsentation des Satzrumpfes und des akusti-

schen terminalen Wortes, konnte die reine akustische Verarbeitung dieses Wortes unabhängig von Aktivierungsüberlagerungen vorhergehender Informationen im zeitlichen Verlauf beobachtet werden. Durch eine Umkehr der Modalitäten, also der akustischen Darstellung des Satzes und eine visuelle des letzten Wortes, wurde die kognitive Korrektur bei visuellem Sprachmaterial überprüft (Experiment 4). Die Ergebnisse weisen darauf hin, dass auch hier eine top-down Kontrolle auf späteren Verarbeitungsebenen, reflektiert durch eine Amplitudenerhöhung der N400, stattfindet.

Im letzten Teil dieser Arbeit ist untersucht worden, wie das Wissen über Sprache und Laute genutzt wird, um herabgesetzte akustische Informationen nach einer Cochleaimplantation zu kompensieren. Es konnte beobachtet werden, dass CI-Patienten beim Verstehen akustischer Sprachreize deutlich von zusätzlichen Informationen wie semantischem Bezug oder Erwartungswahrscheinlichkeit profitieren (Experiment 6). Die kognitive Kontrolle spiegelte sich in der Ausprägung einer N400 wider, welche in ihrer Amplitudenstärke sukzessiv mit Abnahme der Übereinstimmung interner Erwartungen und sensorischer Informationen zunahm. Untersuchungen mit einer größeren Probandenanzahl sollen diese Ergebnisse weiter stützen.

Hinsichtlich der Frage, wie sprachliche Reize in einer natürlichen Kommunikationssituation bei zeitgleicher Darbietung eines sprechenden Gesichtes und akustischer Wörter verarbeitet werden, konnte in Experiment 5 dieser Arbeit gezeigt werden, dass bei geringer akustischer Qualität die visuellen Informationen wie Lippenbewegungen genutzt werden, um Sprachsignale zu verstehen. Die Verhaltensdaten zeigten, dass es zu einer dramatischen Reduktion der Verstehensrate bei CI-Patienten kommt, wenn die zum sprechenden Gesicht zugehörigen akustischen Sprachsignale verwechselt sind und beide Informationen inhaltlich nicht übereinstimmen. Da sich diese experimentellen Modulationen in der Verstehensleistung bei den Kontrollprobanden nicht ebenso vergleichbar verschlechterten, ist davon auszugehen, dass zeitgleiche visuelle und akustische Sprachsignale für CI-Patienten wesentlich für das Verstehen von Sprache sind. Diese krossmodale Integration kann als kognitive Korrektur während der Sprachverarbeitung verstanden werden. Die Auswertung der ereigniskorrelierten Potentiale ergab einen Unterschied in der Ausprägung der Komponenten vor allem an den okzipitalen Elektroden. Diese Ergebnisse wurden als Ausdruck einer kortikalen Reorganisation bei CI-Patienten nach Hördeprivation verstanden, wodurch es zu einer früh einsetzenden automatischen Integration gehörter Sprache und dazugehöriger Lippenbewegungen kommt. Ein Vergleich der audiovisuellen Verarbeitung bei prä- und postlingual Ertaubten sowie in kurzen und längeren zeitlichen Abständen nach Implantation der Elektroden würde Aufschluss über die zeitliche Dynamik dieses Reorganisationsprozesses liefern.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass es während der Sprachverarbeitung zu einer kognitiven Kontrolle kommt, welche sich in den späteren Verarbeitungsebenen (etwa ab 400 ms nach Beginn der Wortpräsentation) durch eine stärkere Negativierung abbilden lässt. Es konnte gezeigt werden, dass diese kognitive Kontrolle einen dynamischen Prozess darstellt, da sie sich in Abhängigkeit von zur Verfügung stehenden Ressourcen zeitlich und

räumlich unterschiedlich darstellt. Je weniger kontextuelle Informationen wie Erwartungswahrscheinlichkeit und semantische Passung vorhanden sind, um sensorisch herabgesetzte Wahrnehmungsqualitäten (etwa durch Zerstörung des zeitlichen Ablaufs oder eines zusätzlichen Rauschens) zu kompensieren, umso länger dauert der Prozess an und zeigt sich im EKP in einer später und stärker ausgeprägten Negativierung. Zusätzlich konnte gezeigt werden, dass sich die Ausprägung und der zeitliche Verlauf der kognitiven Korrektur sensorischer Informationen dahingehend unterscheidet, ob die top-down Informationen auf Erwartungswahrscheinlichkeiten bezüglich eines Wortes oder auf dem semantischen Bezug des Wortes basieren. Im letzteren Fall kommt es zu einem früher ausgeprägten Korrekturprozess. Ob diese Unterschiede tatsächlich verschiedene Verarbeitungsstrategien mit unterschiedlichen zugrundeliegenden neuronalen Generatoren repräsentieren, ist bisher noch unklar und sollte in weiterführenden Untersuchungen mit bildgebenden Verfahren näher beleuchtet werden. Die Methode der ereigniskorrelierten Potentiale spielte in der vorliegenden Arbeit eine entscheidende Rolle, da hier vor allem die kognitive Korrektur im zeitlichen Verlauf der Informationsverarbeitung untersucht werden sollte. Da diese Methode keine genaueren Abbildungen der räumlichen Lokalisation von kognitiven Prozessen liefern kann, bleibt offen, welche neuronalen Strukturen an den Spracherarbeitungsprozessen beteiligt sind. Eine Kombination ereigniskorrelierter Potentiale mit bildgebenden Verfahren, wie beispielsweise die funktionelle Kernspintomographie oder das Magnetenzephalogramm (MEG) könnten Hinweise auf die genauen zeitlichen und räumlichen Ablaufprozesse sprachlicher Integration und kognitiver Korrekturmechanismen liefern.

Bislang noch wenig betrachtet wurde der interindividuelle Unterschied der top-down Korrektur und die Entstehungsbedingungen konzeptuellen Wissens über Sprache und Laute. In diesem Zusammenhang wäre es denkbar, die kognitive Korrektur im Zuge der Sprachentwicklung näher zu beleuchten. Beispielsweise wäre hier auch ein Vergleich zwischen Dyslektikern und gesunden Kindern interessant. Es ist festgestellt worden, dass eine genaue Einhaltung der zeitlichen Struktur akustischer Sprachstimuli maßgeblich für die uneingeschränkte Entwicklung der Sprachverarbeitung ist (z.B. Tallal et al., 1999). Inwiefern eine kognitive Kontrolle bei diesen Patienten für die Sprachentwicklung und das Sprachverstehen hilfreich sein kann, ist bisher noch unklar.

Abschließend bleibt festzuhalten, dass das Wissen über Sprachlaute die Wahrnehmung in zweierlei Hinsicht beeinflusst. Einerseits dient es der Erleichterung und Unterstützung der sensorischen Informationen bei herabgesetzten Wahrnehmungsqualitäten. Auf der anderen Seite beeinflusst es die Wahrnehmung sensorischer Informationen dahin gehend, dass eine bestimmte Erwartungshaltung zur Wahrnehmung eines falschen Wortes oder sogar eines nicht real dargebotenen Lautes führen kann.

Die Sprachverarbeitung ist ein hoch komplexer kognitiver Prozess, der in der vorliegenden Arbeit nur teilweise betrachtet werden konnte und weitere mögliche Einflussfaktoren auf eine kognitive Korrektur, wie beispielsweise prosodische und syntaktische Informationen ungeachtet blieben. Die in der Literatur vorhandenen Theorien zur Sprachverarbeitung konn-

ten die hier gewonnenen Erkenntnisse nur teilweise abbilden. Weiterführende Studien sind notwendig, um die Modellvorstellungen hinsichtlich der Sprachverarbeitung weiter zu entwickeln.

5. Literaturverzeichnis

- Agelfors E. et al. (1998). Synthetic faces as a lipreading support. In Proc of ICSLP'98, Sydney, Australia.
- Alain, C., Woods, D. L., & Covarrubias, D. (1997). Activation of duration-sensitive auditory cortical fields in humans. *Electroencephalogr.Clin.Neurophysiol.*, 104, 531-539.
- Alexander, M.P., Hiltbrunner, B. & Fischer, R.S. (1989). Distributed anatomy of transcortical sensory aphasia. *Arch Neurol*: 46; 885 – 92.
- Allison, T. et al. (1994). Face recognition in human extrastriate cortex. *J Neurophysiol*; 71: 821 – 5.
- Armstrong, B.A., Neville, H.J., Hillyard, S.A. & Mitchell, T.V. (2002). Auditory deprivation affects processing of motion, but not color. *Cognitive Brain Research*, 14: 422-34.
- Baayen, R.H., Piepenbrock, R. & van Rijn, H. (1993). The CELEX Lexical Database (CD-ROM). Philadelphia, PA: Linguistic Data Consortium, University of Pennsylvania.
- Baumgartner W.D. (2000). Clinical Utilization of magnetic resonance imaging for patients with cochlear implants *Wien Klin Wochenschr* 2;112: 512-4.
- Bavelier, D. and Neville, H.J. (2002) Cross-modal plasticity: where and how? *Nat. Rev. Neurosci.* 3(6):443-452.
- Békésy, G. von (1960): Experiments in hearing. New York: McGraw-Hill.
- Bentin, S., McCarthy, G., & Wood, C. C. (1985). Event-related potentials, lexical decision and semantic priming. *Electroencephalogr.Clin.Neurophysiol.*, 60, 343-355.
- Berger, H. (1929). Über das Elektroenzephalogramm der Menschen. *Archiv für Psychiatrie und Nervenkrankheiten*; 87: 527-36.
- Bertelson, P., Vroomen, J., Wiegendaal, G., & de Gelder, B. (1994). Exploring the relation between McGurk interference and ventriloquism. In ICSLP 94 (Vol. 2, pp. 559–562). Yokohama: Acoustical Society of Japan.
- Besle, J., Fort, A., Delpuech, C. & Giard, M.H. (2004). Bimodal speech : early suppressive visual effects in human auditory cortex. *European Journal of Neurosciences*, 20: 2225 – 34.
- Birbaumer, N. & Schmidt, R.F. (1996). Das Elektroenzephalogramm (EEG). In: N.Birbaumer & Schmidt, R.F. (Hrsg.) *Biologische Psychologie* (3. Ed., pp. 487-499.
- Blamey, P.J., et al. (1996). Cochlear factors affecting auditory performance of postlingually deaf adults cochlear implants. *Audiology and Neuro-Otology*. 1 293-306.
- Bloom PA, Fischler I (1980): Completion norms for 329 sentence contexts. *Mem Cog* 8:631–642.

- Bregman, A.S. (1990). Auditory scene analysis. Cambridge: MIT Press.
- Broca, P. (1861). Remarques sur le siège de la faculté du langage articulé, suivies d'une observation D'aphemie (perte de la parole). *Bull Soc Anat Paris*, 6(2) ; 330-357.
- Brown, C. M., Hagoort, P., & Chwilla, D. J. (2000). An event-related brain potential analysis of visual word priming effects. *Brain Lang*, 72, 158-190.
- Callan, D.E., Callan, A.M., Kross, C. & Vatikiotis-Bateson, E. (2001). Multimodal contribution of speech perception revealed by independent component analysis: A single-sweep EEG case study. *Cognitive Brain Research*, 10 (3); 349-53.
- Calvert, G.A., Brammer, M.J., & Iverson, S.D. (1998). Crossmodal identification. *Trends in cognitive sciences*, 2(7), 247-53.
- Calvert, G.A., Campbell, R. & Brammer, M.J. (2000). Evidence from functional magnetic resonance imaging of crossmodal binding in the human heteromodal cortex. *Current Biology*, 10, 649-57.
- Calvert, G.A., et al., (1997). Activation of Auditory Cortex during silent lipreading. *Science*, 276; 593-96.
- Carpenter, G.A. & Grossberg, S. & Rosen, D. B. (1991). Fuzzy ART: Fast stable learning and categorization of analog patterns by an adaptive resonance system. *Neural Networks*, 4: 759-771
- Chion, M. (1994). *Audio-Vision: Sound on Screen*, New York: CUP
- Chouard, CH and MacLeod, P (1976). "Implication of multiple intracochlear electrodes for rehabilitation of total deafness: Preliminary report," *Laryngoscope* 86: 1743-1751.
- Chwilla, D. J., Brown, C. M., & Hagoort, P. (1995). The N400 as a function of the level of processing. *Psychophysiology*, 32, 274-285.
- Cohen, N.L. (1997). Cochlear Implant soft surgery: fact or fantasy? *Otolaryngol-Head-Neck-Surg.* 117(3 Pt1): 214 - 216.
- Coles, M.G.H., & Rugg, M.D. (1996). Event-related brain potentials: an introduction. In: M.D. Rugg & M.G.H. Coles (Eds.) *Electrophysiology of mind: Event-related brain potentials and cognition* (pp. 1-26). Oxford: Oxford University Press.
- Colin, C., Radeau, M., Soquet, A., Dachy, B., & Deltenre, P. (2002). Electrophysiology of spatial scene analysis: the mismatch negativity (MMN) is sensitive to the ventriloquism illusion. *Clin.Neurophysiol.*, 113, 507-518.
- Collins, A.M. & Loftus, E.F. (1975). A spreading-activation theory of semantic processing. *Psychol. Rev.* 82, 407-28.
- Connolly, J. F. & Phillips, N. A. (1994). Event-Related Potential Components Reflect Phonological and Semantic Processing of the Terminal Word of Spoken Sentences. *J.Cogn Neurosci.*, 6, 256-266.

