

**Organisation des bilingualen Gehirns:  
Eine EEG-Studie zum Einfluss von Erwerbssalter und Sprachniveau**

**Dissertation**

im Fach  
Klinische Linguistik  
an der Fakultät für Linguistik und Literaturwissenschaft  
der Universität Bielefeld

vorlegt von  
Su Kyoung Kim  
aus Busan

Bielefeld, den 5. Juli 2007

Erstgutachter: apl. Professor Dr. Dr. Horst M. Müller

Zweitgutachter: Univ.-Professor Dr. Gert Rickheit

## Danksagung

An erster Stelle möchte ich Herrn apl. Professor Dr. Dr. Horst M. Müller für die intensive fachliche Betreuung meiner Dissertation und die Erstellung des Erstgutachtens meinen herzlichen Dank aussprechen. Seine geduldige Unterstützung und sein Vertrauen in meine Fähigkeiten war mir eine Hilfe, die Welt der experimentellen Neurolinguistik zu entdecken.

Bei Herrn Univ.-Professor Dr. Gert Rickheit bedanke ich mich aufrichtig für die Erstellung des Zweitgutachtens.

Mein Dank gilt auch der AG Experimentelle Neurolinguistik für die technische Ermöglichung des EEG-Experimentes. Außerdem möchte ich mich bei Frau Dr. Sabine Weiss, Frau Dr. Alexandra Wengenroth, Frau Dr. Carla Berghoff und Frau Dr. des. Huei-Ling Yen für die hilfreichen Vorschläge und die anregende Diskussion bedanken.

Herrn Dr. Dirk Martinke von der Statistik- und Methodenberatung für Psychologinnen und Psychologen danke ich für die Unterstützung bei den statistischen Analysen.

Für das Promotionsstipendium zur Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses aus Rektoratsmitteln danke ich dem Land NRW.

Mein besonderer Dank gilt auch den Versuchspersonen, die zum Teil extra aus anderen Städten in NRW angereist sind, um an dem EEG-Experiment teilzunehmen. Für die Bereitschaft zur Teilnahme an Probeexperimenten danke ich meinen Kollegen aus der AG Experimentelle Neurolinguistik und meinen Freunden und Bekannten.

Bei Frau Damaris P. Tschirner bedanke ich mich herzlich für die Korrektur der Arbeit und die aufmunternden Worte. Für das abschließende Korrekturlesen und die ermutigenden Gespräche danke ich Frau Marion Lang. Für die technische Unterstützung danke ich Herrn Jörg P. Haeger.

Insbesondere möchte ich auch meiner Familie für ihre Liebe, Vertrauen und ermutigende Unterstützung danken.

# Inhaltsverzeichnis

<b>Einleitung</b> .....	<b>1</b>
<b>1. Theoretische Grundlagen: Zweitsprache und Gehirn</b> .....	<b>4</b>
1.1 Zweitspracherwerb und „Critical Period Hypothesis“ .....	5
1.2 Neurophysiologische Forschungsergebnisse zum L2-Prozess .....	8
1.2.1 Hämodynamische Daten .....	8
1.2.2 Elektrophysiologische Daten .....	17
1.3 Neurokognitive Modelle der L2-Prozesse .....	23
1.3.1 Lexikalisches/Konzeptuelles Modell .....	23
1.3.2 Lexikalisches/Grammatikalisches Modell .....	25
1.3.3 Implizites/Explizites Modell .....	29
<b>2. Methodische Grundlagen: EEG-/ERP-Methode</b> .....	<b>31</b>
2.1 Entstehung des Elektroenzephalogramms (EEG) .....	32
2.1.1 Struktur der Nervenzelle .....	32
2.1.2 Das Membranpotential (MP) .....	33
2.1.3 Das Aktionspotential (AP) .....	35
2.1.4 Die synaptische Übertragung .....	38
2.1.5 Postsynaptische Potentiale (PSP) .....	39
2.1.6 Kortikale Feldpotentiale (FP) .....	42
2.2 Event-Related Potentials (ERP) .....	45
2.2.1 Mittelungsverfahren .....	46
2.2.2 Sprachrelevante ERP-Komponenten .....	47
<b>3. Fragestellung und Hypothesen</b> .....	<b>53</b>
3.1 Ziel des Experiments .....	53
3.2 Fragestellung und Hypothesen des Experiments .....	54

<b>4. Material und Methoden</b> .....	<b>56</b>
4.1 Stimulusmaterial .....	56
4.1.1 Konstruktion der Stimuli .....	56
4.1.2 Stimuluseditierung, Kodierung und zeitliche Positionierung der Trigger .....	59
4.2 Versuchspersonen .....	61
4.3 Versuchsdurchführung .....	64
4.3.1 Versuchsaufbau .....	64
4.3.2 Erfassung der EEG-Daten .....	65
4.3.2.1 Anbringen der Elektroden .....	65
4.3.2.2 Präsentation der Stimuli .....	66
4.3.2.3 Aufnahme des EEG-Signals .....	68
4.3.3 Durchführung des Sprachtests (L2) .....	70
4.4 Datenanalyse .....	72
4.4.1 Analyse der EEG-Daten .....	72
4.4.2 Statistische Analyse .....	74
<b>5. Ergebnisse</b> .....	<b>77</b>
5.1 Verhaltensdaten .....	77
5.2 EEG-Daten zur L1 (Koreanisch) .....	79
5.2.1 Semantische Bedingung .....	79
5.2.1.1 Auftreten des N400-Effekts .....	79
5.2.1.2 Intensität des N400-Effekts .....	82
5.2.1.3 N400-Peak-Latenz .....	83
5.2.2 Syntaktische Bedingung .....	85
5.2.2.1 Auftreten des P600-Effekts .....	85
5.2.2.2 Intensität des P600-Effekts .....	87
5.2.2.3 P600-Peak-Latenz .....	88
5.3 EEG-Daten zur L2 (Deutsch) .....	91
5.3.1 Semantische Bedingung .....	91
5.3.1.1 Auftreten des N400-Effekts .....	91
5.3.1.2 Intensität des N400-Effekts .....	94
5.3.1.3 N400-Peak-Latenz .....	94
5.3.2 Syntaktische Bedingung .....	99
5.3.2.1 Auftreten des P600-Effekts .....	99
5.3.2.2 Intensität des P600-Effekts .....	102
5.3.2.3 P600-Peak-Latenz .....	102
5.4 Zusammenfassung der Ergebnisse .....	105



<b>6. Diskussion .....</b>	<b>114</b>
6.1 Experiment-bezogene Diskussion .....	114
6.1.1 Hypothesenprüfung aufgrund der Ergebnisse .....	114
6.1.2 Relation zwischen dem Erwerbssalter und dem Sprachniveau .....	116
6.1.3 Kritische Phase beim L2-Erwerb .....	117
6.1.4 Aufgabenspezifität in der syntaktischen Bedingung .....	118
6.2 Eigene Modellvorstellungen .....	122
6.2.1 Psycholinguistisches Modell des L2-Erwerbs/L2-Sprachprozesses .....	122
6.2.1.1 Lernvorgänge des grammatischen Wissenserwerbs in der L2 .....	127
6.2.1.2 Zugriff-und Abrufvorgänge des grammatischen Wissens in der L2 .....	129
6.2.1.3 Erklärungsmöglichkeit der kritischen Phase .....	130
6.2.1.4 Erklärungsmöglichkeit der Ergebnisse in der syntaktischen Bedingung ..	132
6.2.2 Neurolinguistisches Modell beim L2-Erwerb .....	134
6.3 Zusammenfassung .....	137
6.4 Ausblick .....	144
<b>7. Literaturverzeichnis .....</b>	<b>147</b>

## Einleitung

Sprache ist eine besondere Fähigkeit, die den Menschen von allen anderen Lebewesen unterscheidet. Diese auf den ersten Blick so selbstverständlich vorhandene Fähigkeit stellt ein kognitiv hoch komplexes Geschehen dar. Der meist mühelos und natürlich verlaufende Erstspracherwerb (L1-Erwerb) bei Kindern steht im deutlichen Gegensatz zu dem lernaufwendigen Unternehmen des Zweitspracherwerbs (L2-Erwerb) bei Erwachsenen. Erklärt wird dieser Gegensatz durch die Annahme unterschiedlicher Lernprozesse: Während der Erstspracherwerb unbewusst und implizit verläuft, lernen Erwachsene eine Zweitsprache sehr bewusst, kontrolliert und explizit. Bezüglich der unterschiedlichen Lernprozesse der Zweitsprache zwischen Kindern und Erwachsenen wird diskutiert, ob eine zeitliche Grenze, die so genannte „kritische Phase“ (Lenneberg, 1967) existiert, innerhalb derer ein müheloser bzw. impliziter Spracherwerb möglich ist.

Die Existenz der kritischen Phase beim Zweitspracherwerb wird häufig im Zusammenhang mit den Einflussfaktoren bei der Organisation des bilingualen Gehirns erörtert (Birdsong, 1999; Abutalebi et al., 2001; Müller, 2003a; Indefrey, 2006). Es stellt sich die Frage, wie die Erst- und die Zweitsprache im bilingualen Gehirn organisiert sind, und welche Faktoren einen Einfluss auf die kortikale Organisation der Erst- und der Zweitsprache haben. Die kortikale Organisation der Erst- und der Zweitsprache wird seit den letzten ca. fünfzehn Jahren mittels hämodynamischer sowie elektrophysiologischer Verfahren intensiv untersucht. Allerdings sind die neurophysiologischen Ergebnisse der Untersuchungen des bilingualen Gehirns sehr konträr. Es wird vermutet, dass es zwei Faktoren gibt, die die kortikale Organisation der Erst- und der Zweitsprache beeinflussen, nämlich das Erwerbssalter und das erreichte Sprachniveau. Einerseits wird nur der Einfluss des Erwerbssalters auf die kortikale Organisation der Erst- und Zweitsprache als Indiz für die Existenz der kritischen Phase beim Zweitspracherwerb betrachtet, andererseits gilt jedoch die Rolle des erreichten Sprachniveaus als Hinweis, der gegen das Vorhandensein der kritischen Phase spricht. Somit bleibt die Diskussion um die Existenz der kritischen Phase beim Zweitspracherwerb weiterhin offen.

Das Ziel der vorliegenden Arbeit besteht darin, herauszufinden, inwieweit die beiden Faktoren die kortikale Organisation der Erst- und Zweitsprache beeinflussen. Dazu werden die beiden Faktoren, das Erwerbssalter und das erreichte Sprachniveau, in einem Elektroenzephalographie (EEG)-Experiment untersucht. Im Rahmen dessen wird der Frage nachgegangen, inwieweit die beiden Faktoren die elektrophysiologische Hirnaktivität beim Ablauf von Sprachverständnisprozessen in der Erst (L1) - und der Zweitsprache (L2) beeinflussen.

Untersucht werden dazu zweisprachige Probanden, die nach dem Erwerbssalter sowie dem erreichten Sprachniveau in drei Gruppen eingeteilt werden: Früh-Bilinguale mit einem muttersprachlichen L2-Sprachniveau, Spät-Bilinguale mit einem relativ hohen L2-Sprachniveau und Spät-Bilinguale mit einem relativ niedrigen L2-Sprachniveau. Erfasst wird dabei die Hirnaktivität (d.h. EEG-Signal) dieser Versuchspersonengruppen, die während der semantischen bzw. syntaktischen Verarbeitungsprozesse in der Erstsprache (Koreanisch)- und der Zweitsprache (Deutsch) messbar ist. Das erfasste EEG-Signal wird anschließend mit der *event related potential* (ERP)-Methode ausgewertet. Die Ergebnisse werden im Hinblick auf den Einfluss des Erwerbssalters bzw. des erreichten Sprachniveaus auf das ERP-Korrelat der semantischen und syntaktischen Verarbeitungsprozesse diskutiert.

Die Dissertation besteht aus sechs Kapiteln. Im ersten Kapitel wird der theoretische Hintergrund zur Organisation des bilingualen Gehirns beschrieben. Hier geht es darum, wie die Erst- und die Zweitsprache im Gehirn organisiert sind, und welche Informationen die neurophysiologischen Studien über die zerebrale Repräsentation der Erst- und Zweitsprache geben. Außerdem werden Hypothesen über die kritische Phase beim Zweitspracherwerb sowie die aktuellen Forschungsergebnisse zu den Einflussfaktoren bei der Organisation des bilingualen Gehirns kurz dargestellt. Im zweiten Kapitel werden die methodischen Grundlagen der EEG-Untersuchung erläutert. Dabei werden die neurobiologischen Grundlagen wie z.B. die Funktionsweise von Nervenzellen, die Signalübertragung zwischen den Nervenzellen und die Entstehung des EEG-Signals beschrieben. Außerdem wird in diesem Kapitel auf die ERP-Methode

sowie die sprachrelevante ERP-Komponente eingegangen. Im dritten Kapitel werden die für das durchgeführte Experiment relevanten Fragestellungen sowie Hypothesen dargestellt, bevor im nächsten Kapitel die methodische Beschreibung des vorliegenden EEG-Experiments folgt, die die Stichprobe, die Stimuli, das Testdesign, die Erfassung des EEG-Signals sowie die Datenanalyse umfasst. Die Ergebnisse der EEG-Untersuchung werden im fünften Kapitel beschrieben, worauf nachfolgend die zu Beginn aufgestellten Hypothesen aufgrund der Ergebnisse überprüft werden. Darüber hinaus werden die Ergebnisse hinsichtlich des Einflusses des Erwerbsalters bzw. des erreichten Sprachniveaus auf den ERP-Effekt (N400/P600) diskutiert, bevor abschließend die Ergebnisse im Rahmen eines neurolinguistischen bzw. eines psycholinguistischen Modells eingeordnet und thematisiert werden.