- Connolly, J. F., Phillips, N. A., & Forbes, K. A. (1995). The effects of phonological and semantic features of sentence-ending words on visual event-related brain potentials. *Electroencephalogr.Clin.Neurophysiol.*, 94, 276-287.
- Cowan, N., Leavitt, L. A., Massaro, D. W., & Kent, R. D. (1982). A fluent backward talker. *J.Speech Hear.Res.*, 25, 48-53.
- Cunningham, J., Nicol, T., Zecker, S. G., Bradlow, A., & Kraus, N. (2001). Neurobiologic responses to speech in noise in children with learning problems: deficits and strategies for improvement. *Clin.Neurophysiol.*, 112, 758-767.
- Cutler, A. & Norris, D. (1979). Monitoring sentence comprehension. In W. E. Cooper & E. C. T. Walker (Eds). *Sentence processing: Psycholinguistic studies presented to Merrill Garrett* (pp. 113-134). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Cutler, A. (1986). Forbear is a homophone: Lexical prosody does not constrain lexical access. *Language and Speech*, 29, 201-220
- Cutler, A., Mehler, J., Norris, D., & Segui, J. (1987). Phoneme Identification and the Lexicon. *Cognitive Psychology*, 19, 141-177.
- de Gelder, B., & Vroomen, J. (2000). Perceiving emotions by ear and by eye. *Cognition & Emotion* 14 , 289–311.
- Dijourno, A. & Eyries, C. (1957). Prothèse auditive par excitation électrique du nerf sensoriel à l'aide d'un bobinage inclus à demeure. *Presse Med*; 35: 14–7
- Dodd, B. (1977). The role of the vision in the perception of speech. *Perception*, 6, 31-40.
- Donchin, E., Ritter, W. & McCallum, W.C. (1978). Cognitive Psychophysiology: the endogenous components of the ERP. In: E., Callaway, P. Tueting & S.H. Koslow (Eds.). *Event-related brain potentials in man.* (pp. 150 – 189). New York: Academic Press.
- Driver, J. & Spence, C. (1998). Attention and the crossmodal construction of the space. *Trends Cogn Sci*, 2: 170 – 187.
- Duhamel, J.R., Colby, C.L. & Goldberg, M.E. (1991). Brain and space. In: Paillard, J. (Eds.) *Oxford University Press*, New York (pp. 223 – 236.)
- Eimas, P.D., & Corbit, J.D. (Restle, 1973). Selective adaption of linguistic feature detectors. *Cognitive Psychology*, 4, 99-109.
- Eimer, M. (1998). Does the face-specific N170 component reflect the activity of a specialized eye processor? *Neuroreport*, 9: 2945 – 8.
- Eimer, M. (2000). The face-specific N170 component reflects late stages in the structural encoding of faces. *NeuroReport*, p11, pp2319-2324.
- Falchier, A., Clavagnier, S., Barone, P. & Kennedy, H. (2002). Anatomical evidence of multimodal integration in primate striate cortex, *J Neurosci*, 22: 5749 – 59.

- Fiez, J.A., 1997. Phonology, semantics, and the role of the left inferior prefrontal cortex. *Hum. Brain Mapping* 5, 79-83.
- Fingelkurts, An.A., Fingelkurts, Al.A., Krause, C.M., Mööttönen, R., Sams, M. (2003). Cortical operational synchrony during audio-visual speech integration. *Brain and Language*, 85, 297-312.
- Firszt, J. B., Chambers And RD, & Kraus, N. (2002). Neurophysiology of cochlear implant users II: comparison among speech perception, dynamic range, and physiological measures. *Ear Hear.*, 23, 516-531.
- Fixmer, E. & Hawkins, S. (1998). The influence of quality of information on the McGurk effect. Online: URL: <http://kiri.ling.cam.ac.uk/sarah/docs/fixmer-hawkins-AVSP98>.
- Fletcher P.C. et al. (1995). Other minds in the brain: a functional imaging study of 'theory of mind' in story comprehension. *Cognition*; 57: 109–28.
- Förster, K.J. (1976). Accessing the mental lexicon. In R.J. Wales & E. Walker (Eds.), *New approaches to language mechanisms* (pp. 465-495). Amsterdam: North Holland.
- Foss, D.J. & Gernsbacher, M.A. (1983). Cracking the dual code: Toward a unitary model of phoneme identification. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 22, 609–632.
- Foxe, J.J. & Simpson, G, (2002), Flow of activation from V1 to frontal cortex in humans. A framework for defining “early” visual processing. *Exp Brain Res* 142:139–150
- Friederici, A. D. (1997). Neurophysiological aspects of language processing. *Clin.Neurosci.*, 4, 64-72.
- Frith, C. D. & Friston, K. J. (1996). The role of the thalamus in "top down" modulation of attention to sound. *Neuroimage.*, 4, 210-215.
- Fu, Q. J., Galvin, J. J., III, & Wang, X. (2001). Recognition of time-distorted sentences by normal-hearing and cochlear-implant listeners. *J.Acoust.Soc.Am.*, 109, 379-384.
- Ganong, W.F. 3rd.(1980). Phonetic categorization in auditory word perception. *J Exp Psychol Hum Percept Perform.* Feb;6(1):110-25.
- Gantz B.J. (1989). Issues of Candidate Selection for a Cochlear Implant. *Otolaryngol Clin North Am* 1989;22:239-47.
- Gantz, B. J., Tyler, R. S., Woodworth, G. G., Tye-Murray, N., & Fryauf-Bertschy, H. (1994). Results of multichannel cochlear implants in congenital and acquired prelingual deafness in children: Five year followup. *The American Journal of Otology*, 15 (Suppl. 2), 1–7.
- Garnsey, S.M. (1993). Event-related brain potentials in the study of language: an introduction. *Language and Cognitive Processes*, 4, 93-126.
- Gazzaniga, M.S., Ivry, R.B., Mangun, G.R.(1998). *Cognitive Neuroscience: the biology of the mind*. New York: Norton & Company, Inc.

- Geier L., Barker, M., Fisher, L., Opie, J. (1999). The effect of long-term deafness on speech recognition in postlingually deafened adult Clarion cochlear implant users. *Ann Otol Rhinol Laryngol Suppl*, 177, 80-83.
- Giard, M.H. & Peronnet, F. (1999). Auditory-visual integration during multimodal object recognition in humans: a behavioral and electrophysiological study. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 11, 473-490.
- Giraud AL, Truy E, Frackowiak RSJ, Grégoire MC, Pujol JF, Collet L (2000): Differential recruitment of the speech comprehension system in healthy subjects and rehabilitated cochlear implant patients. *Brain*; 123:1391–1402.
- Goldmann, J.P., Frauenfelder, U.H. & Content, A. (1998). Information flow in TRACE: Recognising words from mismatch sensory input.
- Goldstein, E.B. (1997). *Wahrnehmungspsychologie*. Heidelberg: Spektrum
- Grant, K.W. & Seitz, P.F. (2000). The use of visible speech cues for improving auditory detection of spoken sentences. *J Acoust Soc Am*, 108: 1197 – 1208.
- Green, K.P.(1998). The use of auditory and visual information during phonetic processing: implication for theories of speech perception. In: R. Campbell, B. Dodd, D. Burnham (Hrsg.): *Hearing by Eye II: Advances in the Psychology of Speechreading and auditory-visual speech* (S.3-25). Psychology Press Ltd., East Sussex, UK.
- Groenen, P. A., Makhdoum, M., van den Brink, J. L., Stollman, M. H., Snik, A. F., & van den, B. P. (1996). The relation between electric auditory brain stem and cognitive responses and speech perception in cochlear implant users. *Acta Otolaryngol.*, 116, 785-790.
- Grossberg, S. (1986). The adaptive self-organization of serial order in behaviour: Speech, language and motor control. In: E.C. Schwab & H.C. Nusbaum (Eds.). *Pattern recognition by humans and machines*, Vol. 1: speech perception (pp. 187 – 294). New York: Academic Press.
- Hagoort, P. & Brown, C. M. (1999). Gender electrified: ERP evidence on the syntactic nature of gender processing. *J.Psycholinguist.Res.*, 28, 715-728.
- Hagoort, P. & Brown, C. M. (2000). ERP effects of listening to speech: semantic ERP effects. *Neuropsychologia*, 38, 1518-1530.
- Hansen, J. C. & Hillyard, S. A. (1983). Selective attention to multidimensional auditory stimuli. *J.Exp.Psychol.Hum.Percept.Perform.*, 9, 1-19.
- Hansen, J. C., Dickstein, P. W., Berka, C., & Hillyard, S. A. (1983). Event-related potentials during selective attention to speech sounds. *Biol.Psychol.*, 16, 211-224.
- Heinze, H.J. & Münte, T.F. (1991). *Neurale Mechanismen kognitiver Prozesse: der elektro-physiologische Ansatz*. Z für Elektrophysiologie;
- Helfer, K.S. (1997). Auditory and auditory-visual perception of clear and conversational speech. *Journal of Speech, Lanuage and Hearing Research*, 40, 432-443.

- Helms J., et al. (1997). Evaluation of performance with the COMBI40 cochlear implant in adults: a multicentric clinical study. *ORL J Otorhinolaryngol Relat Spec.* Jan-Feb;59(1):23-35.
- Hillyard, S. A., Hink, R. F., Schwent, V. L., & Picton, T. W. (Restle, 1973). Electrical signs of selective attention in the human brain. *Science*, 182, 177-180.
- Hines, T. (1999). A demonstration of auditory top-down processing. *Behav.Res.Methods Instrum.Comput.*, 31, 55-56.
- Hodges, J.R. & Patterson, K. (1997). Semantic memory disorders. *Trends Cogn Sci*; 1: 68 – 72.
- Holcomb, P. J. (1993). Semantic priming and stimulus degradation: implications for the role of the N400 in language processing. *Psychophysiology*, 30, 47-61.
- Holcomb, P.J. & Neville, H.J. (1990). Auditory and visual semantic priming in lexical decision: a comparison using event-related brain potentials. *Language and Cognitive Processes*, 5, 281 – 312.
- Huynh, H. and Feldt, L.A. (1980). Conditions under which mean square ratios in repeated measure designs have exact F-distributions. *Journal of the American Statistical Association*, 65: 1582-1589.
- Iverson, P., Bernstein, L.E. & Auer, E.T., Jr. (1998). Modeling the interaction of phonemic intelligibility and the lexical structure in audiovisual word recognition. *Speech Communication*, 26, 45-63.
- Jaspers, H.H. (Miller, 1958). The ten-twenty electrode system of the International Federation. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 10, 371-375.
- Jusczyk, P. W., A. Friderici, J. M. Wessels, V. Y. Svenkerud, and A. M. Jusczyk (1993). Infants' sensitivity to the sound patterns of native language words. *Journal of Memory and Language* 32, 402–420
- Kegel, G. (1990): Sprach- und Zeitverarbeitung bei sprachauffälligen und sprachunauffälligen Kindern. In: G. Kegel et al. (Hrsg.): *Sprechwissenschaft & Psycholinguistik* 4. Opladen
- King, J.V. & Kutas, M. (1998). Neural plasticity in the dynamics of human word recognition. *Neuroscience Letters*, 244, 61 – 64.
- Koelsch, S., Kasper, E., Sammler, D., Schulze, K., Gunter, T., & Friederici, A. D. (2004). Music, language and meaning: brain signatures of semantic processing. *Nat.Neurosci.*, 7, 302-307.
- Koffka, K. (1922). Perception: and introduction to the Gestalt-theorie. *Psychological Bulletin*, 19, 531-585.
- Kraus, N., McGee, T., Carrell, T., Sharma, A., Micco, A., & Nicol, T. (1993). Speech-evoked cortical potentials in children. *J.Am.Acad.Audiol.*, 4, 238-248.

- Kutas, M. & Federmeier, K. D. (2000). Electrophysiology reveals semantic memory use in language comprehension. *Trends Cogn Sci.*, 4, 463-470.
- Kutas, M. & Hillyard, S. A. (1980). Reading senseless sentences: brain potentials reflect semantic incongruity. *Science*, 207, 203-205.
- Kutas, M. & Hillyard, S. A. (1983). Event-related brain potentials to grammatical errors and semantic anomalies. *Mem.Cognit.*, 11, 539-550.
- Kutas, M. & Hillyard, S. A. (1984). Brain potentials during reading reflect word expectancy and semantic association. *Nature*, 307, 161-163.
- Kutas, M. & Van Petten, C. (1990). Electrophysiological perspectives on comprehending written language. *Electroencephalogr.Clin.Neurophysiol.Suppl*, 41, 155-167.
- Kutas, M. & Van Petten, C. (1994). Psycholinguistics electrified: event-related brain potential investigations. In: M.A. Gernsbacher (Hrsg.): *Handbook of Psycholinguistics* (S. 83-143). New York, Academic Press.
- Kutas, M. (1987). Event-related brain potentials (ERPs) elicited during rapid serial visual presentation of congruous and incongruous sentences. *Electroencephalogr.Clin.Neurophysiol.Suppl*, 40, 406-411.
- Kutas, M. (1998). Current thinking on language structures. *Current Psychology of Cognition*; 17 (45): 951 – 965.
- Kutas, M., Neville, H.J. & Holcomb P.J. (1987). A preliminary comparison of the N400 response to semantic anomalies during reading, listening, and signing. In: *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology Supplement 39, The London symposia*, (pp 325-330), Ellingson RJ, Murray NMF and Halliday AM, eds. Amsterdam: Elsevier.
- Kutas, M., Van Petten, C., & Besson, M. (1988). Event-related potential asymmetries during the reading of sentences. *Electroencephalogr.Clin.Neurophysiol.*, 69, 218-233.
- Lahiri A, Marslen-Wilson W. The mental representation of lexical form: a phonological approach to the recognition lexicon. *Cognition*. 1991 Mar;38(3):245-94.
- Lauer, N.(1999): *Zentral-auditive Verarbeitungsstörungen im Kindesalter. Grundlagen-Klinik-Diagnostik-Therapie*. Thieme, Stuttgart 1999
- LePage, M., Habib, R. & Tulving, E. (1998). Hippocampal PET activation of memory encoding in cochlear implantees. *J Acoust Soc Am*: 102, 482 – 5.
- Leppanen, P. H. & Lyytinen, H. (1997). Auditory event-related potentials in the study of developmental language-related disorders. *Audiol.Neurotol.*, 2, 308-340.
- Levelt, W.J.M. (1989). *Speaking: From Intention to Articulation*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Libermann, A.M., Cooper, F.S., Shankweiler, D.P., & Studdert-Kennedy, M. (1967). Perception of the speech code. *Psychological Review*, 74, 431-61.

- Liegeois-Chauvel, C., de Graaf, J. B., Laguitton, V., & Chauvel, P. (1999). Specialization of left auditory cortex for speech perception in man depends on temporal coding. *Cereb.Cortex*, 9, 484-49.
- Lindblom, B. (1996). Role of articulation in speech perception: clues from production. *Journal of the Acoustical Society of America* 99(3), 1683-92.
- Lisker, L. and A. S. Abramson (1967) The voicing dimension: some experiments in comparative phonetics. *Proceedings of the Sixth International Congress of Phonetic Sciences, Prague, 1967*. Reprinted in Miller et al. (1991).
- Lonka, E. et al., (2004). Mismatch Negativity Brain Response as an Index of Speech Perception Recovery in Cochlear- Implant Recipients. *Audiology & Neurootol*; 9:160-162.
- Macaluso E., Gorge, N., Dolan, R., Spence, C. and Driver, J. (2004). Spatial and temporal factors during processing of audiovisual speech: a PET study. *Neuroimage*, 21 (2): 725-732
- MacLeod, A. & Summerfield, Q. (1987). Quantifying the contribution of vision to perception in noise. *British Journal of Audiology*, 21, 131 -141.
- MacLeod, A. & Summerfield, Q. (1990). A procedure for measuring auditory and audiovisual speech-reception threshold for sentences in noise: rationale, evaluation, and recommendations for use. *British Journal of Audiology*, 24(1). 29 – 43.
- Marslen-Wilson W. & Tyler L.K. (1975). Processing structure of sentence perception. *Nature*; 30;257(5529):784-6.
- Marslen-Wilson W.D. (1987). Functional parallelism in spoken word-recognition. *Cognition*; 25(1-2):71-102.
- Marslen-Wilson, W.D., & Tyler, L.K. (1980).The temporal structure of spoken language understanding. *Cognition*, 8, 1-71.
- Martin, B. A., Kurtzberg, D., & Stapells, D. R. (1999). The effects of decreased audibility produced by high-pass noise masking on N1 and the mismatch negativity to speech sounds /ba/ and /da. *J.Speech Lang Hear.Res.*, 42, 271-286.
- Martin, B. A., Sigal, A., Kurtzberg, D., & Stapells, D. R. (1997). The effects of decreased audibility produced by high-pass noise masking on cortical event-related potentials to speech sounds /ba/ and /da. *J.Acoust.Soc.Am.*, 101, 1585-1599.
- Massaro, D. W. (1987). *Speech perception by ear and eye: A paradigm for psychological inquiry*. Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale, NJ.
- Massaro, D. W. (1989). Testing between the TRACE model and the fuzzy logical model of speech perception. *Cognit.Psychol.*, 21, 398-421.
- Massaro, D. W. (1999). Speechreading: Illusion or window into pattern recognition. *Trends in Cognitive Sciences*, 3, 310-317

- Massaro, D.W. & Cohen, M.M. (1983). Phonological constraints in speech perception. *Perception & Psychophysics*, 34, 338 – 348.
- Massaro, D.W. (1994). Bimodal speech perception across the lifespan. In: D.J. Lewkowicz & R. Lickliter (Eds.): *The development of intersensory perception: comparative perspectives*. (pp. 371 – 399). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- McCallum, W. C., Curry, S. H., Cooper, R., Pocock, P. V., & Papakostopoulos, D. (1983). Brain event-related potentials as indicators of early selective processes in auditory target localization. *Psychophysiology*, 20, 1-17.
- McCallum, W. C., Farmer, S. F., & Pocock, P. V. (1984). The effects of physical and semantic incongruities on auditory event-related potentials. *Electroencephalogr.Clin.Neurophysiol.*, 59, 477-488.
- McClelland, J. L. & Elman, J. L. (1986). The TRACE model of speech perception. *Cognit.Psychol.*, 18, 1-86.
- McGrath, M., Summerfield, A.Q., & Brooke, N.M. (1984) Roles of lips and teeth in lipreading vowels. *Proceedings of the Institute of Acoustics (Autumn Meeting, Windermere)*, 6(4), 401-408.
- McGurk, H. & MacDonald, J. (1976). Hearing lips and seeing voices. *Nature*, 264, 746 – 748.
- Merzenich, M.M., Jenkins, W., Johnston, P.S., Schreiner, C., Miller, S.L. and Tallal, P., Temporal processing deficits of language-learning impaired children ameliorated by training, *Science*, 5 (1996) 271 (5245) 77-81.
- Mesulam, M.M. (1998). From Sensation to Cognition. *Brain*. 121, 1013-52.
- Miyamoto, R.J. (1996). Cochlear reimplantation. 3rd European symposium on pediatric cochlear implantation. Abstract 66, Hannover.
- Molholm, S., Ritter, W., Murray, M.M., Javitt, D.C., Schrieder, C.E. & Foxe, J.J. (2002). Multisensory auditory-visual interactions during early sensory processing in humans: a high-density electrical mapping study. *Cognitive Brain Research*, 14(1), 115 – 128.
- Morton, J. (1979). Word recognition. In: J.Morton & J.C: Marshall (Eds.). *Psycholinguistics 2: Structures and processes* (pp. 107-156). Cambridge, MA: MIT Press.
- Möttönen, R., Krause, C.M., Tiippana, K. & Sams, M. (2002). Processing of changes in visual speech in the human auditory cortex. *Cognitive Brain Research*, 13 (417 – 425).
- Munhall, K.G., & Vatikiotis-Bateson, E. (1998). The moving face during speech communication. In: Campbell, B.Dodd & D. Burnham (Eds.). *Hearing by eye II, The psychology of speech reading and audiovisual speech* (pp. 123 – 139). London: Taylor & Francis, Psychology Press.
- Münte, T. F., Heinze, H. J., & Prevedel, H. (1990). [Event-related brain potentials reflect semantic and syntactic errors during language processing]. *EEG.EMG.Z.Elektroenzephalogr.Elektromyogr.Verwandte.Geb.*, 21, 75-81.

- Münte, T. F., Urbach, T. P., Düzel, E., & Kutas, M. (2000). Event-related brainpotentials in the study of human cognition and neuropsychology. In F.Boller, J. Grafman, & G. Rizalotti (Eds.), *Handbook of Neuropsychology* (2 ed., pp. 139-235). Elsevier Science.
- Näätänen, R. (1990). The role of attention in auditory information processing as revealed by event-related potentials and other brain measures of cognitive function. *Behavioral and Brain Sciences*, 13, 201 – 288.
- Näätänen, R. (1992). *Attention and Brain Function*. Hillsdale, N.J: Erlbaum.
- Näätänen, R. (1995). The mismatch negativity: a powerful tool for cognitive neuroscience. *Ear Hear.*, 16, 6-18.
- Näätänen, R. (1999). Phoneme representations of the human brain as reflected by event-related potentials. *Electroencephalogr.Clin.Neurophysiol.Suppl*, 49, 170-173.
- Näätänen, R., & Picton, T. W. (1987). The N1 wave of the human electric and magnetic response to sound: A review and an analysis of the component structure. *Psychophysiology*, 24, 375-425.
- Naito Y et al., (1997): Sound-induced activation of auditory cortices in cochlear implant users with post and prelingual deafness demonstrated by positron emission tomography. *Acta Otolaryngol* 117:490–496.
- Neely, J. H. (1991). Semantic priming effects in visual word recognition: A selective review of current findings and theories. In D. Besner, & G. W. Humphreys (Eds.), *Basic processes in reading* (pp. 264–336). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Neville, H.J. (1995). Developmental Specificity in Neurocognitive Development in Humans. In M. Gazzaniga (ed.) , *The Cognitive Neurosciences*. MIT Press, Cambridge, MA, 219-231.
- Noble, W. (2000). Self-reports about tinnitus and about cochlear implants. *Ear & Hearing*, 21, 50S-59S.
- Norris, D., McQueen, J. M., & Cutler, A. (2000). Merging information in speech recognition: feedback is never necessary. *Behav.Brain Sci.*, 23, 299-325.
- Ohala, J. J. (1986). Phonological evidence for top-down processing in speech perception. In Perkell, J. & Klatt, D. (eds.), *Invariance and Variability in Speech Processes*, 386±397. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Okazawa H. et al. (1996). Cochlear implant efficiency in pre- and postlingually deaf subjects: A study with H2(15)O and PET. *Brain* 1996;119:1297–1306.
- Osberger, M.J. "Current Issues in Cochlear Implants in Children." (1997). *The Hearing Review*, pp. 28-31.
- 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, 786-803.