# 1. Theoretische Grundlagen: Zweitsprache und Gehirn

Eine zentrale Fragestellung innerhalb der Bilingualismusforschung ist, wie zwei Sprachen (Erst- und Zweitsprache) im Gehirn organisiert sind (für ein Überblick, s. Fabbro 2001b). Dabei geht es hauptsächlich darum, ob die Erst- und die Zweitsprache (im Weiteren als L1 bzw. L2 bezeichnet)<sup>1</sup> ein gemeinsames neuronales Substrat haben oder zwei separate. Ob die L1 und L2 im Gehirn unterschiedlich repräsentiert sind, wird kontrovers diskutiert, ebenso wie die für die kortikale Organisation der L1 und L2 denkbaren beeinflussenden Faktoren (wie z.B. das Erwerbsalter und das erreichte Sprachniveau).

Einige neurophysiologische Studien deuten an, dass das L2-Erwerbsalter einen wichtigen Einfluss auf die Organisation des bilingualen Gehirns hat (Perani et al., 1996; Weber-Fox & Neville, 1996; Kim et al., 1997; Dehaene et al., 1997; Hahne & Friederici, 2001; Vingerhoets et al., 2003; Wartenburger et al., 2003; Kim & Müller, 2006). Dieses Indiz wird häufig als Evidenz für die Existenz der so genannten „kritischen Phase“ beim Zweitspracherwerb verwendet. Jedoch ist die Existenz dieser kritischen Phase beim Zweitspracherwerb nicht hinreichend belegt. Zum Beispiel weisen einige andere neurophysiologische Studien darauf hin, dass das Sprachniveau einen Einfluss auf die kortikale Organisation des bilingualen Gehirns hat (Yetkin et al., 1996; Perani et al., 1998; Illes et al., 1999; Chee et al., 1999, 2001; Hahne, 2001; Wartenburger et al., 2003; Mechelli et al., 2004; Kim & Müller, 2006; Golestani et al., 2006).

In diesem Kapitel werden die theoretischen Grundlagen der kritischen Phase beim Zweitspracherwerb sowie die neurophysiologischen Ergebnisse zu dieser Thematik dargestellt. Anschließend beschäftigt sich dieses Kapitel mit einigen relevanten psycholinguistischen bzw. neurokognitiven Modellen, die versuchen den L2-Erwerb bzw. L2-Prozess zu beschreiben.

---

1 In dieser Arbeit wird die Sprache, die in einer natürlichen zweisprachigen Umgebung erworben wurde, als Zweitsprache (L2) bezeichnet. Im Gegensatz dazu wird die Fremdsprache dadurch abgegrenzt, dass sie nicht in einer natürlichen L2-Umgebung erworben wird, sondern das L2-Erlernen ausschließlich vom Fremdsprachenunterricht abhängt.

## 1.1 Zweitspracherwerb und „*Critical Period Hypothesis*“

Das erste systematische Konzept zur kritischen Phase beim Spracherwerb findet sich bei Lenneberg (1967), der behauptet, dass ein biologischer Zeitraum existiert, der den Spracherwerb begünstigt. Er bezeichnet diesen Zeitraum (vom zweiten Lebensjahr bis zur Pubertät) als „kritische Phase“. Nach Lenneberg ist die kritische Phase mit den neuronalen Veränderungen stark assoziiert. Er nimmt an, dass Sprache mit zunehmendem Alter immer schwieriger und nach der Pubertät besonders schwer erworben werden kann, weil die neuronale Plastizität immer geringer wird und letztlich verschwindet. Diese Annahme basiert auf folgenden empirischen Daten: (a) Die unterschiedliche Häufigkeitsverteilung von Aphasien nach einer Hemisphärektomie bei Kindern und Erwachsenen, die sich auf die Möglichkeit des Transfers zwischen den beiden Hemisphären zurückführen lässt. (b) Die unterschiedliche Restitution nach einer Hirnverletzung bei Kindern und Erwachsenen. Eine ähnliche Überlegung findet sich bereits bei Penfield und Roberts (1959). Sie sind der gleichen Meinung, dass Kinder eine bessere Restitution von einer Aphasie als Erwachsene haben, und dass vor allem der Transfer von den verletzten sprachdominanten zu den gesunden Hemisphären nur bei Kindern möglich ist. Der Offset der kritischen Phase wird aber kontrovers diskutiert. Zum Beispiel setzen Penfield und Roberts (1959) das neunte Lebensjahr als den Offset der kritischen Phase (vgl. Lenneberg, 1967; Krashen, 1973; Long, 1990; Singelton & Ryan, 2004).

In der Tat scheint es, dass ein später L1-Spracherwerb eine negative Auswirkung auf das Sprachniveau hat, wie der Fall Genie (Curtiss, 1977; Fromkin et al. 1974), die erst nach dem 13. Lebensjahr die L1 erworben hat, impliziert. Während sie hinsichtlich der lexikalischen und semantischen Ebene ein muttersprachliches Niveau erreichen konnte, blieb die Morphosyntax defizitär. Solche Auswirkungen des Erwerbsalters auf das endgültige Sprachniveau finden sich nicht nur bei der gesprochenen Sprache sondern auch bei der Zeichensprache (L1). Bei gehörlosen Erwachsenen zeigen sich unterschiedliche Leistungsniveaus in der Zeichensprache in Abhängigkeit vom Onset des Erwerbs der Zeichensprache (Newport & Supalla, 1987, 1990). Der Unterschied

## 1. Theoretische Grundlagen: Zweitsprache und Gehirn

beim Leistungsniveau der Zeichensprache zwischen den muttersprachlichen Lernern (von Geburt an), den Früh-Lernern (zwischen dem 4. und 6. Lebensjahr) und den Spät-Lernern (>12. Lebensjahr) ist besonders in der Morphosyntax sehr deutlich ausgeprägt. Die Daten sowohl der gesprochenen Sprache als auch der Zeichensprache weisen darauf hin, dass das Erwerbssalter einen größeren Einfluss auf die grammatische Kompetenz als auf die lexikalische Kompetenz hat. Letztlich scheint das Erwerbssalter sowohl beim Erwerb der gesprochenen Sprache als auch beim Erwerb der Zeichensprache deutlich das Sprachniveau zu beeinflussen, was die Annahme einer kritischen Phase beim Erstspracherwerb stützt.

Welche Rolle spielt die *critical period hypothesis* (CPH) nun beim Zweitspracherwerb? Ist davon auszugehen, dass auch hierbei eine kritische Phase existiert? Viele Verhaltensstudien legen nahe, dass das Erwerbssalter und das erreichte Sprachniveau sehr stark miteinander korrelieren (Oyama, 1982; Johnson & Newport, 1989; Weber-Fox & Neville, 1996; Yeni-Komshian, Flege und Liu, 2000). Das heißt: je früher die L2 erworben wurde, desto besser war die phonologische (Oyama, 1982; Yeni-Komshian, Flege & Liu, 2000) bzw. syntaktische Leistung (Johnson & Newport, 1989; Weber-Fox & Neville, 1996). Gemäß diesen Verhaltensstudien hat das Erwerbssalter also einen Einfluss auf das Sprachniveau in der L2, so dass die *critical period hypothesis* auch von einer kritischen Phase beim Zweitspracherwerb ausgeht. Einen Überblick über die Verhaltensstudien gibt Tabelle 1.

Welche Hinweise auf die kritische Phase beim Zweitspracherwerb finden sich jedoch in der neurophysiologischen Forschung? Es gibt mittlerweile viele Indizien sowohl für als auch gegen die kritische Phase beim Zweitspracherwerb. Einige Ergebnisse deuten an, dass das Erwerbssalter einen Einfluss auf die kortikale Organisation der L1 und L2 hat. Dagegen zeigen einige andere Ergebnisse, dass das erreichte Sprachniveau einen Einfluss auf die Organisation des bilingualen Gehirns hat. Schließlich bleibt die Frage noch offen, ob das Erwerbssalter bzw. das Sprachniveau unabhängig voneinander die kortikale Organisation der L1 und L2 beeinflussen. Im Folgenden werden die neurophysiologischen Daten zu dieser Thematik näher beschrieben.

## 1. Theoretische Grundlagen: Zweitsprache und Gehirn

**Tabelle 1:** Verhaltensstudien zur kritischen Phase beim L2-Erwerb

Studie	Erwerbsalter	Methode	Ergebnisse
Johnson & Newport (1989)	3-7, 8-10, 11-15, 17-39	Grammatische Beurteilung	Das Erwerbsalter korreliert negativ mit der syntaktischen Leistung in der L2. Der signifikante Leistungsunterschied zeigt sich ab dem 7. Lebensjahr und die Leistung fällt bis zur Pubertät allmählich ab. Nach der Pubertät (>15 Jahren) zeigt sich keine Korrelation mehr zwischen dem Erwerbsalter und der Leistung.
Weber-Fox & Neville (1996)	1-3, 4-6, 7-10, 11-13, > 16	Grammatische Beurteilung	Das Erwerbsalter korreliert negativ mit der syntaktischen Leistung in der L2. Ab einem Alter von 7 Jahren zeigt die syntaktische Leistung in der L2 im Vergleich zu den monolingualen Sprechern einen signifikanten Unterschied.
Oyama (1982)	> 6, 6-12, < 12	Phonologische Leistung (Akzent)	Die phonologische Leistung korreliert stark mit dem Erwerbsalter der L2. Vor dem 6. Lebensjahr ist es möglich, eine akzentfreie Aussprache zu erreichen. Im Alter zwischen 6 und 12 Jahren zeigt sich ein leichter, aber nicht signifikant abweichender Akzent im Vergleich zu den monolingualen Sprechern. Nach der Pubertät (>12 Jahren) zeigt sich ein signifikanter Leistungsunterschied im Vergleich zu den monolingualen Sprechern.
Yeni-Komshian, Flege & Liu (2000)	1-3, 4-5, 6-7, 8-9, 10-11, 12-13, 14-15, 16-17, 18-19, 20-23	Phonologische Leistung (Akzent)	Die phonologische Leistung korreliert negativ mit dem Erwerbsalter der L2. Sowohl bei den früh- als auch bei den spät-bilingualen Sprechern nimmt die phonologische Leistung in der L2 mit zunehmendem Alter ab, wohingegen die phonologische Leistung in der L1 nur bei den früh-bilingualen Sprechern abnimmt.



## **1.2 Neurophysiologische Forschungsergebnisse zum L2-Prozess**

Einer Antwort auf die Frage, welche Hirnregionen an welchen Sprachsubsystemen beteiligt sind, ist man mit Hilfe von hämodynamischen bzw. elektrophysiologischen Methoden näher gekommen. Insbesondere ermöglichen es die hämodynamischen Methoden (fMRI/PET), die Lokalisation der zerebralen Aktivierung, die auf bestimmte Sprachprozesse zurückgeführt werden kann, darzustellen. Im Vergleich zu elektrophysiologischen Verfahren haben die hämodynamischen Methoden aber eine geringere zeitliche Präzision bei der Auflösung des fMRI/PET-Bildes (Brown & Hagoort, 2000: 19, 23).

Bezüglich des L2-Prozesses fokussieren die neurophysiologischen Verfahren die kortikale Organisation der L1 und der L2, wie z.B. die zerebralen Aktivierungsorte und die Aktivierungsgröße der L1 und L2 und zeitliche Informationen zum L1- bzw. L2-Prozess. Schließlich tragen die neurophysiologischen Verfahren dazu bei, das neuronale Korrelat der L1 und der L2 zu finden. Im Folgenden werden die hämodynamischen und elektrophysiologischen Befunde zur Organisation des bilingualen Gehirns kurz zusammengefasst (Details, s. Kim, 2003). Dabei werden die aus diesen Befunden resultierenden Fragestellungen bzw. Annahmen erwähnt.

### **1.2.1 Hämodynamische Daten**

Die Ergebnisse der bisherigen hämodynamischen Studien über die Verhältnisse bei der zerebralen Aktivierung zwischen dem L1- und L2-Prozess sind uneinheitlich (z.B. Abutalebi et al., 2001; Müller, 2003a; Indefrey, 2006). Dabei geht es um drei Fragen: (1) Gibt es einen Unterschied zwischen dem L1- und dem L2-Prozess auf kortikaler Ebene? (2) In welchen zerebralen Regionen lassen sich der L1- und der L2-Prozess unterscheiden, falls es einen zerebralen Unterschied zwischen L1- und L2-Prozessen gibt? (3) Welche Einflussfaktoren finden sich bei der kortikalen Organisation der L1 und der L2?