- Ostroff, J. M., Martin, B. A., & Boothroyd, A. (1998). Cortical evoked response to acoustic change within a syllable. *Ear Hear.*, 19, 290-297.
- Pantev, C., Bertrand, O., Eulitz, C., Verkindt, C., Hampson, S., Schuierer, G. et al. (1995). Specific tonotopic organizations of different areas of the human auditory cortex revealed by simultaneous magnetic and electric recordings. *Electroencephalogr.Clin.Neurophysiol.*, 94, 26-40.
- Petersen, S.E., Fox, P.T., Posner, M.I., Mintun, M. & Raichle, M.E. (1989). Positron emission tomography studies of the studies of the processing of single words. *J Cogn Neurosci*;1: 153 – 70.
- Peterson, A, Shipp, D., Staller, S., & Whitford, L. (1996). Factors affecting auditory performance of postlinguistically deaf adults using cochlear implants. *Audiology and Neuro-Otology*, 1, 293–306.
- Pichora-Fuller, M. K., Schneider, B. A., & Daneman, M. (1995). How young and old adults listen to and remember speech in noise. *J.Acoust.Soc.Am.*, 97, 593-608.
- Picton, T. W. & Hillyard, S. A. (1974). Human auditory evoked potentials. II. Effects of attention. *Electroencephalogr.Clin.Neurophysiol.*, 36, 191-199.
- Picton, T. W., Alain, C., Otten, L., Ritter, W., & Achim, A. (2000). Mismatch negativity: different water in the same river. *Audiol.Neurootol.*, 5, 111-139.
- Picton, T. W., Woods, D. L., & Proulx, G. B. (1978). Human auditory sustained potentials. II. Stimulus relationships. *Electroencephalogr.Clin.Neurophysiol.*, 45, 198-210.
- Pisoni D.B. & Luce P.A. (1987).Acoustic-phonetic representations in word recognition. *Cognition.Mar*;25(1-2):21-52.
- Pisoni, D. B. (2000). Cognitive factors and cochlear implants: Some thoughts on perception, learning, and memory in speech perception. *Ear & Hearing*, 21, 70 - 78.
- Ponton, C. W. & Don, M. (1995). The mismatch negativity in cochlear implant users. *Ear Hear.*, 16, 131-146.
- Ponton, C. W., Eggermont, J. J., Don, M., Waring, M. D., Kwong, B., Cunningham, J. et al. (2000). Maturation of the mismatch negativity: effects of profound deafness and cochlear implant use. *Audiol.Neurootol.*, 5, 167-185.
- Ponton, C.W., Auer, E.T., & Bernstein, L.E. (2002). Neurocognitive basis for audiovisual speech perception: evidence from event-related potentials. *Proceedings of the 7th International Congress of Spoken Language Processing*. Denver, CO, S. 1697 – 1700.
- Ponton, C.W., Don, M., Waring, M.D., Eggermont, J.J., Masuda, A. (1993): Spatio-temporal source modeling of evoked potentials to acoustic and cochlear implant stimulation. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 88:478–493.
- Pöppel, E.: Temporal mechanisms in perception. *International Review of Neurobiology* 37 (1994) 185-202

- Posner, M.I. & Snyder, C.R.R. (1974). Attention and cognitive control. In R.L. Solso (eds.) Information processing and cognition: The Loyola Symposium. Potomac, MD: Erlbaum.
- Pourtois, G., de Gelder, B., Vroomen, J., Rossion, B., & Crommelinck, M. (2000). The time-course of intermodal binding between seeing and hearing affective information. *Neuroreport*, 11, 1329-1333.
- Praamstra, P. & Stegeman, D. F. (1993). Phonological effects on the auditory N400 event-related brain potential. *Brain Res.Cogn Brain Res.*, 1, 73-86.
- Praamstra, P., Meyer, A.S. & Levelt, W.J.M. (1994). Neurophysiological manifestations of phonological processing: Latency variation of a negative ERp component time-locked to phonological mismatch. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 6, 204 – 219.
- Price, C.J. & Giraud, A.-L. (1998). The constraints functional anatomy places on cognitive models of auditory word processing, *Neuroimage*; 7 (4 Pt. 2): S168.
- Price, C.J., Moore, C.J., Humphreys, G.W. & Wise, R.J.S. (1997). Segregating semantic from phonological processing during reading. *J Cogn Neurosci*; 9: 727–33.
- Protopapas, A. (1999). Connectionist modeling of speech perception. *Psychol Bull.*, 125, 410 – 436.
- Puce, A., Allison, T., & McCarthy, G. (1999). Electrophysiological studies of human face perception. III: Effects of top-down processing on face-specific potentials. *Cereb.Cortex*, 9, 445-458.
- Radeau, M., Besson, M., Fonteneau, E., & Castro, S. L. (1998). Semantic, repetition and rime priming between spoken words: behavioral and electrophysiological evidence. *Biol.Psychol.*, 48, 183-204.
- Raij, T., Uutela, K., Hari, R. (2000). Audiovisual integration of letters in the human brain. *Neuron* 28:617-625.
- Rauschecker, J.P. & Korte, M. (1993). Auditory compensation for early blindness in cat cerebral cortex. *J Neurosci*; 13: 4538 – 48.
- Rawbinson, G. (1976). The significance of letter position in word recognition. Unpublished dissertation, University of Nottingham, Great Britain
- Reisberg, D., McLean, J. & Goldfield, A. (1987). Easy to hear but hard to understand: A lip-reading advantage with intact auditory stimuli. In: R. Campbell & B. Dodd (Eds.). *Hearing by eye: The psychology of lipreading* (pp. 97 – 114). Hillsdale, N.J.: Lawrence Erlbaum Associations.
- Repp, B. H. (1992). Perceptual restoration of a "missing" speech sound: auditory induction or illusion? *Percept.Psychophys.*, 51, 14-32.
- Ritter, W., Deacon, D., Gomes, H., Javitt, D. C., & Vaughan, H. G., Jr. (1995). The mismatch negativity of event-related potentials as a probe of transient auditory memory: a review. *Ear Hear.*, 16, 52-67.

- Rodriguez-Fornells, A., Rotte, M., Heinze, H. J., Nosselt, T., & Munte, T. F. (2002). Brain potential and functional MRI evidence for how to handle two languages with one brain. *Nature*, 415, 1026-1029.
- Rosenblum, L. D. & Saldana, H. M. (1992). Discrimination tests of visually influenced syllables. *Percept.Psychophys.*, 52, 461-473.
- Rosenblum, L.D. & Saldaña, H.M. (1998). Time-varying information for visual speech perception. In R. Campbell, B. Dodd & D. Burnham (Eds.) (1998). *Hearing by Eye II: Advances in the Psychology of Speechreading and Auditory-visual Speech*. Psychology Press Ltd., East Sussex, UK, 61-81.
- Rösler, F. (1980). Event-related positivity and cognitive processes. In: M. Koukkou, D. Lehmann, & J. Angst (Eds.), *Functional States of the Brain: Their Determinants* (pp. 203-224). Amsterdam: Elsevier.
- Rubin, P., Turvey, M. T., & Van Gelder, P. (1976). Initial phonemes are detected faster in spoken words than in spoken nonwords. *Perception & Psychophysics*, 19, 394-398.
- Rubinstein, J.T., Wilson, B.S., Finley, C.C. et al., (1999). Pseudospontaneous activity: stochastic independence of auditory nerve fibers with electrical stimulation. *Hear. Res.* 127, 108-118.
- Rugg, M. D. (1990). Event-related brain potentials dissociate repetition effects of high- and low-frequency words. *Mem.Cognit.*, 18, 367-379.
- Rumelhardt, D.E. & Ortony, A. (1977). The representation of knowledge in memory. In R.Anderson, R.Spiro & W. Montague (Eds.), *Schooling and the acquisition of knowledge* (pp. 99-135). Hillsdale, N.J: Erlbaum.
- Saberi, K. & Perrott, D. R. (1999). Cognitive restoration of reversed speech. *Nature*, 398, 760.
- Sams, M., Aulanko, R., Hämäläinen, M., Hari, R., Lounasmaa, O. V., Lu, S.-T., & Simola, J. (1991). Seeing speech: visual information from lip movements modifies activity in the human auditory cortex. *Neuroscience Letters*, 127, 141-145.
- Samuel, A. G. & Ressler, W. H. (1986). Attention within auditory word perception: insights from the phonemic restoration illusion. *J.Exp.Psychol.Hum.Percept.Perform.*, 12, 70-79.
- Samuel, A. G. (1981). Phonemic restoration: insights from a new methodology. *J.Exp.Psychol.Gen.*, 110, 474-494.
- Samuel, A. G. (1991). A further examination of attentional effects in the phonemic restoration illusion. *Q.J.Exp.Psychol.A*, 43, 679-699.
- Samuel, A. G. (1997). Lexical activation produces potent phonemic percepts. *Cognit.Psychol.*, 32, 97-127.
- Samuel, A. G. (2001). Knowing a word affects the fundamental perception of the sounds within it. *Psychol.Sci.*, 12, 348-351.

- Savin, H. B. (1963). Word frequency effects and errors in the perception of speech. *Journal of the Acoustical Society of America*, 35, 200-206.
- Schröger, E. (1997). On the detection of auditory deviations: A pre-attentive activation model. *Psychophysiology* 34: 245–257.
- Shepherd, D. C. (1982). Visual-neural correlate of speechreading ability in normal-hearing adults. *Journal of Speech and Hearing Research*, 25: 521 – 527.
- Shtyrov, Y., Kujala, T., Ahveninen, J., Tervaniemi, M., Alku, P., Ilmoniemi, R. J. et al. (1998). Background acoustic noise and the hemispheric lateralization of speech processing in the human brain: magnetic mismatch negativity study. *Neurosci.Lett.*, 251, 141-144.
- Shulman, G. L., Corbetta, M., Buckner, R. L., Raichle, M. E., Fiez, J. A., Miezin, F. M. et al. (1997). Top-down modulation of early sensory cortex. *Cereb.Cortex*, 7, 193-206.
- Smeele, P. M. T. (1996). Psychology of Human Speechreading. In D. G. Stork & M. E. Hennecke (Eds.), *Speechreading by Humans and Machines: Models, Systems, and Applications*, Springer-Verlag, New York, 3-15.
- Stein, B.E., Meredith, M.A. & Wallace, M.T. (1994). Development and neural basis of multisensory integration. In: D.C. Lewkowicz & R. Lickliter (Eds.). *The development of intersensory perception: comparative perspectives* (pp. 81 – 105). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Sumby, W.H. & Pollack, I. (1954). Visual contribution to speech intelligibility in noise. *J of Acoustical Society of America*, 26, 212 – 15.
- Summerfield, A.Q. (1992). Lipreading and audio-visual speech perception. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, 335 (1273). 71 – 78.
- Summerfield, Q. (1987). Some preliminaries to a comprehensive account of audio-visual speech perception. In: R.Campbell & B.Dodd (Eds.). *Hearing by eye: The psychology of lip-reading* (S. 3-52). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Swaab, T., Brown, C., & Hagoort, P. (2003). Understanding words in sentence contexts: the time course of ambiguity resolution. *Brain Lang*, 86, 326-343.
- Tallal, P., Miller, S., Fitch, R., (1993). Neurobiological basis of speech: a case for the pre-eminence of temporal processing, In: P. Tallal, A. Galaburga, R. Llinás, C. von Euler (eds.), *Temporal information processing in the nervous system*. New York: The New York Academy of Sciences (pp. 27-47).
- Taylor, W.L. (1953). 'Cloze procedure: a new tool for measuring readability'. *Journalism Quarterly*, 415-433.
- Teder-Sälejärvi, W. A., McDonald, J. J., Di Russo, F. & Hillyard, S. A. (2002). An analysis of audio-visual crossmodal integration by means of event-related potential (ERP) recordings. *Cognitive Brain Research*, 14(1), 106-114.

- Tyler, R. et al. (1997). Speech perception by prelingually deaf children and postlingually deaf adults with cochlear implant. *Scand.Audiol.Suppl*, 46, 65-71.
- Tyler, R.S. et al. (1997): Speech perception by prelingually deaf children using cochlear implants. *Otolaryngol Head NeckSurg*;117:180–187.
- Tyler, R.S., Conrad-Arnes, D. & Smith, P. (1984). Postmasking effects of sensorineural tinnitus: A preliminary investigation. *Journal of Speech and Hearing Research* 27:466-474, 1984.
- v. Steinbüchel, N., (1998). Temporal ranges of central nervous processing, *Experimental Brain Research* 123, 220-233.
- v. Steinbüchel, N., Wittmann, M. & de Langen, E. (1996). Zeitliche Informationsverarbeitung und Sprache - ein integraler Ansatz in der Aphasietherapie. *Verhaltensmodifikation und Verhaltensmedizin* 17 (4), 331-351.
- v. Steinbüchel, N., Wittmann, M., Pöppel, E.(1996). : Timing in perceptual and motor tasks after disturbances of the brain. In: M.A. Pastor, J. Artieda (Eds.): *Time, Internal Clocks and Movement*. Elsevier Science Publishers, Amsterdam
- Van Alphen, P. & McQueen, J.M. (2001). The time-limited influence of sentential context on function word identification. *Journal of Experimental Psychology, Human Perception and Performance*; 27 (5), 1057 – 1071.
- van Berkum, J. J., Brown, C. M., Hagoort, P., & Zwitserlood, P. (2003). Event-related brain potentials reflect discourse-referential ambiguity in spoken language comprehension. *Psychophysiology*, 40, 235-248.
- van Berkum, J. J., Hagoort, P., & Brown, C. M. (1999). Semantic integration in sentences and discourse: evidence from the N400. *J.Cogn Neurosci.*, 11, 657-671.
- van Berkum, J. J., Zwitserlood, P., Hagoort, P., & Brown, C. M. (2003). When and how do listeners relate a sentence to the wider discourse? Evidence from the N400 effect. *Brain Res.Cogn Brain Res.*, 17, 701-718.
- van den Brink, D., Brown, C. M., & Hagoort, P. (2001). Electrophysiological evidence for early contextual influences during spoken-word recognition: N200 versus N400 effects. *J.Cogn Neurosci.*, 13, 967-985.
- Van Petten, C. & Kutas, M. (1991). Influences of semantic and syntactic context on open- and closed-class words. *Mem.Cognit.*, 19, 95-112.
- Van Petten, C., Coulson, S., Rubin, S., Plante, E., & Parks, M. (1999). Time course of word identification and semantic integration in spoken language. *J.Exp.Psychol.Learn.Mem.Cogn*, 25, 394-417.
- Van Wassenhove, V., Grant, K.W. & Poeppel, D. (2003). Electrophysiology of auditory-visual speech integration. *Proceedings of the audio-visual speech Processing*, St Jorioz, France, 37 – 42.

- Vatikiotis-Bateson, E., Eigsti, I.-M., Yano, S. & Munhall, K.G. (1998). Eye movement of perceivers during audiovisual speech perception. *Perception & Psychophysics*, 60(6), 926-940
- Vaughan, H.G. & Arezzo, J.C. (1988). The neural basis of event-related potentials. In: T.W. Picton (Ed.) *Human-Event Related Potentials, EEG Handbook, Revised Series*, vol. 3, p. 45–96.. New York: Elsevier
- Warren, D.H. & Warren (1970). Auditory illusions. *Sci Am*, 223 (6): 30 – 36.
- Warren, R.M. (1970). Perceptual restoration of missing speech sounds. *Science*, 167, 392-393.
- Watkins, K.E., Strafella, A.P. & Paus, T. (2003) Seeing and hearing speech excites the motor system involved in speech production. *Neuropsychologia* 41: 989–994
- Wernicke, C. (1874). *Der apahsische Symptomenkomplex*. Cohn & Weigert, Breslau.
- Wertheimer, M. (1923). Untersuchungen zur Lehre von der Gestalt II. *Psychologische Forschung* 4, 302-350.
- Wiebe, S; Staubli, U. (2001). Recognition memory correlates of hippocampal theta cells. *J Neurosci* 21: 3955-67.
- Witte, H.; Zwiener, U.; Schack, B.; Doering, A. (2002). *Quantitative and Topological EEG and MEG Analysis*. Jena, Erlangen: Mayer.
- Woldorff, M. G. & Hillyard, S. A. (1991). Modulation of early auditory processing during selective listening to rapidly presented tones. *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol.*, 79, 170-191.
- Woldorff, M. G., Gallen, C. C., Hampson, S. A., Hillyard, S. A., Pantev, C., Sobel, D. et al. (1993). Modulation of early sensory processing in human auditory cortex during auditory selective attention. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.*, 90, 8722-8726.
- Young, J.P. et al. (1998). Assessment of auditory cortical function in cochlear implant patients. *Neuroimage*: 7 (4 Pt. 2). S384.

6. Anhang

Viersilbige deutsche Hauptwörter (Experiment 1)

<i>Abänderung</i>	<i>Apotheke</i>	<i>Barmherzigkeit</i>
<i>Abberufung</i>	<i>Apparatur</i>	<i>Barometer</i>
<i>Abendessen</i>	<i>Aquarium</i>	<i>Barrikade</i>
<i>Abenteuer</i>	<i>Arbeitgeber</i>	<i>Basilika</i>
<i>Aberglaube</i>	<i>Arbeitnehmer</i>	<i>Bauarbeiter</i>
<i>Abfertigung</i>	<i>Arbeitsablauf</i>	<i>Bauelement</i>
<i>Abgesandte</i>	<i>Arbeitsgericht</i>	<i>Baugewerbe</i>
<i>Abhängigkeit</i>	<i>Arbeitsgruppe</i>	<i>Baummaschine</i>
<i>Ablagerung</i>	<i>Arbeitslose</i>	<i>Bausparkasse</i>
<i>Ablieferung</i>	<i>Arbeitsmoral</i>	<i>Bausparvertrag</i>
<i>Abonnement</i>	<i>Arbeitsstätte</i>	<i>Beanspruchung</i>
<i>Abschlussprüfung</i>	<i>Arbeitsstellung</i>	<i>Beantwortung</i>
<i>Abstraktion</i>	<i>Arbeitsstunde</i>	<i>Bearbeitung</i>
<i>Absurdität</i>	<i>Arbeitsweise</i>	<i>Beauftragte</i>
<i>Abwanderung</i>	<i>Arbeitszimmer</i>	<i>Bedienstete</i>
<i>Abwesenheit</i>	<i>Architektur</i>	<i>Beerdigung</i>
<i>Aggression</i>	<i>Artgenosse</i>	<i>Befangenheit</i>
<i>Agitator</i>	<i>Arzneimittel</i>	<i>Befehlsgewalt</i>
<i>Akademie</i>	<i>Assistentin</i>	<i>Beförderung</i>
<i>Aktenzeichen</i>	<i>Assistenzarzt</i>	<i>Befriedigung</i>
<i>Aktienkurs</i>	<i>Astronomie</i>	<i>Befürworter</i>
<i>Aktivierung</i>	<i>Astrophysik</i>	<i>Begebenheit</i>
<i>Aktivität</i>	<i>Atempause</i>	<i>Begeisterung</i>
<i>Allgemeinheit</i>	<i>Atmosphäre</i>	<i>Begutachtung</i>
<i>Alltagssprache</i>	<i>Atombombe</i>	<i>Behinderung</i>
<i>Altersgrenze</i>	<i>Atomkraftwerk</i>	<i>Bekanntgabe</i>
<i>Ältestenrat</i>	<i>Atomphysik</i>	<i>Bekräftigung</i>
<i>Analogie</i>	<i>Attentäter</i>	<i>Beleidigung</i>
<i>Analyse</i>	<i>Attraktion</i>	<i>Belieferung</i>
<i>Anatomie</i>	<i>Attributsatz</i>	<i>Beobachtung</i>
<i>Anbaufläche</i>	<i>Aufbauarbeit</i>	<i>Bereicherung</i>
<i>Anekdote</i>	<i>Aufbewahrung</i>	<i>Bereinigung</i>
<i>Anerkennung</i>	<i>Aufenthaltsraum</i>	<i>Bergarbeiter</i>
<i>Anfertigung</i>	<i>Aufforderung</i>	<i>Beschaffenheit</i>
<i>Anforderung</i>	<i>Aufheiterung</i>	<i>Beschäftigung</i>
<i>Anführungsstrich</i>	<i>Aufmerksamkeit</i>	<i>Bescheinigung</i>
<i>Angelsachse</i>	<i>Aufmerksamkeit</i>	<i>Beschlagnahme</i>
<i>Angestellte</i>	<i>Augenbraue</i>	<i>Beschleunigung</i>
<i>Angewohnheit</i>	<i>Augenzeuge</i>	<i>Beschuldigung</i>
<i>Anklagebank</i>	<i>Ausarbeitung</i>	<i>Besonderheit</i>
<i>Anklageschrift</i>	<i>Ausdrucksweise</i>	<i>Besteuerung</i>
<i>Ankündigung</i>	<i>Auslieferung</i>	<i>Betätigung</i>
<i>Annehmlichkeit</i>	<i>Ausnahmefall</i>	<i>Beteiligung</i>
<i>Anschuldigung</i>	<i>Außenhandel</i>	<i>Beurteilung</i>
<i>Anteilnahme</i>	<i>Außenseiter</i>	<i>Bewältigung</i>
<i>Antifaschist</i>	<i>Außenstelle</i>	<i>Bewunderung</i>
<i>Antikörper</i>	<i>Außenstürmer</i>	<i>Bezugnahme</i>
<i>Antilope</i>	<i>Auswanderung</i>	<i>Bibliothek</i>
<i>Antiquität</i>	<i>Automatik</i>	<i>Biochemie</i>
<i>Antithese</i>	<i>Automobil</i>	<i>Biographie</i>
<i>Antragsteller</i>	<i>Autonomie</i>	<i>Biologie</i>
<i>Antrittsbesuch</i>	<i>Autorität</i>	<i>Bodenreform</i>
<i>Antrittsrede</i>	<i>Avantgarde</i>	<i>Bohnenkaffee</i>
<i>Anwesenheit</i>	<i>Badewanne</i>	<i>Bombardierung</i>
<i>Anzeigenteil</i>	<i>Badezimmer</i>	<i>Bombenangriff</i>
<i>Anziehungskraft</i>	<i>Bahnlinie</i>	<i>Brutalität</i>
<i>Apfelsine</i>	<i>Bankguthaben</i>	<i>Bundesanstalt</i>

Bürokratie	Erwiderung	Gelegenheit
Dekorateur	Expansion	Gelehrsamkeit
Demokratie	Experiment	Geltungsbereich
Diagnose	Explosion	Gemeinderat
Dieselmotor	Facharbeiter	Gemeinsamkeit
Diskretion	Fahrlässigkeit	Genauigkeit
Diskussion	Familie	Genehmigung
Diskuswerfen	Fanatiker	Generalstab
Dividende	Fanatismus	Generator
Division	Farbenlehre	Genossenschaft
Donnerwetter	Fehlentscheidung	Genugtuung
Doppelzimmer	Feierabend	Genussmittel
Durcheinander	Feierlichkeit	Geografie
Edelmetall	Fensterscheibe	Geologie
Egoismus	Ferienhaus	Geometrie
Ehegatte	Ferienheim	Gepäckträger
Eigentümer	Ferienort	Gepflogenheit
Einberufung	Fertigstellung	Gerechtigkeit
Einbeziehung	Fertigware	Germanistik
Eindeutigkeit	Filiale	Geschicklichkeit
Eindringlichkeit	Filmfestival	Geschlossenheit
Eingeständnis	Filmproduzent	Geschwindigkeit
Eingeweide	Fingernagel	Geschworene
Eingliederung	Fingerspitze	Geselligkeit
Einheimische	Flüchtlingslager	Gesetzentwurf
Einheitlichkeit	Flugzeugträger	Gesetzgebung
Einlieferung	Förderleistung	Gesichtsausdruck
Einmütigkeit	Formalität	Gesprächspartner
Einseitigkeit	Formulierung	Gesundheitsamt
Einsichtnahme	Forschungsarbeit	Gewährleistung
Einstimmigkeit	Forschungsbericht	Gewaltsamkeit
Einvernehmen	Forschungsstelle	Gewerkschaftler
Einverständnis	Fortentwicklung	Gewerkschaftsbund
Einwanderer	Fotoalbum	Glaubwürdigkeit
Einwilligung	Fotografie	Gleichgültigkeit
Elektriker	Fragebogen	Goldmedaille
Ellenbogen	Fragestellung	Grenzübergang
Emotion	Fragezeichen	Größenordnung
Empfindlichkeit	Fragwürdigkeit	Güterbahnhof
Endstation	Freilichtbühne	Güterwagen
Enthaltsamkeit	Freizügigkeit	Gymnasiast
Entschädigung	Frikadelle	Gymnasium
Entschiedenheit	Funktionär	Haaresbreite
Entschlossenheit	Fußballmannschaft	Halbfinale
Entschuldigung	Fußballspieler	Haltestelle
Entwässerung	Futtermittel	Hammerwerfen
Episode	Garderobe	Handelskammer
Erfordernis	Gastarbeiter	Handelsvertrag
Erinnerung	Gastronomie	Handgranate
Erkundigung	Gedankengang	Handlungsfreiheit
Erläuterung	Gefährlichkeit	Handlungsweise
Erledigung	Gefälligkeit	Handwerksbetrieb
Erleichterung	Gefangenschaft	Hauptdarsteller
Ermäßigung	Gegebenheit	Hauptverhandlung
Ermütigung	Gegenangriff	Hauptversammlung
Erneuerung	Gegenfrage	Hausbesitzer
Eroberung	Gegengewicht	Hausgemeinschaft
Erörterung	Gegenspieler	Haushälterin
Erschütterung	Gegenüber	Heiligenschein
Erstaufführung	Gegenvorschlag	Heiratsantrag
Erwachsene	Geheimhaltung	Herabsetzung
Erweiterung	Geldbriefträger	Herausbildung