Der erste Punkt führt zu der Frage, ob die L1 und die L2 im Gehirn unterschiedlich

## 1. Theoretische Grundlagen: Zweitsprache und Gehirn

oder ähnlich repräsentiert sind. Einige Studien fanden heraus, dass sich unterschiedliche Aktivierungsmuster der L1 und L2 zeigten (Perani et al., 1996; Kim et al., 1997; Dehaene et al., 1997), wohingegen einige andere Studien zeigten, dass es keinen Unterschied bei der kortikalen Aktivierung zwischen der L1 und L2 gab (Klein et al., 1995; Illes, 1999).

Bezüglich des zweiten Diskussionspunktes (s. Seite 8) berichten die meisten Studien, dass der L2-Prozess eine größere bzw. zusätzliche zerebrale Aktivierung benötigt als der L1-Prozess, insbesondere im linken gyrus frontalis inferior (z.B. Chee et al., 2001; Vingerhoets et al., 2003; Wartenburger et al., 2003; Golestani et al., 2006). Es wird von einzelnen Studien berichtet, dass neben dem linken gyrus frontalis inferior (BA 44, 45, 47) andere Hirnregionen wie z.B. der linke gyrus frontalis medius, der lobus parietalis inferior sowie der linke gyrus cinguli anterior beim L2-Prozess stärker bzw. zusätzlich aktiviert werden als beim L1-Prozess (Indefrey, 2006). Es wird vermutet, dass die stärkere Aktivierung beim L2-Prozess im Vergleich zum L1-Prozess mit dem größeren kognitiven Anspruch assoziiert sein könnte (z.B. Chee et al., 2001; Vingerhoets et al., 2003; Golestani et al., 2006, vgl. Indefrey, 2006). Perani et al. (2003) weisen aber darauf hin, dass diese zusätzliche Aktivierung der Hirnregionen lediglich bei der Sprachproduktion in der L2 (z.B. Wortgenerierung) zu beobachten ist. Im Gegensatz dazu wird beim Sprachverständnis eine geringere Aktivierung bei der L2 im Vergleich zur L1 beobachtet. Wie auch Abutalebi et al. (2001) interpretieren Perani et al. die zusätzliche Aktivierung bei den Spät-Bilingualen mit einem niedrigen Sprachniveau als benötigte Verstärkung für die Sprachproduktion in der L2, die geringere Aktivierung bei den Spät-Bilingualen mit einem niedrigen Sprachniveau dagegen als begrenzte Ausarbeitung der linguistischen Aufgaben in der L2.

Der dritte Punkt, bei dem es um die für die unterschiedlichen kortikalen Repräsentationen der L1 und L2 verantwortlichen Faktoren geht, kann wiederum nicht eindeutig geklärt werden. Einige Studien nehmen an, dass sich der Unterschied bei der kortikalen Aktivierung zwischen der L1 und der L2 (z.B. die größere Aktivierung bei der L2 im Vergleich zur L1) auf das Erwerbsalter zurückführen lässt, wohingegen

andere Studien vermuten, dass das erreichte Sprachniveau mit den unterschiedlichen kortikalen Repräsentationen der L1 und L2 zusammenhängt. Das heißt, das Erwerbsalter und das erreichte Sprachniveau werden häufig als Faktoren betrachtet, die die kortikale Organisation der L1 und der L2 beeinflussen. Diese beiden Faktoren (Erwerbsalter bzw. Sprachniveau) werden im Folgenden ausführlicher behandelt. Ein Überblick über die bisherigen fMRI- sowie PET-Ergebnisse findet sich in Tabelle 3.

### a) Einfluss des Erwerbsalters auf die zerebrale Repräsentation

Es wird viel diskutiert, ob das Erwerbsalter einen Einfluss auf die kortikale Organisation der L2 haben könnte, d.h. ob die kortikale Organisation der L2 davon abhängt, in welchem Alter die L2 erworben wird. Aufgrund einiger Forschungsergebnisse wird vermutet, dass die L1 und die L2 ein gemeinsames neuronales Substrat haben könnten, wenn die L2 im frühen Kindesalter erworben wird. Im Gegensatz dazu könnten die L1 und L2, wenn die L2 später (z.B. im höheren Schulalter bzw. nach der Pubertät) erworben wird, unterschiedliche neuronale Substrate haben.

Zum Beispiel wird berichtet, dass Früh-Bilinguale, die die L2 im frühen Kindesalter erworben haben, eine gemeinsame zerebrale Repräsentation von L1 und L2 aufweisen (Klein et al., 1995; Kim et al., 1997; Hernandez et al., 2001; Wartenburger et al., 2003). Im Gegensatz dazu zeigten Spät-Bilinguale, die die L2 im höheren Schulalter bzw. nach der Pubertät erworben haben, unterschiedliche zerebrale Repräsentationen der L1 und L2 bzw. zusätzliche zerebrale Aktivierungen, die am L2-Prozess beteiligt waren (Kim et al., 1997; Perani et al., 1996; Vingerhoets et al., 2003; Wartenburger et al., 2003).

Der Einfluss des Erwerbsalters auf die zerebrale Repräsentation wird ebenfalls bei der Gebärdensprache berichtet (s. den Überblick in Tabelle 2). Neville et al. (1998) sowie Newman et al. (2001) berichten, dass es eine unterschiedliche hemisphärische Dominanz in Abhängigkeit vom L2(ASL oder Englisch)-Erwerbsalter gab. Zum Beispiel zeigten Früh-L2(Englisch)-Lerner beim Lesen der L2 eine links-hemisphärische Lateralisation, wohingegen Spät-L2(Englisch)-Lerner beim Lesen der L2 eine rechts-dominante Aktivierung zeigten (Neville et al., 1998). In einer anderen

## 1. Theoretische Grundlagen: Zweitsprache und Gehirn

Studie zeigten die Früh-L2(ASL)-Lerner eine bilaterale Aktivierung aber keine linkshemisphärische Dominanz, wohingegen die Spät-L2(ASL)-Lerner eine bilaterale Aktivierung mit einer linkshemisphärischen Dominanz zeigten (Newman et al., 2001).

Aufgrund dieser Forschungsergebnisse kann man vermuten, dass das Erwerbssalter eine Rolle dabei spielt, ob die L1 und die L2 in denselben Hirnregionen zerebrale Aktivierung zeigen, oder ob eine zusätzliche Aktivierung für den L2-Prozess benötigt wird.

### b) Einfluss des erreichten Sprachniveaus auf die zerebrale Repräsentation

Einige Ergebnisse deuten darauf hin, dass die kortikale Organisation der L2 davon abhängt, welches Niveau in der L2 erreicht wird. Dabei wird betont, dass das erreichte Sprachniveau bei der kortikalen Organisation der L2 eine wichtigere Rolle als das Erwerbssalter spielt. Zum Beispiel zeigen Spät-Bilinguale nicht unbedingt unterschiedliche zerebrale Repräsentationen der L1 und der L2. Einige Forscher fanden heraus, dass Spät-Bilinguale, die ein relativ hohes Sprachniveau haben, eine gemeinsame zerebrale Repräsentation aufweisen (Perani et al., 1998; Chee et al., 1999; Klein et al., 1999), wohingegen Spät-Bilinguale, die ein relativ niedriges Sprachniveau haben, getrennte zerebrale Repräsentation der L1 und L2 zeigen (Yetkin et al., 1996; Perani et al., 1998; Chee et al., 2001; Wartenburger et al., 2003; Golestani et al., 2006).

Perani et al. (1998) berichten, dass keine Unterschiede beim zerebralen Aktivierungsmuster zwischen Früh-Bilingualen und Spät-Bilingualen mit einem hohen Sprachniveau beobachtet wurden, wohingegen sich Unterschiede beim zerebralen Aktivierungsmuster zwischen Spät-Bilingualen mit einem hohen Sprachniveau und Spät-Bilingualen mit einem niedrigen Sprachniveau fanden. Die durch das Sprachniveau bedingten Unterschiede wurden auch von Yetkin et al. (1996) sowie Chee et al. (2001) beschrieben. Yetkin et al. fanden heraus, dass es Unterschiede bei der Aktivierungsgröße der L1 und der nicht-flüssigen L3 gab, wohingegen sich keine Unterschiede bei der Aktivierungsgröße der L1 und der flüssigen L2 zeigten.

Ebenso fanden Chee et al. (2001) heraus, dass sich bei der semantischen Verarbeitung

in der nicht-flüssigen Sprache zusätzliche Aktivierungsorte (in der linken bzw. rechten inferioren Frontalregion) im Vergleich zur semantischen Verarbeitung der flüssigen Sprache zeigten. Die zusätzlichen zerebralen Aktivierungsorte können nach Chee et al. als Verstärkung für die semantische Verarbeitung in der nicht-flüssigen Sprache verstanden werden. Der Effekt des Sprachniveaus auf die zerebrale Repräsentation der semantischen Verarbeitung wird auch bei Wartenburger et al. (2003) berichtet. Nach Wartenburger et al. zeigte sich die größere Aktivierung im linken inferioren Frontalbereich nur bei der spät-bilingualen Gruppe mit einem niedrigen Sprachniveau.

Einen Hinweis zum Einfluss des Sprachniveaus auf die neuronale Organisation der syntaktischen Verarbeitung findet sich bei Golestani et al. (2006), die herausfanden, dass das Sprachniveau mit der Distanz zwischen den stärksten Aktivierungsorten der L1 und der L2 korreliert. Die Distanz zwischen den am stärksten aktivierten Orten von L1 und L2 war bei den Spät-Bilingualen mit einem niedrigen Sprachniveau größer als bei den übrigen Spät-Bilingualen. Außerdem zeigte sich eine positive Korrelation zwischen dem Sprachniveau und der Hirnaktivität im Bereich des linken Okzipitalkortex sowie im Bereich der Basalganglien bzw. des Corpus striatum (z.B. linker nucleus caudatus und Putamen). Daher vermuten Golestani et al. (2006), dass bei den Spät-Bilingualen mit einem hohen Sprachniveau während der syntaktischen Verarbeitung das prozedurale Gedächtnissystem stärker eingreift als bei den Spät-Bilingualen mit einem niedrigen Sprachniveau. Aus diesen Forschungsergebnissen folgt, dass das Sprachniveau bei der kortikalen Organisation der L1 und L2 ein wichtigerer Faktor als das Erwerbssalter sein könnte.

## 1. Theoretische Grundlagen: Zweitsprache und Gehirn

**Tabelle 2:** fMRI- sowie PET-Studien in der Gebärdensprache

Studie	Aufgabe	Verfahren	Erwerbssalter	Ergebnisse
Neville et al. (1998)	Lesen von Sätzen in der L1 & L2	fMRI	vor dem Schulalter vs. im Schulalter	<p>Beim Lesen der L1 (ASL): Kein Unterschied zwischen den beiden Gruppen. Beide Gruppen zeigten bei der bilateralen Aktivierung eine signifikante links-hemisphärische Dominanz.</p> <p>Beim Lesen der L2 (Englisch): Gruppenunterschied</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Früh-L2-Lerner --&gt; Links-hemisphärische Dominanz</li> <li>- Spät-L2-Lerner --&gt; Rechts-hemisphärische Dominanz</li> </ul>
Newman et al. (2001)	Lesen von Sätzen in der L1 & L2	fMRI	vor dem Schulalter vs. im Schulalter	<p>Beim Lesen der L1(Englisch): Kein Unterschied zwischen den beiden Gruppen. Beide Gruppen zeigten eine bilaterale Aktivierung, die in der linken Hemisphäre stärker ausgeprägt war als in der rechten.</p> <p>Beim Lesen der L2 (ASL): Gruppenunterschied</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Früh-L2-Lerner --&gt; Keine links-hemisphärische Dominanz</li> <li>- Spät-L2-Lerner --&gt; Links-hemisphärische Dominanz, Aktivierung im rechten gyrus angularis.</li> </ul>

## 1. Theoretische Grundlagen: Zweitsprache und Gehirn

**Tabelle 3:** fMRI- und PET-Studien in der gesprochenen Sprache.

Studie	Aufgabe	Verfahren	Erwerbsalter	L2-Niveau	Ergebnisse
Klein et al. (1995)	Wort-generierung	PET	> 5	flüssig	Es zeigten sich ähnliche zerebrale Repräsentationen der L1 und L2 bei den spät-bilingualen Sprechern, die die L2 flüssig sprachen.
Yetkin et al. (1996)	Wort-generierung	fMRI	im späteren Erwerbsalter	flüssig: L1, L2 nicht flüssig: L3	Es besteht ein signifikanter Unterschied zwischen der L1 und der nicht-flüssigen L3, aber kein Unterschied zwischen der L1 und der flüssigen L2.
Perani et al. (1996).	Hören eines Textes	PET	< 7	moderate	Eine zusätzliche Aktivierung, die nur bei der L1 beobachtet wurde, fand sich im Bereich des linken gyrus parietalis inferior (BA 39), des bilateralen Temporalpols sowie des linken gyrus frontalis inferior (BA 45).
Dehaene et al. (1997)	Hören eines Textes in der L1 & L2	fMRI	> 7	flüssig	Beim Hören der L1 zeigte sich eine links-hemisphärische Lateralisation. Beim Hören der L2 zeigte sich eine individuelle Variabilität (von einer kompletten rechts-hemisphärischen Lateralisation bis zu einer links-hemisphärischen Lateralisation).
Kim et al. (1997)	Satz-generierung	fMRI	Säugling vs. > Pubertät	flüssig vs. nicht flüssig	Früh-bilinguale Sprecher (< 7 Jahre) haben eine identische zerebrale Repräsentation der L1 und der L2. Hingegen zeigen spät-bilinguale Sprecher (> 7 Jahre) zwei getrennte kortikale Repräsentationen der L1 und der L2.
Perani et al. (1998)	Hören eines Textes	PET	< 4 vs. > 10	hoch vs. niedrig	Es gibt keine signifikanten Unterschiede zwischen der früh- und der spät-bilingualen Gruppe, wenn deren Sprecher ein hohes Sprachniveau besitzen.
Chee et al. (1999)	Wort-generierung	fMRI	< 6 vs. > 12	flüssig	Sowohl früh- als auch spät-bilinguale Sprecher haben gemeinsame kortikale Repräsentationen der L1 und der L2, wenn die L2 sehr flüssig gesprochen wird.