<i>Herausgabe</i>	<i>Karikatur</i>	<i>Labilität</i>
<i>Herausgeber</i>	<i>Karteikarte</i>	<i>Lagerfeuer</i>
<i>Hexameter</i>	<i>Kastanie</i>	<i>Lagerstätte</i>
<i>Hilfeleistung</i>	<i>Katastrophe</i>	<i>Landarbeiter</i>
<i>Hilfsarbeiter</i>	<i>Kategorie</i>	<i>Landesgrenze</i>
<i>Hilfsbereitschaft</i>	<i>Kathedrale</i>	<i>Landesverrat</i>
<i>Himmelskörper</i>	<i>Kausalität</i>	<i>Landmaschine</i>
<i>Hinterlegung</i>	<i>Kellertreppe</i>	<i>Langeweile</i>
<i>Historie</i>	<i>Kernenergie</i>	<i>Langspielplatte</i>
<i>Historiker</i>	<i>Kilometer</i>	<i>Lastkraftwagen</i>
<i>Hochebene</i>	<i>Kindergarten</i>	<i>Lebensabend</i>
<i>Hochkonjunktur</i>	<i>Kinderkrankheit</i>	<i>Lebensalter</i>
<i>Hochzeitsreise</i>	<i>Kinderwagen</i>	<i>Lebensdauer</i>
<i>Höhenlage</i>	<i>Kirchensteuer</i>	<i>Lebensfrage</i>
<i>Hosentasche</i>	<i>Kläranlage</i>	<i>Lebensfreude</i>
<i>Hosenträger</i>	<i>Klassenlehrer</i>	<i>Lebensgefühl</i>
<i>Hotelzimmer</i>	<i>Klassenzimmer</i>	<i>Lebenshaltung</i>
<i>Humanismus</i>	<i>Koexistenz</i>	<i>Lebenslage</i>
<i>Humanität</i>	<i>Kohlensäure</i>	<i>Lebensmittel</i>
<i>Hygiene</i>	<i>Kokosfaser</i>	<i>Lebensstandard</i>
<i>Hypothese</i>	<i>Kollegium</i>	<i>Lebenswandel</i>
<i>Identität</i>	<i>Kollektion</i>	<i>Lebensweise</i>
<i>Illusion</i>	<i>Kollision</i>	<i>Lebewesen</i>
<i>Illustrierte</i>	<i>Kommandantur</i>	<i>Legalität</i>
<i>Imperativ</i>	<i>Kommentator</i>	<i>Leichtathletik</i>
<i>Industriezweig</i>	<i>Kommission</i>	<i>Leichtindustrie</i>
<i>Infanterie</i>	<i>Kommunique</i>	<i>Leitartikel</i>
<i>Infektion</i>	<i>Kommunismus</i>	<i>Liebeskummer</i>
<i>Inflation</i>	<i>Komödie</i>	<i>Lieferwagen</i>
<i>Infrastruktur</i>	<i>Komponente</i>	<i>Limonade</i>
<i>Ingenieur</i>	<i>Konditorei</i>	<i>Limousine</i>
<i>Inhaftierung</i>	<i>Konfektion</i>	<i>Linguistik</i>
<i>Injektion</i>	<i>Konfession</i>	<i>Liquidierung</i>
<i>Inkrafttreten</i>	<i>Konstruktion</i>	<i>Literatur</i>
<i>Innenleben</i>	<i>Kontroverse</i>	<i>Lohnerhöhung</i>
<i>Innenseite</i>	<i>Körpergewicht</i>	<i>Lohnforderung</i>
<i>Inspektion</i>	<i>Körperkultur</i>	<i>Luftwiderstand</i>
<i>Instandhaltung</i>	<i>Korrespondent</i>	<i>Malaria</i>
<i>Instandsetzung</i>	<i>Korruption</i>	<i>Manteltasche</i>
<i>Instruktion</i>	<i>Krankenanstalt</i>	<i>Margarine</i>
<i>Inszenierung</i>	<i>Krankenkasse</i>	<i>Marmelade</i>
<i>Intelligenz</i>	<i>Krankenpfleger</i>	<i>Maschinenbau</i>
<i>Intensität</i>	<i>Krankenschwester</i>	<i>Maßlosigkeit</i>
<i>Interesse</i>	<i>Krankswagen</i>	<i>Material</i>
<i>Interessent</i>	<i>Krankenzimmer</i>	<i>Materie</i>
<i>Intimität</i>	<i>Kreditanstalt</i>	<i>Mathematik</i>
<i>Invalide</i>	<i>Kreditnehmer</i>	<i>Mechanismus</i>
<i>Invasion</i>	<i>Kreislaufstörung</i>	<i>Medikament</i>
<i>Irreführung</i>	<i>Kriegserklärung</i>	<i>Mediziner</i>
<i>Jahresbeginn</i>	<i>Kriegsverbrecher</i>	<i>Meeresboden</i>
<i>Journalistin</i>	<i>Kriminalfilm</i>	<i>Mehrbelastung</i>
<i>Jubiläum</i>	<i>Kriterium</i>	<i>Mehrwertsteuer</i>
<i>Jugendliche</i>	<i>Kugellager</i>	<i>Meinungsbildung</i>
<i>Jungeselle</i>	<i>Kugelschreiber</i>	<i>Meistertitel</i>
<i>Kachelofen</i>	<i>Kugelstoßen</i>	<i>Melancholie</i>
<i>Kalenderjahr</i>	<i>Kühlanlage</i>	<i>Menschenkenntnis</i>
<i>Kameradschaft</i>	<i>Kündigungsfrist</i>	<i>Menschenmenge</i>
<i>Kammermusik</i>	<i>Kunstaustellung</i>	<i>Menschenwürde</i>
<i>Kandidatur</i>	<i>Kunstgeschichte</i>	<i>Mentalität</i>
<i>Kapazität</i>	<i>Kunstgewerbe</i>	<i>Menschenalter</i>
<i>Kapitalmarkt</i>	<i>Kuriosum</i>	<i>Messinstrument</i>
<i>Karabiner</i>	<i>Kurssteigerung</i>	<i>Metaphysik</i>

Meteorit
Metropole
Mieterhöhung
Militärdienst
Millimeter
Minorität
Missbehagen
Missverständnis
Mitarbeiter
Mitbestimmung
Mitinhaber
Mitleidenschaft
Mitreisende
Mitspracherecht

Mittagsessen
Mittagspause
Mittagsstunde
Mittelalter
Mitteldeutschland
Mittelgewicht
Mittelmeerraum
Mittelschule
Mobiliar
Moderator
Monatsgehalt
Monduntergang
Morgengrauen
Morgensstunde

Musterbeispiel
Muttersprache
Nachrichtendienst
Nachschlagewerk
Nächstenliebe
Nachtportier
Nähmaschine
Nahrungsmittel
Naturgesetz
Nervensystem
Neubauwohnung
Neuentwicklung

Sätze mit hoher Erwartungswahrscheinlichkeit, in Klammern sind die inkongruenten Endwörter angegeben.

Zum Abschied lagen sie sich lange in den Armen (Bäumen).
Der Angeklagte wurde zu drei Jahren Haft verurteilt (ausverkauft).
Die Bankräuber flüchteten vor der Polizei (Infektion).
Der Barkeeper mixte den Damen zwei interessante Cocktails (Sänger).
Robert bekam in der Arbeit eine schlechte Note (Aussicht).
Jochen bekleckerte zum Mittagessen sein neues Hemd (Tal).
Richard belog sogar seinen besten Freund (Wald).
Am besten, Du putzt jeden Morgen Deine Zähne (Kerzen).
Die Bilder in der Galerie wirken sehr gut in Bilderrahmen (Philosophie).
Der Brief gehört in ein anderes Postfach (Leben).
Jonas buchte in dem Hotel ein ruhiges kleines Zimmer (Konto).
Die Burg stammt aus dem Mittelalter (Thermometer).
Für das Bild des Malers braucht sie noch einen schönen alten Bilderrahmen (Meeresboden).
Auf dem Computer schreibt man mit Hilfe der Tastatur (Schauspieler).
Nach dem Essen brachte der Kellner die Rechnung (Sonne).
Vor dem Besuch beim Arzt litt er unter starken Schmerzen (Tieren).
An den Feiertagen trifft sich die ganze Familie (Maschine).
In den Bergen braucht man unbedingt warme Kleidung (Tränen).
In den Bergen gibt es schnell ein Unwetter (Argument).
Als der Strom ausfiel, war das ganze Haus dunkel (pleite).
An der Kreuzung darf man nicht links abbiegen (heiraten).
Auf der Autobahn kam es wieder häufig zu Unfällen (Tränen).
In der ersten Klasse lernen die Kinder lesen und schreiben (füttern).
Nach der Bergtour kehrten sie zurück ins Tal (Pferd).
Nach der Zugabe im Theater fiel der Vorhang (Beinbruch).
Neben der Pest gab es noch andere Krankheiten im Mittelalter (Thermometer).
Vor der ersten Skiabfahrt grüssten sie sich alle mit den Worten: Hals und Beinbruch (Ende).
Vor der Geburt des ersten Kindes wollen sie gern noch standesamtlich heiraten (abbiegen).
Während der Safari in Afrika begegneten sie vielen wilden Tieren (Schmerzen).
Wegen des leckeren Kuchens brach er seinen strengen Diätplan (Spaziergang).
Für die Schneewanderung braucht man unbedingt hohe Stiefel (Kerzen).
In England geht man nie ohne Schirm (Bett).
Bevor er Präsident war, arbeitete Ronald Reagan als Schauspieler (Tastatur).
Nachdem er aufgestanden war, genoss er sein Frühstück (Messer).
Eine Erkältung wird meist verursacht durch Viren oder Bakterien (Disketten).
Der Fahrlehrer warnte den Schüler: Fahr nicht bei Rot über die Ampel (Tafel).
Die Feuerwehr konnte den Brand löschen (verkaufen).
Der Forscher freute sich über die zündende Idee (Lohnsteuer).
Ein Fragesatz endet mit einem Fragezeichen (Elektriker).
Sie fragte ihn: wie lange soll ich noch warten, ich schlage schon Wurzeln (Gruppen).
Die Freundin sagte: Du kannst mich anrufen, auch mitten in der Nacht (Wand).
Rauchen gefährdet die Gesundheit (Gesellschaft).
Die Gefangenen planten seit Wochen ihre geheime Flucht (Melodie).

Luise hat Angst vor großen Seen, denn sie kann nicht schwimmen (sehen).
 Monika hat sich so sehr geschnitten, man sah sogar schon den Knochen (Urlaub).
 Herbert hatte kein Geld mehr auf seinem Konto (Frühstück).
 Im Herbst fallen viele Blätter von den Bäumen (Armen).
 Der hungrige Bär stieß seine Nase in den süßen Honig (Spielplatz).
 Er interessierte sich für Sokrates und studierte deshalb Philosophie (Zahlenfolgen).
 Doro ist größer als die meisten Mädchen in ihrem Alter (Anwalt).
 Man kann die Temperatur messen mit einem Thermometer (Abenteurer).
 Der Kanzler hielt eine interessante Rede (Ampel).
 Die Kinder fütterten die Enten mit altem Brot (Clown).
 Die Kinder lernen das Essen mit Messer und Gabel (Brille).
 Das Kleid stand ihr sehr gut, vor allem die Farbe bewirkte ein gutes Aussehen (Telefon).
 Tino konnte nicht sehr gut lesen ohne seine Brille (Rede).
 Wir konnten das Restaurant nicht besuchen, es war geschlossene Gesellschaft (Gesundheit).
 Das Konzert war ein voller Erfolg (Elektriker).
 Die Kostüme waren sehr hübsch, vor allem, weil sie sie alle selbst nähten (legten).
 Die kranke Frau verbrachte den ganzen Tag im Bett (Freund).
 Das Krokodil vergoss große dicke Tränen (Stiefel).
 Martha las den Text noch einmal und fand viele Fehler (Wurzeln).
 Es leben viele interessante Tiere im Meer, vor allem auf dem Meeresboden (Bilderrahmen).
 Millionäre leben gern in Saus und Braus (Mensch).
 Der Lehrer berichtete die Fehler (Vorfahrt).
 Der Lehrer schrieb das Thema des Aufsatzes an die Tafel (Gabel).
 Die Lehrerin sagte dem Schüler: Stell dich in die Ecke (Tasse).
 Anne liest gern und kauft sich viele Bücher (Ameisen).
 Der Mathematiker berechnete die Zahlenfolgen (Philosophie).
 Die Meteorologen verkündeten den kältesten Winter des Jahres (Adjektivs).
 Die Miete muss man jeden Monat pünktlich überweisen (renovieren).
 Lisa mochte im Zirkus am liebsten den Clown (Schirm).
 Die Mutter konnte die Tür nicht öffnen, sie hatte keine Schlüssel (Knochen).
 Die Pflegerin konnte kaum deutsch, sie sprach mit Tränen (Stiefel).
 Der Pianist spielte immer auf seinem eigenen Klavier (Urlaub).
 Der Popstar erfreute sich großer Beliebtheit (Polizei).
 Die Prinzessin war sehr eitel und betrachtete sich lange im Spiegel (Fehler).
 Der Roman nahm ein gutes Ende (Zimmer).
 Die Rose ist sehr schön, leider hat sie aber sehr spitze Dornen (Puppen).
 Gestern sahen die Mädchen einen Film im Kino (Alter).
 Sie saß hinter einem sehr großen Mann und konnte kaum etwas sehen (schwimmen).
 Frau Schmitt lässt im Park den Hund an der Leine (Pause).
 Der Schneemann schmolz in der Sonne (Vorfahrt).
 Das schöne Wetter genoss das Paar bei einem Spaziergang (Diätplan).
 Auf seinen Reisen nach Amerika erlebte er viele Abenteuer (Mittelalter).
 Als sie Schüsse hörten, liefen sie um ihr Leben (Abendmahl).
 Im Sommer fahren viele Leute in den Urlaub (Knochen).
 Am späten Vormittag klingelte plötzlich das Telefon (Aussehen).
 Je später der Abend um so schöner die Gäste
 Ines speicherte ihr Daten auf zwei Disketten (Bakterien).
 Jungen spielen Fußball, Mädchen mit Puppen (Zucker).
 Die Stromleitungen reparierte der Elektriker (Orangensaft).
 Der Student lernte sehr lange für seine Prüfungen (Nachtigall).
 Die Studenten langweilten sich während der Vorlesung (Beliebtheit).
 Ein Substantiv wird näher bestimmt durch die Benutzung eines Adjektivs (Jahrhunderts).
 Die Tante erkrankte an einer gefährlichen Infektion (Vorlesung).
 Die Teilnehmer gliederten sich in drei Gruppen (Spiegel).
 Die Tickets für das Konzert waren leider schon ausverkauft verurteilt.
 Ich trinke meinen Kaffee mit Milch und Zucker (Stiefel).
 Vom Turm aus hat man eine gute Aussicht (Note).
 Ohne Uhr bin ich kein Mensch (Hemd).
 Rita und Margot hatten zueinander ein gutes Verhältnis (Kaninchen).
 Der Unfall wurde von dem Mann verursacht, er nahm der Frau die Vorfahrt (Sonne).
 Der Vater teilte den Braten mit einem elektrischen Messer (Kino).
 Julia vergaß, die Tiere zu füttern (löschen).

Rotkäppchen verliebte sich im Wald (Brot).
 Zur Verteidigung vor Gericht nahm er sich einen guten Anwalt (Vorhang).
 Nina verzierte den Geburtstagskuchen mit 23 Kerzen (Dornen).
 Ein Virus infizierte den Computer und zerstörte wichtige Dateien (Unfälle).
 Die Vögel bauten ein Nest, in das sie ihre Eier legten (nähten).
 Die Wahrsagerin ermittelt aus den Geburtsdaten die Horoskope (Fragezeichen).
 Kristin war beeindruckt von der Stimme des Sängers (Cocktails).
 Susanne war froh, dass Zahltag war, denn sie war pleite (dunkel).
 Maria wäre schon hier gewesen, sie erreichte nicht rechtzeitig die Bahn (Nacht).
 Die wilden Tiere im Zoo leben in Käfigen (Prüfungen).
 Peter wollte das Bild endlich aufhängen und schlug den Nagel in die Wand (Flucht).
 New York ist eine sehr geschäftige Metropole (Familie).
 Mike's Zähne waren sehr schlecht, sie gaben ihm ein hässliches Aussehen (Telefon).
 Der Zauberer zog aus seinem Hut ein weißes Kaninchen (Verhältnis).
 Im Zoo steht häufig das Schild: Bitte nicht füttern! (löschen).
 Nach zwei Stunden harter Arbeit entschieden sie sich zu einer kurzen Pause (Leine).

Sätze mit geringer Erwartungswahrscheinlichkeit, in Klammern sind die inkongruenten Endwörter angegeben.

Der alte Mann hatte schon lange Schmerzen vom Beinbruch (Vorhang).
 Der Angestellte war sehr unsicher im Umgang mit Gesellschaft (Gesundheit).
 Die Arbeit verlief ohne Pause (Leine).
 Der Arzt verordnete einen Diätplan (Spielplatz).
 Im August werden sie heiraten (abbiegen).
 Das Auto hatte tatsächlich doch Vorfahrt (Cocktails).
 Das Auto verursachte einen Unfall, es lag am Spiegel (Honig).
 Die Bahn fährt in Richtung Tal (Pferd).
 Der Bauer erntete dieses Jahr viele Wurzeln (Gruppen).
 Die Beamten bearbeiteten die Unfälle (Kaninchen).
 Rainer bedankte sich bei dem Elektriker (Meeresboden).
 Zu Beginn der Arbeit bemerkte sie das Fehlen einer Tastatur (Melodie).
 Zur Begrüßung erhielten wir zunächst einen Schlüssel (Erfolg).
 Ich benötige für den Urlaub noch ein Hemd (Bett).
 Jochen beschäftigt sich am liebsten mit Zahlenfolgen (Orangensaft).
 Ellen bestand auf ihr Frühstück (Kino).
 Der Bruder bewies viel von seinem Erfolg (Zucker).
 Die bunten Illustrierten tratschen viel über Sänger (Spiegel).
 Auf dem Weg nach Hause begegnete Ihnen plötzlich ein Mensch (Brot).
 In den Ferien arbeitet er als Clown (Hemd).
 In der Besprechung entscheiden sie über die Rechnung (Sonne).
 In der Mitte des Raumes gab es eine lange Tafel (Gabel).
 In der Physiklausur ging es um Thermometer (Abenteuer).
 Nach der Arbeit möchte ich gern noch schwimmen (füttern).
 Das Ehepaar hatte einen hohen Anspruch an Gesundheit (Gesellschaft).
 Am Ende der Diskussion fehlte ihm ein schlagfertiges Argument (Unwetter).
 Gerda entwickelt in der Firma die Kleidung (Gäste).
 Klaus erhielt zur Belohnung eine Note (Aussicht).
 Das Essen ist leider ausverkauft (verurteilt).
 Das Essen ist ungenießbar ohne Zähne (Bücher).
 Die Familie verbrachte den Abend mit einem Gespräch über ihr Verhältnis (Jahrhundert).
 Die Fee verzauberte ein Leben (Postfach).
 Die Firma am Rande der Stadt ist bekannt für die Herstellung von Käfigen (Prüfungen).
 Die Freunde trafen sich an der Ecke (Kleidung).
 Die Freundin arbeitet in einer Bahn (Flucht).
 Die Freundin sagte: Lass uns doch mal wieder im Café sehen (schwimmen).
 Die Freundin sagte: pass auf, gleich musst Du abbiegen (renovieren).
 Hans freut sich schon lange auf die Gäste (Idee).
 Zum Frühstück trinkt er gern ein Glas Orangensaft (Horoskope).
 Damals gab es zu Weihnachten Unwetter (Bakterien).
 Den ganzen Abend wartete sie auf den Spaziergang (Diätplan).

Das Geld ließ sich leider nicht Überweisen (heiraten).
 Jürgen genoss seine wohlverdienten Cocktails (Sängers).
 Ich glaube nicht an Horoskope (Zahlenfolgen).
 Die Großmutter besaß viele alte Puppen (Dornen).
 Der Großvater hatte in seiner Jugend ein Kaninchen (Jahrhundert).
 Das Haus war groß und schön, aber auch dunkel (pleite).
 Rüdiger hört gern Musik, vor allem vom Klavier (Schlüssel).
 Kathrin ist traurig, sie hat Schmerzen (Bäume).
 Mareike ist schon lange verurteilt (ausverkauft).
 Der Jäger war stolz auf sein Leben (Postfach).
 Jedes Jahr sterben viele Menschen an einer Infektion (Beliebtheit).
 Die Jugendlichen trafen sich zur gemeinsamen Flucht (Wand).
 Der Junge wartete lange auf den Freund (Wald).
 Leider kann sie nicht zum Treffen kommen, sie ist pleite (dunkel).
 Annika kaufte sich für den Abend Kerzen (Zähne).
 Gestern kauften sie sich einen Vorhang (Anwalt).
 Im Keller liegen überall Auszüge vom Konto (Alter).
 Die Kinder spielten sehr lange auf dem Spielplatz (Honig).
 Die Klasse erlebte einen Tag im Wald (Freund).
 Der Kommentator berichtete von den Unwettern in der Metropole (Familie).
 Florian konnte besonders gut schreiben (sehen).
 Jana kreierte eine kleine Melodie (Tastatur).
 Die Landschaft war gekennzeichnet durch viele Bäume (Tiere).
 Nach langem Suchen fehlten ihr immer noch Dateien (Unfälle).
 Die Leute im Stadtpark genossen die schöne Sonne (Rechnung).
 Sein liebstes Hobby ist das Abenteuer (Fragezeichen).
 Das Lied ist sehr schön, es hat eine einprägsame Melodie (Tastatur).
 Sie liest am liebsten Bücher über alte Schauspieler (Disketten).
 Alex macht sich große Sorgen um die Familie (Metropole).
 Das Mädchen entdeckte im Wald einen Spielplatz (Spaziergang).
 Der Mann fertigte schon seit Jahren hochwertige Stiefel (Knochen).
 Der Mann konnte den Rasen noch löschen (schreiben).
 Der Mann verabredete sich mit der Polizei (Vorlesung).
 Ein Mann rief plötzlich zu ihnen: Achtet auf die Ampel (Messer).
 Frau Meier war dankbar für die schöne Aussicht (Ecke).
 Claudia meldete sich nach langer Zeit erst bei ihren Gruppen (Wurzeln).
 Niemand meldete sich für die Teilnahme an den Prüfungen (Käfigen).
 Um Mitternacht gab es eine Rede (Brille).
 Die Musik kam aus dem Zimmer (Ende).
 Die Mutter kauft für die Kinder Orangensaft (Horoskope).
 Die neugeborenen Küken benötigen ganz viel Brot (Mensch).
 Das Paar lauschte am Abend den Gesängen der Tiere (Ampel).
 Im Park blühten schon viele Blumen, vor allem die mit Dornen (Puppen).
 Beim Radfahren verlor sie ihre Brille (Zimmer).
 Die Rechnungen erledige ich alle am Telefon (Aussehen).
 Sie renovierten die Zimmer und strichen die Wand (Nacht).
 Am Samstag gehen die Kinder ins Kino (Frühstück).
 Sie schaute aus dem Fenster und sah den Anwalt (Beinbruch).
 Der Schmuck bestand aus hochwertigen Knochen (Kerzen).
 Die Schulfreundin studiert heute Philosophie (Elektriker).
 Schon seit Jahren geht er nicht mehr zur Vorlesung (Infektion).
 Die Sekretärin sammelte Geld ein für die Armen (Rede).
 Da sie Haustiere mag, bekam sie ein Pferd (Tal).
 Rolf sprach nicht gern über seine Beliebtheit (Polizei).
 Erika stritt sich mit Peter um den Schirm (Clown).
 Die Studenten betrachteten unter dem Mikroskop Bakterien (Unwetter).
 Ich suche schon den ganzen Tag die Gabel (Armen).
 Die Tante freute sich über die Leine (Tränen).
 Die Tänzer kommen in dieser Veranstaltung am Ende (Konto).
 Das Telegramm bestand nur aus einem Fragezeichen (Mittelalter).
 Einige Tiere leben auf dem Meeresboden (Bilderrahmen).
 Die Tochter kauft auf dem Markt Kartoffeln und Bücher (Note).