## 1. Theoretische Grundlagen: Zweitsprache und Gehirn

Studie	Aufgabe	Verfahren	Erwerbsalter	L2-Niveau	Ergebnisse
Klein et al. (1999)	Wort-generierung	PET	> 10	flüssig	Überlappende kortikale Organisationen der L1 und der L2 werden bei den spät-bilingualen Sprechern mit guten Sprachkenntnissen beobachtet.
Hernandez et al. (2000, 2001)	Benennen	fMRI	< 6	flüssig	Bei den früh-bilingualen Sprechern werden sowohl die L1 als auch die L2 in identischen kortikalen Regionen repräsentiert.
Chee et al. (2001)	semantische Beurteilung	fMRI	< 5 vs. > 12	flüssig vs. nicht flüssig	Das BOLD-Signal im Bereich der linken präfrontalen sowie parietalen Regionen ist während der semantischen Verarbeitung in der nicht-flüssigen Sprache größer als während der in der flüssigen Sprache. Es gab auch eine zusätzliche Aktivierung im Bereich der rechten und linken inferioren Frontalregionen (Operculum) während der semantischen Verarbeitung in der nicht-flüssigen Sprache.
Vingerghoets et al. (2003).	Wort-flüssigkeit, Bildbenennen und Lesen	fMRI	10.3 (L2) 13.5 (L3)	flüssig	Bei der Wortflüssigkeit zeigte sich bei der L2 und L3 im Vergleich zur L1 eine zusätzliche Aktivierung im Bereich der linken posterioren Temporallappen. Beim Bildbenennen zeigte sich eine zusätzliche Aktivierung im frontalen Bereich (z.B. Broca-Areal) in der L2 und der L3 im Vergleich zur L1. Beim Lesen zeigte sich ebenfalls eine zusätzliche Aktivierung im frontalen Bereich in der L2 und der L3 im Vergleich zur L1.
Wartenburger et al. (2003)	semantische und syntaktische Beurteilung	fMRI	> 6 vs. < 6	hoch vs. niedrig	Bei der semantischen Verarbeitung gab es keinen Erwerbsalter-bedingten Unterschied, aber es zeigte sich der Effekt des Sprachniveaus: es zeigte sich nur bei der spät-bilingualen Gruppe mit einem niedrigen Sprachniveau die größere Aktivierung im linken inferioren Frontalbereich. Bei der syntaktischen Verarbeitung gab es einen Erwerbsalter-bedingten Unterschied: die spät-bilinguale Gruppe zeigte eine größere Aktivierung im inferioren Frontalbereich.



## 1. Theoretische Grundlagen: Zweitsprache und Gehirn

<b>Studie</b>	<b>Aufgabe</b>	<b>Verfahren</b>	<b>Erwerbsalter</b>	<b>L2-Niveau</b>	<b>Ergebnisse</b>
Golestani et al. (2006)	Satz-generierung	fMRI	10-12	hoch vs. niedrig	Es zeigte sich im Bereich des linken gyrus frontalis inferior eine größere Aktivierung bei der L2 im Vergleich zur L1. Es gab eine positive Korrelation zwischen dem Sprachniveau und der Hirnaktivität im Bereich des linken Okzipitalkortex sowie des linken nucleus caudatus und Putamen. Das Sprachniveau korrelierte mit der Distanz zwischen den Aktivierungsorten der L1 und L2.

### 1.2.2 Elektrophysiologische Daten

Auch die bisherigen elektrophysiologischen Studien kommen, was die wesentlichen Faktoren bei der kortikalen Organisation der L1 und L2 angeht, zu unterschiedlichen Ergebnissen. Einerseits wird berichtet, dass das Erwerbssalter einen Einfluss auf die während des L2-Prozesses aufgezeichnete elektrophysiologische Antwort hat (z.B. Weber-Fox & Neville, 1996). Andererseits wird berichtet, dass dem Sprachniveau die entscheidendere Rolle bei der elektrophysiologischen Antwort bei der L2 zukommt (Hahne & Friederici, 2001; Hahne, 2002; Moreno & Kutas, 2005).

Die *event-related potential* (ERP)-Ergebnisse von Weber-Fox und Neville (1996) scheinen die Annahme, dass das Erwerbssalter die kortikale Organisation der L1 und L2 beeinflusst, zu unterstützen. Ihre Untersuchungsergebnisse zeigen, dass es Unterschiede zwischen den bilingualen Gruppen gibt, die sich auf das Erwerbssalter zurückführen lassen. Die Tatsache, dass Früh-Bilinguale (Erwerbssalter: 1.-10. Lebensjahr) eine Reaktion auf den Verstoß gegen syntaktische Regeln (P600-Effekt) zeigten, Spät-Bilinguale (> 16. Lebensjahr) jedoch nicht, weist darauf hin, dass das Erwerbssalter einen starken Einfluss auf die kortikale Verarbeitung der L2 hat. Die zeitliche Verzögerung der Reaktion (d.h. die P600-Peak-Latenz) auf den Verstoß gegen syntaktische Regeln bei Spät-Bilingualen (> 10. Lebensjahr) deutet ebenfalls darauf hin, dass das Erwerbssalter einen Einfluss auf die Hirnaktivität des syntaktischen Prozesses der L2 hat. Die verzögerte P600-Peak-Latenz (d.h. der P600-Effekt tritt nicht im Zeitfenster von 500 bis 700 ms, sondern erst im Zeitfenster von 700 bis 900 ms auf) lässt sich bereits ab einem L2-Erwerbssalter von 11 Jahren feststellen. Weber-Fox und Neville nehmen aber an, dass das Erwerbssalter einen geringeren Einfluss auf die Hirnaktivität des semantischen Prozesses als auf die Hirnaktivität des syntaktischen Prozesses hat. Diese Annahme liegt darin begründet, dass sowohl die Früh- als auch die Spät-Bilingualen eine Reaktion auf semantische Anomalien (d.h. den N400-Effekt) zeigten.

Die zeitliche Verzögerung der Reaktion auf semantische Anomalien bei Spät-Bilingualen findet sich bei Hahne (2001) sowie Hahne und Friederici (2001). Ihre Untersuchungsergebnisse zeigen, dass die N400-Peak-Latenz bei den Spät-Bilingualen mit

etwa 100 ms Verzögerung auftrat. Wie in der Studie von Weber-Fox und Neville (1996) fehlte bei den Spät-Bilingualen der P600-Effekt beim Erkennen von syntaktisch inkorrekten Sätzen. In diesem Fall hatten die Spät-Bilingualen, die erst nach der Pubertät die L2 gelernt hatten, ein moderates Sprachniveau (Hahne & Friederici, 2001). Im Gegensatz dazu zeigten die Spät-Bilingualen, die zwar ebenfalls erst nach der Pubertät die L2 gelernt hatten, aber ein gutes Sprachniveau besaßen, den P600-Effekt (Hahne, 2001). Aufgrund dieser Ergebnisse kann nur festgestellt werden, dass das Sprachniveau einen Einfluss auf die Hirnaktivität der syntaktischen Verarbeitung hat. In den beiden Studien von Hahne (2001) und Hahne und Friederici (2001) lässt sich jedoch nicht feststellen, ob es einen Unterschied zwischen Früh- und Spät-Bilingualen gibt, da in diesen Studien nur Spät-Bilinguale mit Monolingualen verglichen wurden.

Bezüglich der ERP-Peak-Latenz scheint zusammengefasst das Erwerbssalter einen Einfluss auf die elektrophysiologischen Antworten sowohl der semantischen als auch der syntaktischen Verarbeitung zu haben (z.B. Weber-Fox & Neville, 1996). Die Frage nach dem möglichen Einfluss des Sprachniveaus auf die ERP-Peak-Latenz bei der semantischen bzw. syntaktischen Verarbeitung kann aufgrund der oben beschriebenen ERP-Ergebnisse jedoch nicht beantwortet werden, denn es wurde kein direkter Vergleich zur N400-/P600-Peak-Latenz zwischen spät-bilingualen Gruppen mit unterschiedlichen Sprachniveaus gemacht. Ein Hinweis für den Einfluss des erreichten Sprachniveaus auf die Hirnaktivität bei der semantischen Verarbeitung findet sich bei Moreno und Kutas (2005), die herausfanden, dass sowohl das Erwerbssalter als auch das erreichte Sprachniveau eine Rolle bei der N400-Peak-Latenz spielt.

Bezüglich des Vorhandenseins des ERP-Effektes scheint es keinen Einfluss des Erwerbssalters auf die Hirnaktivität bei semantischen Prozessen in der L2 zu geben. Dies wird sowohl aus den Ergebnissen von Weber-Fox & Neville (1996) als auch aus den Ergebnissen von Hahne (2001) sowie Hahne und Friederici (2001) deutlich. Bei syntaktischen Prozessen in der L2 sind die ERP-Ergebnisse jedoch unterschiedlich. Nach Weber-Fox und Neville (1996) zeigt sich kein P600-Effekt bei denjenigen, die nach der Pubertät die L2 erworben haben. Dieses Ergebnis stimmt zwar mit den

Untersuchungen von Hahne und Friederici (2001), bei denen ebenfalls die Spät-Bilingualen nach der Pubertät die L2 erworben hatten und ein moderates Sprachniveau besaßen, überein, es steht jedoch im Widerspruch zu den Ergebnissen einer Studie von Hahne (2002), der von Spät-Bilingualen berichtet, die nach der Pubertät die L2 erworben hatten und ein gutes Sprachniveau besaßen, und bei denen der P600-Effekt auftrat, so dass davon auszugehen ist, dass sowohl das Erwerbssalter als auch das erreichte Sprachniveau einen Einfluss auf das Vorhandensein des P600-Effekts haben.

Eine aktuelle ERP-Studie von Osterhout et al. (2006) liefert einen Hinweis darauf, dass das Auftreten des P600-Effekts lediglich vom erreichten Sprachniveau abhängt. Osterhout et al. fanden heraus, dass der P600-Effekt in der initialen Lernphase fehlte, in der fortgeschrittenen Lernphase jedoch auftrat. Interessant ist, dass der P600-Effekt bereits nach einer viermonatigen L2-Lernphase auftrat. Außerdem ist die Ausprägungsstärke des P600-Effekts ebenfalls stark mit dem erreichten Sprachniveau assoziiert, d.h. je höher das Leistungsniveau in der L2<sup>1</sup> ist, desto stärker ist die Ausprägung des P600-Effekts. Der Einfluss des erreichten Sprachniveaus wurde ebenfalls bei der lexikalisch-semanticen Verarbeitung beobachtet, innerhalb derer das Sprachniveau einen starken Einfluss auf das Auftreten des N400-Effekts sowie die Ausprägungsstärke des N400-Effekts hatte (McLaughlin, Osterhout & Kim, 2004).

Die Befunde von Osterhout et al. (2006) zeigen, welches Sprachniveau erreicht werden muss, um einen P600-/N400-Effekt auszulösen. Daraus wird ersichtlich, wie neuronale Veränderungen in Abhängigkeit von den L2-Kenntnissen stattfindet. Weiterhin geht aus der Studie hervor, dass bei geringeren L2-Kenntnissen (d.h. nach einer einmonatigen L2-Lernphase) der N400-Effekt statt des P600-Effekts auftrat. In der fortgeschrittenen Lernphase (d.h. nach einer viermonatigen Lernphase) trat jedoch der P600-Effekt auf. Vor allem wurde bei zunehmenden L2-Kenntnissen die Ausprägung des P600-Effekts immer stärker. Osterhout et al. (2005, 2006) vermuten, dass bei der initialen L2-Lernphase die lexikalisch-semanticen Verarbeitung benötigt wird, um die

---

<sup>1</sup> In der Studie von Osterhout et al. (2005) wurde die Fremdsprache als L2 verwendet.

## 1. Theoretische Grundlagen: Zweitsprache und Gehirn

syntaktisch inkorrekten Sätze zu analysieren, weil die lexikalischen Elemente noch nicht grammatikalisiert sind.

Die bisherigen ERP-Studien (s. den Überblick in Tabelle 4) liefern keine einheitlichen Ergebnisse, so dass vermutet werden kann, dass sowohl das Erwerbsalter als auch das Sprachniveau als Einflussfaktoren bei der kortikalen Organisation der L1 und L2 betrachtet werden können. Die Frage, inwiefern beide Faktoren unabhängig voneinander die kortikale Verarbeitung und Organisation der L2 beeinflussen, bleibt noch offen. Im Folgenden werden einige relevante neurokognitive Modelle zum L2-Prozess vorgestellt, innerhalb derer einige der oben erwähnten neurophysiologischen Daten zu diskutieren sind.

## 1. Theoretische Grundlagen: Zweitsprache und Gehirn

**Tabelle 4:** ERP-Studien zu L1- bzw. L2-Sprachprozessen.

Studie	Aufgabe	Verfahren	Erwerbsalter	L2-Niveau	Ergebnisse
Weber-Fox & Neville (1996)	semantische und syntaktische Beurteilung	ERP	1-3, 4-6, 7-10, 11-13, >16	unterschiedlich: von hoch bis niedrig	Bei den semantisch inkorrekten Sätzen ist die N400 ab dem Alter von 16 Jahren signifikant reduziert. Bei den syntaktisch inkorrekten Sätzen reduziert sich die P600 bereits ab dem Alter von 11 Jahren signifikant.
Hahne & Friederici (2001)	semantische und syntaktische Beurteilung	ERP	nach der Pubertät	moderate Sprachkenntnisse	Bei der semantischen Beurteilung zeigt sich der N400-Effekt sowohl bei der monolingualen als auch bei der spät-bilingualen Gruppe. Die Latenzzeit der N400 wird bei der spät-bilingualen Gruppe verzögert. Bei der syntaktischen Beurteilung zeigt sich im Vergleich zur monolingualen Gruppe weder ELAN noch die P600.
Hahne (2001)	semantische und syntaktische Beurteilung	ERP	nach der Pubertät	gute Sprachkenntnisse	Bei den semantisch inkorrekten Sätzen zeigt sowohl die monolinguale als auch die spät-bilinguale Gruppe den N400-Effekt. Der N400-Effekt ist bei der monolingualen Gruppe größer als bei der bilingualen Gruppe. Bei den syntaktisch inkorrekten Sätzen tritt bei der monolingualen Gruppe sowohl die ELAN als auch die P600 auf, bei der bilingualen Gruppe hingegen nur die P600.
McLaughlin et al. (2004)	semantische Verarbeitung	ERP	nach der Pubertät	L2-Anfänger	Die Intensität des N400-Effekts korreliert mit dem Sprachniveau: Je höher das Sprachniveau wurde, desto stärker wurde die Ausprägung der N400-Amplitude.
Osterhout et al. (2006)	syntaktische Verarbeitung	ERP	nach der Pubertät	L2-Anfänger	In der initialen Lernphase der L2 zeigte sich statt des P600-Effekts der N400-Effekt. Jedoch trat der P600-Effekt in der fortgeschrittenen Lernphase der L2

1. Theoretische Grundlagen: Zweitsprache und Gehirn

<b>Studie</b>	<b>Aufgabe</b>	<b>Verfahren</b>	<b>Erwerbssalter</b>	<b>L2-Niveau</b>	<b>Ergebnisse</b>
					auf. Dabei wurde die Ausprägung der P600-Amplitude mit zunehmenden L2-syntaktischen Kenntnissen stärker.

### 1.3 Neurokognitive Modelle der L2-Prozesse

Viele L2-Modelle fokussieren den Zusammenhang zwischen dem bilingualen Lexikon und der Semantik (Konzept). Diesbezüglich existieren zahlreiche Modelle wie z.B. das BIA-Modell (Dijkstra van Heuven, 1998, 2002), das IC-Modell (Green, 1986, 1998), das *word association model*, das *concept meditation model* (Potter et al., 1984) und das revised hierarchical model (Kroll und Stewart, 1994). Insbesondere die Modelle von Potter et al. (1984) sowie Kroll und Stewart (1994) erklären, wie das bilinguale Lexikon (L1/L2-Lexikon) mit der Semantik (Konzept) in Abhängigkeit vom Sprachniveau interagiert. Zum Beispiel beeinflusst die Größe des L2-Lexikons die Interaktion zwischen den Lexika (L1/L2-Lexikon) und dem Konzept.

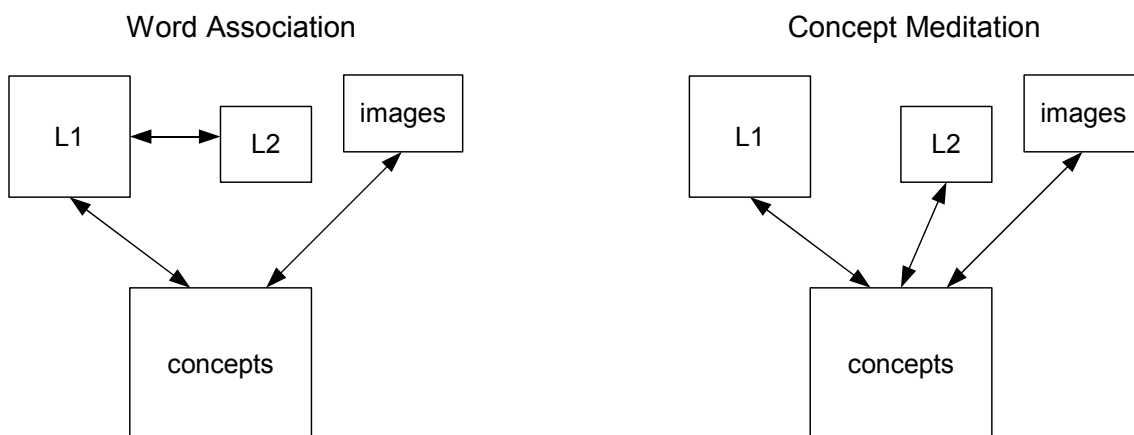
Neben der lexikalisch-semantischen Verarbeitung der L2 gibt es bislang nur ein Modell, das die lexikalische bzw. syntaktische Verarbeitung der L2 erklären kann (z.B. Ullman, 2001, 2004, 2005). Ullman betont die unterschiedliche Rolle der zwei Gedächtnissysteme (deklaratives/prozedurales) bei der bilingualen Sprachverarbeitung. Zum Beispiel wird das lexikalisch-semantische Wissen mit Hilfe des deklarativen Gedächtnissystems gespeichert, wohingegen das grammatische Wissen mit Hilfe des prozeduralen Gedächtnissystems gespeichert wird. Im Hinblick auf den L2-Prozess vermutet Ullman, dass bei den weniger flüssigen Spät-Bilingualen die grammatischen Regeln mit Hilfe des deklarativen Gedächtnissystems gespeichert werden, wohingegen sowohl bei den flüssigen Spät-Bilingualen als auch bei den Früh-Bilingualen die grammatischen Regeln mit Hilfe des prozeduralen Gedächtnissystems gespeichert werden. Im Folgenden werden die oben kurz genannten Modelle ausführlich dargestellt.

#### 1.3.1 Lexikalisches/Konzeptuelles Modell

In diesem Abschnitt werden drei Modelle vorgestellt, die die bilinguale Sprachverarbeitung im Fokus des bilingualen lexikalisch-konzeptuellen Systems darstellen: das *word association model*, das *concept meditation model* (Potter et al., 1984) und das *revised hierarchical model* (Kroll und Stewart, 1994). Alle drei Modelle



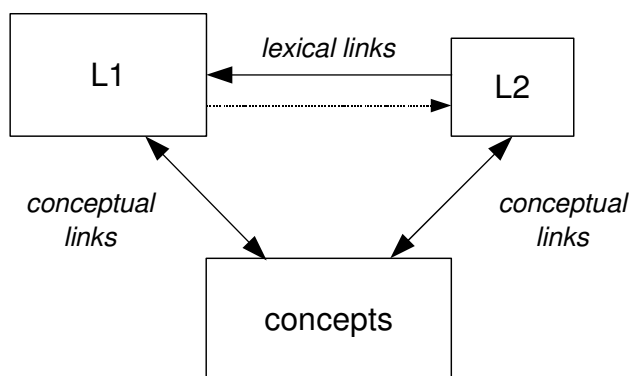
erklären die lexikalisch-semantische Verarbeitung durch die Interaktion zwischen den Lexika für die jeweilige Sprache und dem zugehörigen Konzept. Diese Interaktion zwischen den zwei Lexika und dem Konzept hängt stark vom L2-Sprachniveau ab. Das heißt, wenn das L2-Sprachniveau niedrig ist (z.B. in der initialen L2-Lernphase bei L2-Anfängern), wird die Bedeutung des L2-Wortes nur mit Hilfe des L1-Lexikons erworben (s. Abbildung 1). Wenn im Gegensatz dazu das L2-Sprachniveau hoch ist (z.B. in der fortgeschrittenen L2-Lernphase oder bei flüssigen L2-Sprechern), wird das L2-Lexikon direkt mit dem Konzept interagieren.



**Abb. 1:** Beim *word association model* (WAM, links) erfolgt der semantische Zugriff beim L2-Prozess lediglich durch die lexikalische Route (d.h. Verbindung zwischen L1- und L2-Lexikon), wohingegen beim *concept meditation model* (CMM, rechts) eine direkte Verbindung zwischen dem L2-Lexikon und dem Konzept vorhanden ist (Potter et al., 1984; zitiert in Kroll & Stewart, 1994: 150, leicht verändert).

Als Fusion der beiden Modelle (WAM & CMM) ist das *revised hierarchical model* (RHM, Kroll & Stewart, 1994) anzusehen. Hier interagiert das L2-Lexikon sowohl mit dem L1-Lexikon als auch mit den Konzepten (s. Abbildung 2). Bei der Existenz der Verbindung zwischen dem L2-Lexikon und den Konzepten spielt das L2-Sprachniveau eine bedeutende Rolle. So hat bei flüssigen L2-Lernern das L2-Lexikon eine direkte Verbindung mit den Konzepten, wohingegen bei weniger flüssigen L2-Lernern das L2-Lexikon eine indirekte Verbindung mit den Konzepten über das L1-Lexikon hat. Hierbei spielt das L2-Sprachniveau nicht nur bei der Existenz der Verbindung zwischen dem L2-

Lexikon und den Konzepten sondern auch bei der Verbindungsstärke zwischen dem L2-Lexikon und den Konzepten eine Rolle. Je höher das L2-Sprachniveau ist, desto stärker ist die Verbindung zwischen dem L2-Lexikon und dem Konzept. Schließlich kann das *revised hierarchical model* (RHM) den Unterschied zwischen flüssigen und weniger flüssigen Bilingualen durch eine unterschiedliche Verbindungsstärke auf der lexikalisch-semantic Route erklären.



**Abb. 2:** Beim revidierten hierarchischen Modell ist der semantische Zugriff beim L2-Prozess in Abhängigkeit vom L2-Sprachniveau entweder direkt oder indirekt (über das L1-Lexikon) möglich (Kroll & Stewart, 1996: 158, leicht verändert).

### 1.3.2 Lexikalisches/Grammatikalisches Modell

Ullman (2004) schlägt ein Modell vor, das mit Hilfe des Gedächtnissystems den lexikalischen und grammatischen Prozess in der L2 zu erklären versucht. Die Grundidee dieses Modells liegt in unterschiedlichen Funktionen zweier Gedächtnissysteme (deklarativ vs. prozedural), die mit den verschiedenen neuronalen Systemen sowie mit diversen linguistischen Systemen assoziiert sind. So ist zum Beispiel das deklarative Gedächtnissystem, das vorwiegend dem lobus temporalis medius zugeordnet wird, mit der lexikalischen Verarbeitung (z.B. durch Zugriff auf das mentale Lexikon, s. hierzu Levelt, 1989, 1999; Rickheit & Strohner, 1993; Pinker 2000) assoziiert, wohingegen das prozedurale Gedächtnis, das den Basalganglien, dem gyrus frontalis inferior (vor allem dem Broca-Areal), den prämotorischen Regionen, dem gyrus supramarginalis und dem

Cerebellum zugeordnet wird, mit der syntaktischen Verarbeitung (z.B. durch Zugriff auf die mentale Grammatik, s. hierzu Pinker, 2000) assoziiert ist.

Bezüglich des L2-Prozesses vermutet Ullman (2005), dass der spätere L2-Erwerb auf unterschiedliche Art und Weise die lexikalische und grammatische Verarbeitung beeinflusst. Das heißt, die Spät-Bilingualen haben weniger Probleme bei der lexikalisch-semanticen Verarbeitung als bei der grammatischen Verarbeitung. Den Grund für diesen unterschiedlichen Einfluss des Erwerbsalters auf die linguistischen Systeme erklärt Ullman mit Hilfe seines Modells (deklarativ/prozedurales Modell) folgendermaßen: Die Funktion der beiden Gedächtnissysteme wird mit zunehmendem Alter immer geringer. Vor allem beginnt die Reduzierung der Funktion des prozeduralen Gedächtnissystems früher als die Reduzierung der Funktion des deklarativen Gedächtnissystems. Wie bereits erwähnt, da das prozedurale Gedächtnissystem vorwiegend mit der syntaktischen Verarbeitung assoziiert ist, wohingegen das deklarative Gedächtnissystem vorwiegend mit der lexikalischen Verarbeitung assoziiert ist, ist die syntaktische Verarbeitung mehr von dem Erwerbsalter beeinflusst als die lexikalische Verarbeitung.