Ein Traditionelles Fest ist in der Nacht (Bahn).
 Das Treffen ist diesmal im Urlaub (Klavier).
 Bernd und Lisa stritten sich um des Mannes Alter (Tafel).
 Tobias verbrachte den ganzen Abend im Bett (Schirm).
 Wiebke verkaufte ihre Messer (Schmerzen).
 Kerstin verschüttete ein ganzes Glas Honig (Fehler).
 Das war ein ereignisreiches Jahrhundert (Verhältnis).
 Paul war traurig über die Idee (Pause).
 Am Wochenende werde ich endlich renovieren (überweisen).
 Lisa zeigte mir den Zucker (Urlaub).
 Susanne zeigte ihrem Bruder Disketten (Schauspieler).
 Das Zimmer war sehr schmutzig, sie mussten es noch renovieren (überweisen).

Die 400 häufigsten zweisilbigen deutschen Wörter (Experiment 5)

Tasche	Pause	Projekt	Leser
Ablauf	Schaden	Zeichnung	Sendung
Bursche	Export	Zeitschrift	Finger
Irrtum	Fräulein	Anna	Senat
Küste	Empfang	Treffen	Ware
Neubau	Glaube	Einsicht	Autor
Konzert	Kammer	Entschluss	Herrschaft
Absatz	Nachbar	Betrag	Besitz
Keller	Motiv	Prüfung	Spieler
Landschaft	Spitze	Zentrum	Beweis
Bündnis	Struktur	Grundsatz	Verlust
Faktor	Gedicht	Bauer	Standpunkt
Phase	Oper	Kasse	Verkehr
Abschnitt	Tausend	Mühe	Krise
Bahnhof	Verstand	Pfennig	Umfang
Spiegel	Drittel	Unfall	Heimat
Nutzen	Willen	Handlung	Planung
Verzicht	Hafen	Stufe	Verkauf
Moment	Konflikt	Rundfunk	Russland
Staatsmann	Reise	Alter	Fahrzeug
Vorbild	Fachmann	Kaffee	Leiter
Anzahl	Urlaub	Rechnung	Junge
Bilanz	Nummer	Garten	Wetter
Vogel	Reform	Dauer	Kongress
Gebrauch	Stimmung	Mauer	Beifall
Fußball	Wunder	Botschaft	Verlauf
Bedarf	Gewicht	Kanzler	Dasein
Gegend	Note	Feuer	Auskunft
Rennen	Produkt	Basis	Schulter
Termin	Meldung	Organ	Inhalt
Vortrag	Quelle	Richter	Kontakt
Schreiben	Tote	Ertrag	Armee
Haushalt	Abstand	Bühne	Farbe
Friedhof	Gründung	Gerät	Vergleich
Russe	Westen	Metall	Masse
Summe	Hörer	Fehler	Sommer
Schaffung	Karte	Modell	Küche
Szene	Physik	Partner	Büro
Mangel	Regen	Verein	Ehre
Samstag	Winter	Fahrer	Börse
Trainer	Schatten	Vorwurf	Entwurf
Kunde	Protest	Aussicht	Insel
Figur	Ausbau	Lehre	Seele
Objekt	Rückkehr	Roman	Gestalt
Stärke	Sieger	Trommel	Praxis
Forscher	Kaiser	Vorteil	Truppe

<i>Absicht</i>	<i>Fenster</i>	<i>Chance</i>	<i>Gefahr</i>
<i>Spannung</i>	<i>Sonne</i>	<i>Postfach</i>	<i>Leute</i>
<i>Lager</i>	<i>Schicksal</i>	<i>Natur</i>	<i>Schule</i>
<i>Körper</i>	<i>Meister</i>	<i>Beginn</i>	<i>Tendenz</i>
<i>Zweifel</i>	<i>Freundschaft</i>	<i>Musik</i>	<i>Frieden</i>
<i>Ehe</i>	<i>Presse</i>	<i>Nähe</i>	<i>Grenze</i>
<i>Dichter</i>	<i>Gegner</i>	<i>Student</i>	<i>Erde</i>
<i>Ruhe</i>	<i>Kenntnis</i>	<i>Leitung</i>	<i>Bericht</i>
<i>Angriff</i>	<i>Motor</i>	<i>Dollar</i>	<i>Zukunft</i>
<i>Groesse</i>	<i>Vorstand</i>	<i>Richtung</i>	<i>August</i>
<i>Tonne</i>	<i>Menschheit</i>	<i>Fortschritt</i>	<i>Leistung</i>
<i>Ausschuss</i>	<i>Sitzung</i>	<i>Ordnung</i>	<i>Dienstag</i>
<i>Flugzeug</i>	<i>Anteil</i>	<i>Zustand</i>	<i>Gruppe</i>
<i>Krankheit</i>	<i>Tochter</i>	<i>Firma</i>	<i>Sonntag</i>
<i>Papier</i>	<i>Urteil</i>	<i>Wahrheit</i>	<i>Mittel</i>
<i>Vorgang</i>	<i>Abschluss</i>	<i>Gewalt</i>	<i>Montag</i>
<i>Morgen</i>	<i>Gefühl</i>	<i>System</i>	<i>Mittwoch</i>
<i>Nachricht</i>	<i>Prinzip</i>	<i>Begriff</i>	<i>Meter</i>
<i>Kultur</i>	<i>Kosten</i>	<i>Abend</i>	<i>Stimme</i>
<i>Wille</i>	<i>Eindruck</i>	<i>Zimmer</i>	<i>Kirche</i>
<i>Einsatz</i>	<i>Forschung</i>	<i>Mitte</i>	<i>Vorschlag</i>
<i>Hinweis</i>	<i>Verlag</i>	<i>Thema</i>	<i>Hilfe</i>
<i>Zeichen</i>	<i>Mutter</i>	<i>Vernunft</i>	<i>Mädchen</i>
<i>Anlass</i>	<i>Hoffnung</i>	<i>Technik</i>	<i>Freiheit</i>
<i>Bischof</i>	<i>Auftrag</i>	<i>Dame</i>	<i>Vater</i>
<i>Sprecher</i>	<i>Gesicht</i>	<i>Ausdruck</i>	<i>April</i>
<i>Waffe</i>	<i>Beitrag</i>	<i>Jugend</i>	<i>Paris</i>
<i>Bildung</i>	<i>Hauptstadt</i>	<i>Ansicht</i>	<i>Meinung</i>
<i>Jahrzehnt</i>	<i>Führung</i>	<i>Wagen</i>	<i>Sache</i>
<i>Zone</i>	<i>Peter</i>	<i>Sprache</i>	<i>Juni</i>
<i>Himmel</i>	<i>Schüler</i>	<i>Beschluss</i>	<i>Stelle</i>
<i>Vorjahr</i>	<i>Haltung</i>	<i>Person</i>	<i>Strasse</i>
<i>Verband</i>	<i>Prozess</i>	<i>Vertrag</i>	<i>Name</i>
<i>Umstand</i>	<i>Gericht</i>	<i>Wohnung</i>	<i>Erfolg</i>
<i>Gewinn</i>	<i>Ausland</i>	<i>Programm</i>	<i>Mitglied</i>
<i>Wissen</i>	<i>Bezirk</i>	<i>Freitag</i>	<i>Gespräch</i>
<i>Antrag</i>	<i>Koenig</i>	<i>Boden</i>	<i>Lage</i>
<i>Schwester</i>	<i>Geschäft</i>	<i>Umsatz</i>	<i>Gebiet</i>
<i>Wasser</i>	<i>Sorge</i>	<i>Reihe</i>	<i>Auge</i>
<i>Regel</i>	<i>Idee</i>	<i>Foto</i>	<i>Juli</i>
<i>Elter</i>	<i>Wesen</i>	<i>Antwort</i>	<i>Stunde</i>
<i>Titel</i>	<i>Opfer</i>	<i>Versuch</i>	<i>Problem</i>
<i>Kritik</i>	<i>Aufbau</i>	<i>Folge</i>	<i>Neue</i>
<i>Wirkung</i>	<i>Mannschaft</i>	<i>Höhe</i>	<i>Monat</i>
<i>Künstler</i>	<i>Liebe</i>	<i>Bereich</i>	<i>Betrieb</i>
<i>Tagung</i>	<i>Einfluss</i>	<i>Besuch</i>	<i>Beispiel</i>
<i>Menge</i>	<i>Auto</i>	<i>Rolle</i>	<i>Ende</i>
<i>Doktor</i>	<i>Lehrer</i>	<i>Lösung</i>	<i>Woche</i>
<i>Hälfte</i>	<i>Anspruch</i>	<i>Anfang</i>	<i>Partei</i>
<i>Freude</i>	<i>Buerger</i>	<i>Einheit</i>	<i>Arbeit</i>
<i>Mehrheit</i>	<i>Hotel</i>	<i>Rede</i>	<i>Leben</i>
<i>Beruf</i>	<i>Rahmen</i>	<i>Wirtschaft</i>	<i>Seite</i>
<i>Bruder</i>	<i>Handel</i>	<i>Gesetz</i>	<i>Prozent</i>
<i>Osten</i>	<i>Klasse</i>	<i>Zeitung</i>	<i>Frage</i>

Erklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die von mir eingereichte Dissertation zum Thema

„Die hypothesengeleitete Informationsverarbeitung während der Wahrnehmung von Sprache“

selbständig verfasst, nicht schon als Dissertation verwendet habe und die benutzten Hilfsmittel und Quellen vollständig angegeben wurden.

Weiterhin erkläre ich, dass ich weder diese noch eine andere Arbeit zur Erlangung des akademischen Grades doctor rerum naturalium (Dr. rer. nat.) an anderen Einrichtungen eingereicht habe.

Hannover, d. 23. 06. 2005

Janine Möbes

Lebenslauf Janine Möbes

1 Persönliche Daten

Geboren: 23.02. 1978 in Halle /S.
Anschrift: Podbielskistr. 20 in 30163 Hannover
Telefon/Fax: 0511/64071823
E-mail: moebes.janine@mh-hannover.de
Staatsangehörigkeit: deutsch
Familienstand: ledig
Konfession: evangelisch

2 Schulbildung

Juni 1996: Allgemeine Hochschulreife (Schönebeck, Dr.-Tolberg-Gymnasium)

3 Berufliche Ausbildung

Okt. 1996 – Juli 2001: Studium der Psychologie an der Otto-von-Guericke- Universität Magdeburg, Sachsen-Anhalt, sehr guter Abschluss als Dipl. Psychologin
Schwerpunkt: Neuropsychologie

Tätigkeit als studentische wissenschaftliche Hilfskraft in Forschungsprojekten der Abteilung Pädagogische Psychologie bei Prof. Dr. U. Fuhrer und der Abteilung Neuropsychologie bei Prof. Dr. T.F. Münte

Diplomarbeitsthema: „Gesichterverarbeitung beim Capgras-Syndrom“, Abteilung Neuropsychologie bei Prof. Dr. T.F. Münte

Mai 2001 – März 2004: wissenschaftliche Mitarbeiterin am Lehrstuhl Neuropsychologie der Otto-von-Guericke Universität Magdeburg; Promotionstätigkeit („Hypothesengeleitete Informationsverarbeitung während der Wahrnehmung von Sprache“)

Zusätzliche Tätigkeit als Dipl. Psychologin in der Neuropsychologischen Ambulanz Magdeburg

seit April 2004: Tätigkeit als klinische Neuropsychologin und wissenschaftliche Mitarbeiterin an der Medizinischen Hochschule Hannover, Klinik für Neurologie; For-

schungsschwerpunkte: Sprachwahrnehmung bei Patienten mit Cochlea-Implantat; akustische Affektkommunikation bei Patienten mit Morbus Parkinson

4 Zusätzliche Tätigkeiten

Gutachtertätigkeit für neuropsychologische Zusatzbegutachtung

Honorartätigkeit als Lehrende für systemische Familienberatung und Familientherapie am FST Halberstadt

5 Spezielle Klassifikationen

2001 – 2003 Ausbildung zur systemischen Familientherapeutin am FST Halberstadt

ab 2002 Beginn der Weiterbildung als Klinische Neuropsychologin (GNP)

6 Mitgliedschaften

Seit 2003 Mitglied der Gesellschaft für Neuropsychologie (GNP) und der Deutschen Gesellschaft für systemische Therapie und Familientherapie (DGSF)