Als Evidenz für diese Vermutung nennt Ullman die größere Aktivierung im Frontallappen beim grammatischen Prozess in der L2 im Vergleich zum grammatischen Prozess in der L1. Dies wurde bei Spät-Bilingualen beobachtet, aber nicht bei den Früh-Bilingualen. Jedoch zeigten Spät-Bilinguale beim semantisch-lexikalischen Prozess im zerebralen Aktivierungsmuster keinen Unterschied zwischen der L1 und der L2. Diese Evidenz ist aber problematisch, denn einige Studien berichten, dass sich bei der lexikalisch-semanticen Verarbeitung eine größere Aktivierung in der L2 als in der L1 zeigte, obwohl die meisten Studien jedoch keinen Unterschied zwischen der L1 und L2 berichten (vgl. Indefrey, 2006).

Weiterhin nimmt Ullman an, dass es einen Unterschied zwischen dem früheren und dem späteren L2-Erwerb gibt, der sich auf die altersbedingte Verfügbarkeit der beiden Gedächtnissysteme zurückführen lässt. Zum Beispiel werden die lexikalischen Informationen in der L2 relativ unabhängig vom Erwerbsalter mit Hilfe des deklarativen

## 1. Theoretische Grundlagen: Zweitsprache und Gehirn

Systems gespeichert, während die grammatischen Regeln in der L2 in Abhängigkeit vom Erwerbsalter auf unterschiedliche Art gespeichert werden. Im späteren Erwerbsalter werden die grammatischen Regeln der L2 mit Hilfe des deklarativen Systems gespeichert, wohingegen im früheren Erwerbsalter die grammatischen Regeln in der L2 mit Hilfe des prozeduralen Systems gespeichert werden.

Ullman betont, dass die Speicherung der grammatischen Regeln im späteren Erwerbsalter deswegen besonders schwierig ist, weil nicht alle grammatischen Regeln mit Hilfe des deklarativen Systems gespeichert werden können. Aus diesem Grund speichern Spät-Bilinguale regelbasiertes Wissen als komplexe lexikalisierte Sequenz mit Hilfe des deklarativen Systems. Jedoch haben Spät-Bilinguale Probleme bei der kreativen Produktion dieses regelbasierten Wissens, das normalerweise mit Hilfe des prozeduralen Systems gespeichert wird. Daraus geht hervor, dass es Spät-Bilingualen kaum (oder nur bedingt) möglich ist, ein muttersprachliches Niveau hinsichtlich der grammatischen Kompetenzen zu erreichen. Ullman schließt die Möglichkeit aber nicht aus, dass Spät-Bilinguale grammatische Regeln in Abhängigkeit vom prozeduralen System speichern und somit ein hohes Sprachniveau in der L2 erreichen können. Schließlich ist nach Ullman das Erreichen eines hohen Sprachniveaus von der Benutzung des prozeduralen Systems abhängig, wobei die Benutzung des prozeduralen Gedächtnissystems wiederum von den folgenden Faktoren abhängt: vom Typ des grammatischen Wissens, der Art des L2-Erwerbs und der Lernfähigkeit des prozeduralen Gedächtnisses der L2-Sprecher.

Ullman (2001, 2004, 2005) sieht als Evidenz für die unterschiedliche Benutzung des deklarativen bzw. prozeduralen Gedächtnissystems in Abhängigkeit vom Erwerbsalter das unterschiedliche Restitutionsmuster der L1 und L2 bei bilingualen Aphasikern. Er (2001, 2005) vermutet, dass die unterschiedlichen grammatischen Leistungen in der L1 und L2 bei Aphasikern mit der unterschiedlichen Benutzung des deklarativen bzw. prozeduralen Gedächtnissystems zusammenhängt. Zum Beispiel führen Läsionen des Temporallappens zu einer schlechteren grammatischen Leistung in der L2 als in der L1, wohingegen Läsionen in den Basalganglien und im linken Frontallappen zu einer

schlechteren Leistung in der L1 als in der L2 führen<sup>1</sup>. Den Grund dafür erklärt Ullman folgendermaßen: Da das deklarative System dem medialen Temporallappen zugeordnet wird, und da die Wahrscheinlichkeit hoch ist, dass grammatische Kenntnisse in der L2 mit Hilfe des deklarativen Systems gespeichert sind, führt die Schädigung des Temporallappens zu einer größeren Beeinträchtigung der grammatischen Verarbeitung in der L2 als in der L1. Im Gegensatz dazu verursacht eine Schädigung der Basalganglien sowie des linken Frontallappens eine größere Beeinträchtigung der grammatischen Verarbeitung in der L1 als in der L2, weil die grammatischen Kenntnisse in der L1 mit Hilfe des prozeduralen Systems, das den Basalganglien sowie dem linken gyrus frontalis inferior zugeschrieben wird, gespeichert sind. Da im Vergleich zur grammatischen Verarbeitung in der L1 die grammatische Verarbeitung in der L2 mehr vom deklarativen Gedächtnis abhängt, wohingegen die grammatische Verarbeitung in der L1 in Abhängigkeit vom prozeduralen Gedächtnis läuft, führt eine Läsion im Frontallappen sowie in den Basalganglien zu einer größeren Beeinträchtigung der grammatischen Verarbeitung in der L1 als in der L2, wohingegen Läsionen des medialen Temporallappens eine größere Beeinträchtigung der grammatischen Verarbeitung in der L2 als in der L1 verursachen.

Zusammenfassend postuliert das Deklarativ/Prozedurales-Modell (Ullman, 2004, 2005), dass das deklarative Gedächtnissystem und das mentale Lexikon ein gemeinsames neuronales Korrelat (z.B. den medialen Temporallappen) haben, genauso wie auch das prozedurale Gedächtnissystem und die mentale Grammatik ein gemeinsames neuronales Korrelat (Basalganglien, gyrus frontalis inferior, gyrus marginalis sowie Cerebellum) haben. Hieraus geht hervor, dass das deklarative Gedächtnissystem bei der lexikalischen Verarbeitung den größeren Beitrag leistet, wohingegen das prozedurale Gedächtnissystem zur grammatischen Verarbeitung beiträgt. Bezüglich des L2-Prozesses hängt die Verfügbarkeit der beiden

---

<sup>1</sup> Ullman (2004) vermutet, dass der mittlere Bereich des Temporallappens für den Prozess des deklarativen Gedächtnisses zuständig ist, wohingegen Frontallappen, Parietallappen, Basalganglien und Cerebellum am Prozess des prozeduralen Gedächtnisses beteiligt sind.

Gedächtnissysteme (deklarativ/prozedural) vom Erwerbssalter ab. Der Einfluss des Erwerbssalters betrifft insbesondere die grammatische Verarbeitung. Der Anteil des prozeduralen Gedächtnissystems an der grammatischen Verarbeitung verkleinert sich mit zunehmendem Erwerbssalter der L2. Aus diesem Grund wird das grammatische Wissen bei Spät-Bilingualen normalerweise mit Hilfe des deklarativen Gedächtnissystems gespeichert. Da die Möglichkeit der Verfügbarkeit des prozeduralen Gedächtnisses jedoch nicht ausgeschlossen ist, können Spät-Bilinguale mit zunehmenden L2-Kenntnissen ebenfalls grammatisches Wissen der L2 mit Hilfe des prozeduralen Gedächtnissystems speichern.

### **1.3.3 Implizites/Explizites Modell**

Eine ähnliche L2-Erwerbs-Theorie, der das Gedächtnissystem zugrunde liegt, findet sich bei Paradis (2004, 2006). Die Grundidee liegt in einer Trennung zwischen zwei unterschiedlichen Arten der Sprachbenutzung, nämlich die implizite und die explizite Benutzung. Die implizite Sprachbenutzung erfolgt durch die implizite linguistische Kompetenz, die mit Hilfe des prozeduralen Gedächtnisses kodiert ist, wohingegen die explizite Sprachbenutzung durch metalinguistisches Wissen erfolgt, das mit Hilfe des deklarativen Gedächtnisses kodiert ist. Paradis vermutet, dass für die L2-Benutzung metalinguistisches Wissen benötigt wird, wohingegen für die L1-Benutzung auf die implizite Kompetenz zugegriffen wird. Dabei betont Paradis die Rolle des Erwerbssalters. Er postuliert, dass die L2-Sprachentwicklung grundsätzlich anders als die L1-Sprachentwicklung ist. So erlernen beim L1-Erwerb die Kinder zunächst die implizite Kompetenz und danach mit zunehmendem Alter das metalinguistische Wissen, weil metalinguistisches Wissen mehr kognitive Kapazität benötigt. Im Gegensatz dazu lernen Spät-Bilinguale zunächst metalinguistisches Wissen der L2 und danach mit zunehmender Automatisierung die implizite linguistische Kompetenz. Obwohl sich metalinguistisches Wissen nicht mit zunehmender Automatisierung in eine implizite Kompetenz wandelt, kann eine allmähliche Umstellung der Sprachbenutzung stattfinden, die durch die sich steigernde Automatisierung (d.h. mit steigendem

## 1. Theoretische Grundlagen: Zweitsprache und Gehirn

Sprachniveau) verursacht wird. Das hieße, mit zunehmender Automatisierung kann die Verfügbarkeit der impliziten Kompetenz steigen, so dass flüssige L2-Sprecher durch Übung immer mehr implizite linguistische Kompetenzen benutzen können.

## 2. Methodische Grundlagen: EEG-/ERP-Methode

Der erste Bericht darüber, dass man mit Hilfe von Elektroden die elektrische Hirnaktivität an der Oberfläche des Schädels oder an der Hirnrinde messen kann, findet sich bei dem britischen Physiologen Richard Caton (1875), der die elektrische Hirnaktivität von Tieren (z.B. Katzen, Affen, usw.) untersucht hatte. Die erste Veröffentlichung über die elektrische Hirnaktivität (das so genannte Elektroenzephalogramm) des Menschen findet sich jedoch bei dem deutschen Neurologen und Psychiater Hans Berger (1929). Ihm ist es gelungen, die Elektroden auf der Kortexoberfläche anzubringen. Er veröffentlichte zahlreiche Arbeiten über die Untersuchungen mittels des Elektroenzephalogramms (EEG) bis Ende 1930 (Cooper et al., 1984: 1-2). Obwohl sich seit 1940 die grundsätzliche Technik wenig geändert hat (Cooper et al., 1984, f2), ist dank der Computerisierung die technische Entwicklung der EEG-Methode bemerkenswert. Die computergestützte EEG-Technik ermöglicht, die Hirnpotentiale digital abzuleiten und aufzuzeichnen. Außerdem sind auch durch die Verfügbarkeit leistungsfähiger Analysesoftware zur Auswertung des EEG-Signals große Fortschritte ermöglicht worden (Müller & Weiss, 2002: 412).

In diesem Kapitel werden die Grundlagen der EEG-/ERP-Methode dargestellt. Der erste Teil des Kapitels behandelt die physiologischen Grundlagen der Entstehung des EEG-Signals (z.B. Struktur der Nervenzelle, Membran- bzw. Aktionspotential, synaptische Übertragung, usw.) sowie die Hauptquellen des EEG-Signals (z.B. exzitatorische postsynaptische Potentiale, neuronale Dipol-Struktur, kortikale Feldpotentiale, usw.). Der zweite Teil des Kapitels beschäftigt sich mit der ERP-Methode während der Sprachverarbeitungsprozesse. Zunächst wird das Mittelungsverfahren kurz erläutert. Anschließend wird auf die sprachrelevante ERP-Komponente eingegangen.



## **2.1 Entstehung des Elektroenzephalogramms (EEG)**

In diesem Kapitel werden die physiologischen Grundlagen der Entstehung des EEG-Signals beschrieben. Zunächst wird der Bau der Nervenzelle kurz dargestellt. Anschließend werden die Grundlagen der Signalweiterleitung zwischen den Nervenzellen dargestellt. Letztlich wird der neuronale Generator des EEG-Signals behandelt.

### **2.1.1 Struktur der Nervenzelle**

Das menschliche Gehirn besteht aus Gliazellen und Nervenzellen. Bei der Signalweiterleitung spielt die Nervenzelle (das Neuron) die entscheidende Rolle. Die Nervenzellen sind aus einem Zellkörper (Soma) mit unterschiedlich vielen Fortsätzen (Dendriten und Axon) und deren Endigungen (Nervenendigungen) aufgebaut (Bille & Schlegel, 1999: 59). Die Dendriten nehmen die Signale auf und leiten sie weiter an das Soma. Das Axon gibt die Signale weiter, welche am Axonhügel (d.h. Initialsegment) summiert werden. Wenn das Aktionspotential am Initialsegment ausgelöst werden, werden die Signale weiter an das Axonterminal (d.h. präsynaptische Membran) weitergeleitet. Letztlich werden die Signale über die synaptische Spalte an die postsynaptische Membran weitergeleitet (Details, s. Kapitel 2.1.4). Das Soma besitzt einen Zellkern und verschiedene Organellen (z.B. Mitochondrien, Golgi-Apparat, Lysosomen, usw.). Der Zellkern und die Organellen (d.h. der Intrazellulärraum) sind durch die Zellmembran getrennt. Die Zellmembran ist eine etwa 7nm dicke Lipiddoppelschicht, die die Zelle umgibt (Bille & Schlegel, 1999: 123). Die Zellmembran dient aber nicht nur als Trennwand zwischen der Zelle und ihrer Umgebung, sondern ist auch beteiligt am Transport der Moleküle bzw. Ionen (Birbaumer & Schmidt, 1999: 35). An der Membran findet sich das so genannte Membranpotential (MP), das durch die passive Diffusion bzw. den aktiven Transport der Ionen entsteht. Im Folgenden werden die Grundlagen der Entstehung des Membranpotentials ausführlich beschrieben.

### 2.1.2 Das Membranpotential (MP)

Das Membranpotential ist eine elektrische Potentialdifferenz (d.h. elektrische Spannung) zwischen der Innenseite und der Außenseite der Zellmembran im Ruhezustand (Speckmann, 1981: 11). Das heißt, das Membranpotential ( $V_m$ ) ist die Differenz des elektrischen Potentials zwischen der Innenwand ( $V_{\text{innen}}$ ) und der Außenwand ( $V_{\text{außen}}$ ) der Membran:  $V_m = V_{\text{innen}} - V_{\text{außen}}$  (Kandel et al., 2000: 126). Das Membranpotential liegt bei der menschlichen Nervenzelle im Ruhezustand etwa bei -75 mV (Kandel, 2000: 128). Das bedeutet, dass sich der Intrazellulärraum im nicht erregten Zustand negativer gegenüber dem Extrazellulärraum verhält.

Der Grund dieses Spannungsverhältnisses ist durch ein Ungleichgewicht der Ladungen innerhalb und außerhalb der Zelle zu erklären, das durch die ungleich verteilte Ionenzusammensetzung des Intra- und Extrazellulärraums<sup>1</sup> entsteht. Hierbei verhält sich die Membran wie ein Kondensator mit zwei Schichten (Doppellipidschicht). Die Membran ist aber im strengen Sinne kein Isolator, weil die Membran für bestimmte Ionensorten selektiv permeabel (durchlässig) ist (Kandel et al, 2000: 134)<sup>2</sup>. Da einige Ionensorten selektiv permeabel sind, können die permeablen Ionen sowohl aufgrund des osmotischen Drucks (Konzentrationsdifferenz) als auch aufgrund der elektrischen Spannung (elektrische Potentialdifferenz) in die Zelle hinein bzw. aus der Zelle hinaus diffundieren. Für die Entstehung des Membranpotentials ist vor allem die Diffusion der zwei Ionensorten (Kalium- und Natriumionen) von Bedeutung.

Die Kaliumionen sind im Intrazellulärraum höher konzentriert als im Extrazellulärraum. Da die intrazelluläre  $K^+$ -Konzentration höher als die extrazelluläre ist, diffundieren die Kaliumionen vom Intrazellulärraum (Ort der höheren

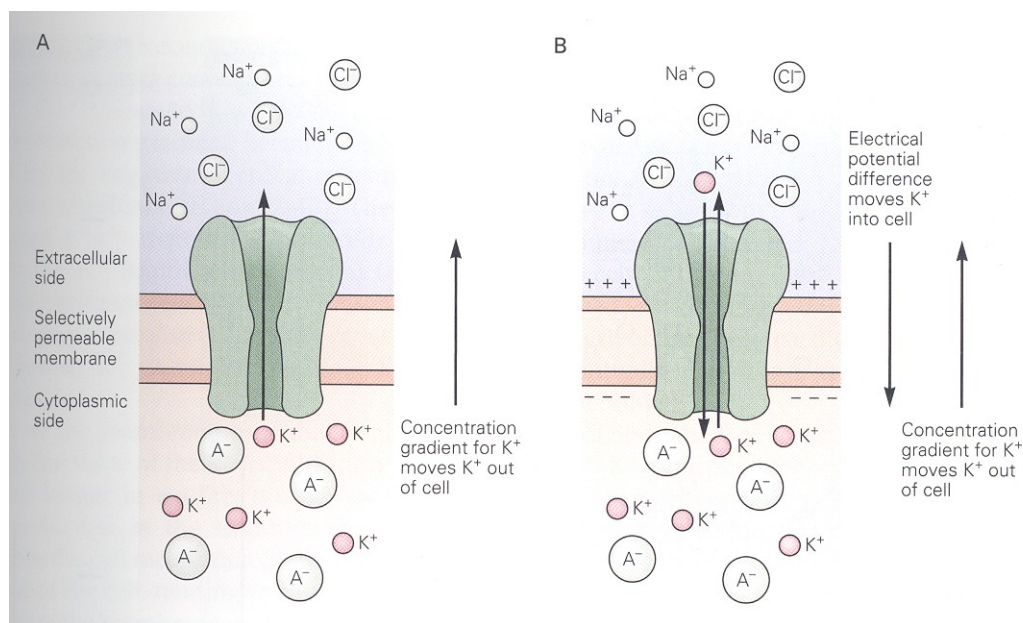
---

1 Im Intrazellulärraum sind vorwiegend Kaliumionen ( $K^+$ ) und Protein-Anionen ( $A^-$ ) vorhanden, wohingegen im Extrazellulärraum vorwiegend Natriumionen ( $Na^+$ ) und Chloridionen ( $Cl^-$ ) vorhanden sind (Kandel et al., 2000: 126).

2 Die Membran ist für die Kaliumionen sowie die Chloridionen sehr hoch permeabel, wohingegen die Membranpermeabilität für Natriumionen sehr niedrig ist. Die Protein-Anionen sind wegen ihrer Größe inpermeabel (Schandry, 2003: 550).

## 2. Methodische Grundlagen: EEG-/ERP-Methode

Konzentration) zum Extrazellulärraum (Ort der geringeren Konzentration), um die Ionenkonzentration der beiden Räume auszugleichen. Das heißt, die Kaliumionen diffundieren aufgrund des osmotischen Drucks aus der Zelle hinaus. Die Kaliumionen können jedoch nicht in das Innere des Extrazellulärraums gelangen, sondern werden in der Außenseite der Membran eingelagert, weil sie von den zurückgelassenen undurchlässigen Protein-Anionen gebremst werden. Somit entstehen zwei Schichten von positiver und negativer Überschussladung an den beiden Membranseiten. Dabei generieren diese zwei Schichten der Membran die Potentialdifferenz, die sich ähnlich wie die Spannung zwischen den Platten eines geladenen Kondensators verhält (Hoppe et al., 1982: 458). Aufgrund dieser elektrischen Spannung (elektrische Potentialdifferenz) innerhalb und außerhalb der Membranwand diffundieren die Kaliumionen in die Zelle hinein (s. Abbildung 3).



**Abb. 3:** Aufgrund des osmotischen Drucks diffundieren die Kaliumionen aus der Zelle hinaus. Diese dem Konzentrationsgradienten folgende Diffusion verursacht die elektrische Spannung an der Membran. Somit nimmt das elektrische Potential zu, bis sich der osmotische Druck und der Spannungsgradient ausgleichen. Das Potential des Gleichgewichtszustands der K<sup>+</sup>-Influx und K<sup>+</sup>-Efflux wird K<sup>+</sup>-Gleichgewichtspotential genannt (Kandel et al., 2000: 129).

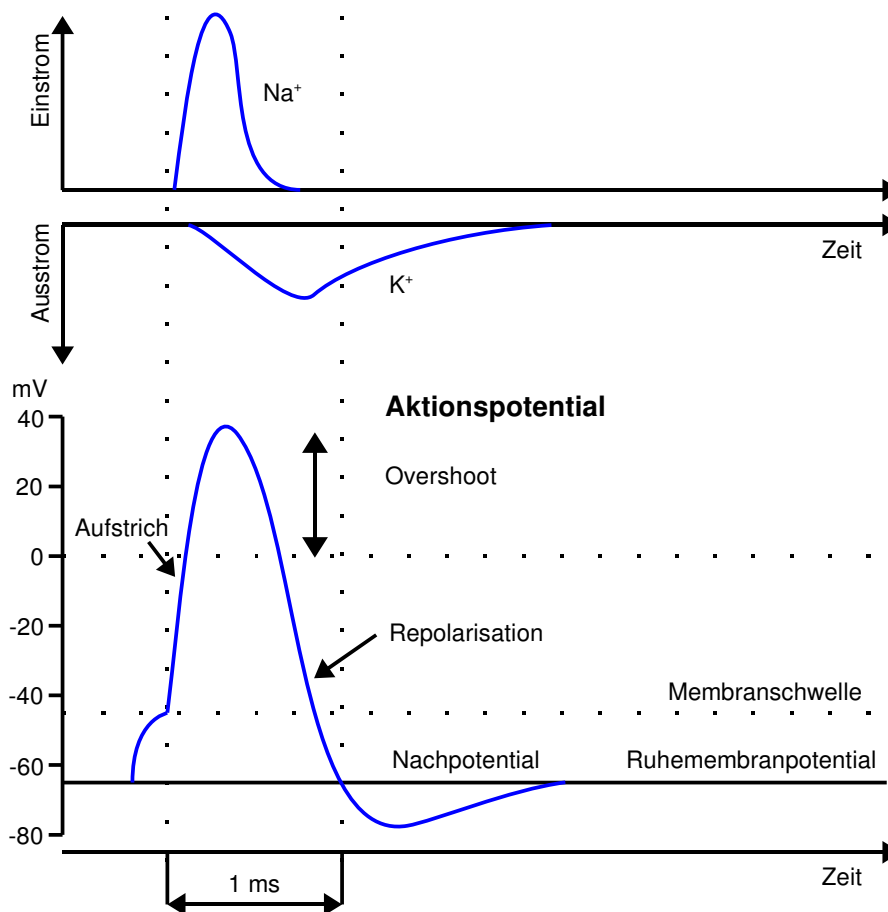
Im Gegensatz zu den Kaliumionen sind die Natriumionen im Extrazellulärraum höher konzentriert als im Intrazellulärraum. Aufgrund dieses Konzentrationsgradienten diffundieren die Natriumionen in die Zelle hinein. Obwohl die Membranpermeabilität für die Natriumionen sehr niedrig ist, lagern sich die Natriumionen immer mehr in die Zelle rein, weil der  $\text{Na}^+$ -Influx neben dem osmotischen Druck (Konzentrationsdifferenz) durch die im Ruhezustand vorhandene elektrische Spannung (d.h. das Zellinnere ist negativer als das Zelläußere) begünstigt wird. Trotz der Vermehrung der Natriumionen im Intrazellulärraum bleibt die  $\text{Na}^+$ -Konzentration des Intra- und Extrazellulärraums konstant, weil drei Natriumionen aus der Zelle hinaus und etwa zwei Kaliumionen in die Zelle aktiv hinein gepumpt d.h. transportiert werden (die so genannte Natrium-Kalium-Pumpe; Schmidt & Schaible, 2001: 27). Diese Art von Stoffaustausch ist ein aktiver Prozess, der Energie (d.h. die Spaltung von Adenosintriphosphat) verbraucht. Die Diffusion ist dagegen ein passiver Prozess, weil sie durch die osmotischen bzw. elektrischen Kräfte erfolgt (Bille & Schlegel, 1999: 123).

### **2.1.3 Das Aktionspotential (AP)**

Das Membranpotential ändert sich, wenn die Zelle z.B. durch einen Reiz erregt wird. Die Erregung führt zu einer positiven Verschiebung des Membranpotentials, nämlich zu einer Depolarisation. Dies bedeutet in diesem Fall eine Reduzierung des Membranpotentials. Der zeitliche Verlauf des Aktionspotentials lässt sich in vier Phasen darstellen: die Initialphase, die Depolarisation, die Repolarisation und die Nachhyperpolarisation. Die vier Phasen werden im Folgenden kurz beschrieben.

Bei der initialen Phase der Depolarisation des Membranpotentials werden alle  $\text{K}_{ir}$  (Einwärts-Gleichrichter- $\text{K}^+$ )-Kanäle, die beim Ruhezustand geöffnet sind (sog. resting ion channels), blockiert, so dass die Kaliumionen nicht mehr aus der Zelle hinaus diffundieren können. Andererseits werden die spannungsgesteuerten  $\text{Na}^+$ -Kanäle (sog.

voltage-dependent channels<sup>1)</sup> geöffnet und die Natriumionen fließen in die Zelle. Diese beiden Faktoren begünstigen die Reduzierung der Potentialdifferenz beim Ruhezustand (Schmidt, Lang, Thews, 2005: 80).



**Abb. 4:** Mit der Öffnung des Na<sup>+</sup>-Kanals steigert sich die Natrium-Leitfähigkeit und die Natriumionen fließen in die Zelle hinein. Die Folge ist die schnelle Depolarisation der Zelle (Aufstrich) und die Erreichung eines positiven Werts (Overshoot). Jedoch wird die Zelle repolarisiert, wenn die langsame Steigerung des K<sup>+</sup>-Efflux seine Spitze erreicht, und die Na<sup>+</sup>-Kanäle inaktiviert werden. Durch den weiteren K<sup>+</sup>-Efflux entsteht ein Nachpotential (Schandry, 2003: 63, leicht verändert).

1 Bestimmte Ionenkanäle zeigen eine spannungsabhängige Permeabilität. Zum Beispiel sind die spannungsgesteuerten Na<sup>+</sup>-Kanäle im Ruhezustand (z.B. -70 mV) geschlossen, aber bei der Depolarisierung (z.B. -40 mV) geöffnet. Da die Na<sup>+</sup>-Kanäle nur bei bestimmter Potentialdifferenz (d.h. Spannung) geöffnet werden, nennt man eine solche Ioneneigenschaft „spannungsgesteuert“ oder „spannungsabhängig“ (Schandry, 2003: 55).

## 2. Methodische Grundlagen: EEG-/ERP-Methode

Wenn die Potentialdifferenz über den Schwellenwert hinaus reduziert wird, wird die Zelle genügend depolarisiert, so dass ein Aktionspotential ausgelöst werden kann. Wenn das Aktionspotential ausgelöst wird, wird der Prozess des  $\text{Na}^+$ -Influx noch schneller und das Aktionspotential steigt sehr schnell in einen positiven Wert (d.h. Aufstrich) und erreicht seine Spitze (d.h. Overshoot, Schmidt et al., 2005: 80).

Nachdem das Aktionspotential seine Spitze erreicht hat, beginnt es auf den Nullwert abzufallen, weil die Permeabilität der Natriumionen abnimmt und die Permeabilität der Kaliumionen steigt (s. Abbildung 4). In der Tat steigt die Permeabilität der Kaliumionen bereits direkt nach der Öffnung der  $\text{Na}^+$ -Kanäle. Nur die Steigerung der Durchlässigkeit für die Kaliumionen ist sehr langsam, so dass der Kaliumstrom erst dann seine Spitze erreicht, wenn die  $\text{Na}^+$ -Kanäle inaktiviert sind (Speckmann, 1981: 15). Letztlich fließen die spannungsgesteuerten Kaliumionen durch die geöffneten  $\text{K}^+$ -Kanäle aus der Zelle heraus. Dagegen werden die  $\text{Na}^+$ -Kanäle inaktiviert<sup>1</sup> und die Natriumionen fließen nicht mehr in die Zelle hinein. Dadurch nähert sich die Zelle dem ursprünglichen Membranpotential wieder an, d.h. die Zelle wird repolarisiert (Schmidt et al., 2005: 81).

Nach der Inaktivierung der  $\text{Na}^+$ -Kanäle ist die Zelle für eine bestimmte Zeit nicht mehr erregbar (absolut refraktär), so dass kein Aktionspotential ausgelöst werden kann. Häufig wird die Zelle durch weiteren  $\text{K}^+$ -Efflux nach-hyperpolarisiert. Nach der absoluten Refraktärzeit wird der negative Wert etwas positiver in Richtung des Membranpotentials und somit ist die Zelle relativ unerregbar (relativ refraktär). Nach der Repolarisierung werden die spannungsgesteuerten  $\text{K}^+$ -Kanäle langsam deaktiviert, die  $\text{K}_{\text{ir}}$ -Kanäle deblockiert, und die  $\text{Na}^+$ -Kanäle werden geschlossen (Schmidt et al., 2005: 81).

---

1 Es gibt drei Zustände des Natriumionen-Gatings: (1) geschlossen (resting), (2) geöffnet (open) und (3) inaktiviert (inactivated). Der Zustand „geschlossen“ bedeutet, dass die  $\text{Na}^+$ -Kanäle geschlossen aber aktivierbar sind. Der Zustand „geöffnet“ bedeutet, dass die Natriumionen z.B. in die Zelle diffundieren können. Der Zustand „inaktiviert“ bedeutet, dass die  $\text{Na}^+$ -Kanäle nicht aktivierbar sind. Der Zustand der  $\text{Na}^+$ -Gating hängt von der Spannungsdifferenz innerhalb und außerhalb der Zelle ab (Kandel et al. 2000: 157).

### 2.1.4 Die synaptische Übertragung

Das Aktionspotential wird am Axonhügel (Initialsegment) ausgelöst, wo die lokalen postsynaptischen Potentiale zeitlich bzw. räumlich gesammelt und berechnet werden (Details, s. das nächste Kapitel 2.1.5). Das ausgelöste Aktionspotential wird vom Axonhügel passiv zum Axonterminal elektrotonisch geleitet. Beim myelinisierten Axon kann das Aktionspotential von Schnürring zu Schnürring springen.

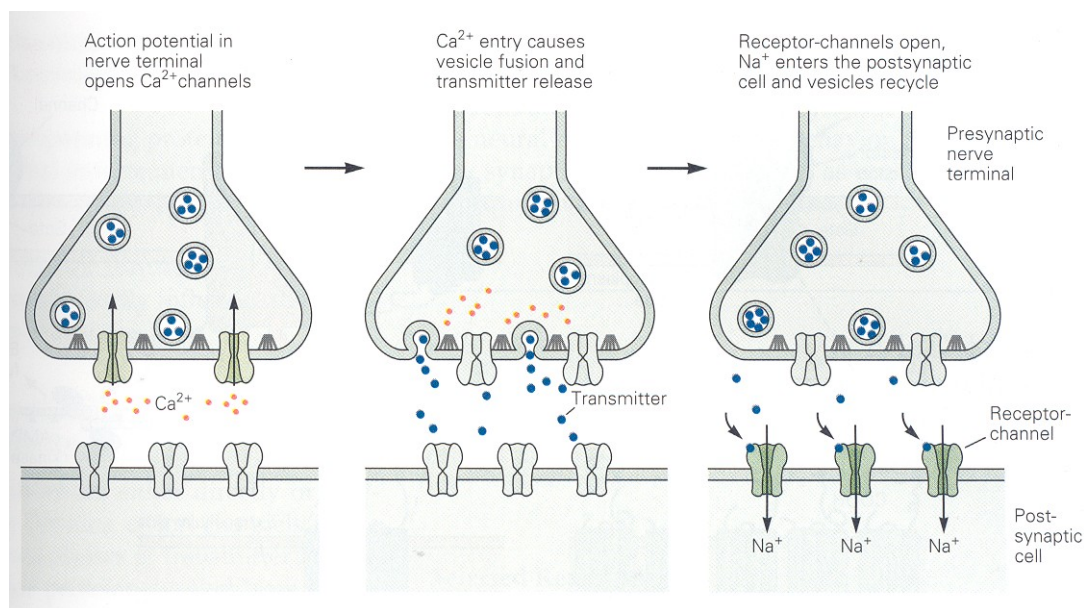
Gelangt das Aktionspotential an das Axonterminal, wird die präsynaptische Membran depolarisiert. Dies führt zur Öffnung der spannungsgesteuerten  $\text{Ca}^{2+}$ -Kanäle. Aufgrund der Konzentrationsgradienten diffundieren die Calciumionen in die Zelle hinein. Die intrazelluläre  $\text{Ca}^{2+}$ -Konzentration in der aktiven Zone verursacht die Fusion der Vesikel (Bläschen), die mit tausenden Molekülen eines Neurotransmitters beladen sind, mit der präsynaptischen Membran. Somit geben die Vesikel die Neurotransmitter frei, welche in die synaptische Spalte diffundieren. Diesen Vorgang der Verschmelzung der Vesikel mit der präsynaptischen Membran sowie die Freisetzung der Neurotransmitter nennt man Exozytose (Kandel et al., 2000: 182). Wie erwähnt diffundieren die freigesetzten Neurotransmitter aus dem Axonhügel (Outputzone) über die synaptische Spalte (der Raum zwischen der präsynaptischen Membran und der subsynaptischen Membran) in die Inputzone (Dendriten). In den Dendriten docken die Neurotransmitter an den Rezeptoren an (s. Abbildung 5).

Werden die Neurotransmitter an den ionotropen Rezeptoren<sup>1</sup> angebunden, werden durch die Neurotransmitter die ligandengesteuerten Ionenkanäle an der subsynaptischen Membran aktiviert. Durch die Aktivierung der Ionenkanäle fließen die Ionen aufgrund des Konzentrationsgradienten in die Zelle hinein bzw. aus der Zelle hinaus oder werden daran gehindert, aus der Zelle hinaus zu diffundieren.

---

1 Es gibt zwei Arten von Rezeptoren: ionotrope Rezeptoren (Ionenkanal-gekoppelte Rezeptoren) und metabotrope Rezeptoren (G-Protein-gekoppelte Rezeptoren). Bei den ionotropen Rezeptoren aktivieren die Neurotransmitter direkt den ligandengesteuerten Ionenkanal, der bereits mit dem Rezeptor gekoppelt ist. Bei den metabotropen Rezeptoren aktiviert die GTP-Bindung (das G-Protein), die wiederum die Adenylatcyclase stimuliert. Die Adenylatcyclase erzeugt die cAMP, die die cAMP-Kinase aktiviert. Die cAMP-Kinase phosphoryliert den Ionenkanal (Kandel et al., 2000: 184).

## 2. Methodische Grundlagen: EEG-/ERP-Methode



**Abb. 5:** Das Aktionspotential führt zur Depolarisation des Axonterminals. Dies führt zur Öffnung der spannungsgesteuerten  $\text{Ca}^{2+}$ -Kanäle. Der  $\text{Ca}^{2+}$ -Influx verursacht die Fusion der Vesikel mit der präsynaptischen Membran und die Neurotransmitter werden frei gesetzt. Die Neurotransmitter binden am Rezeptor der postsynaptischen Membran an (Kandel et al. 2000: 183).

Dies verursacht eine lokale Änderung des elektrischen Potentials an der subsynaptischen Membran. Das heißt, das Membranpotential an der subsynaptischen Membran wird entweder reduziert oder erhöht. Durch die lokale Änderung des elektrischen Potentials entsteht eine elektrische Potentialdifferenz zwischen der subsynaptischen und der postsynaptischen Membran. Diese Potentialdifferenz wird als postsynaptisches Potential (PSP) bezeichnet (Zschocke 2001: 7). Das postsynaptische Potential breitet sich aus und dies führt zu einer lokalen, graduellen Änderung des Membranpotentials in der postsynaptischen Membran.

### 2.1.5 Postsynaptische Potentiale (PSP)

Die postsynaptischen Potentiale werden entweder durch die Depolarisation oder durch die Hyperpolarisation der postsynaptischen Membran ausgelöst. Die Frage, ob die Membran depolarisiert oder hyperpolarisiert, hängt damit zusammen, wie die Neurotransmitter auf die postsynaptische Membran wirken und welche Ionenkanäle

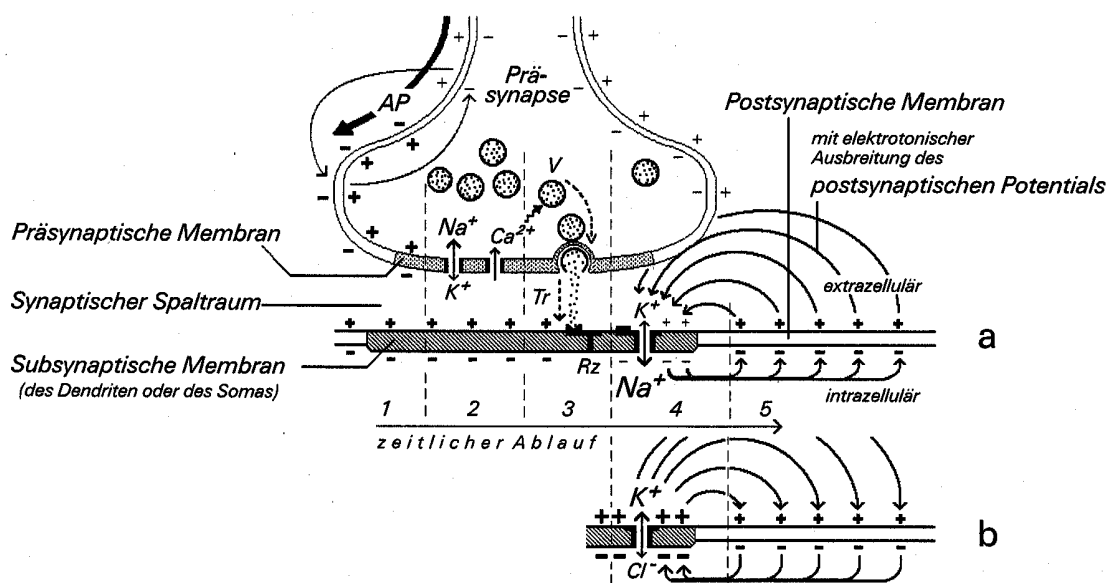


( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$ ) der subsynaptischen Membran dadurch geöffnet oder geschlossen werden (Bille & Schlegel, 1999: 128).

Wirken die Neurotransmitter (z.B. Acetylcholin/Glutamat) auf die subsynaptische Membran erregend, wird die Leitfähigkeit der subsynaptischen Membran für die Natriumionen erhöht. Somit fließen die Natriumionen aufgrund des Konzentrationsgradienten in die Zelle hinein, wohingegen aufgrund des Konzentrationsgradienten die Kaliumionen aus der Zelle hinaus fließen. Dieser  $\text{Na}^+$ -Influx führt zur Depolarisation der subsynaptischen Membran. Das heißt, aufgrund des  $\text{Na}^+$ -Influx wird die Konzentration der Kationen auf der Innenseite der subsynaptischen Membran erhöht und somit wird das Membranpotential der subsynaptischen Membran reduziert. Dieses lokal veränderte elektrische Potential (sog. postsynaptisches Potential) breitet sich elektrotonisch aus. Dadurch wird die subsynaptische Membran depolarisiert. Aufgrund der Depolarisation ist die Spannung an der subsynaptischen Membran extrazellulär relativ negativer als die an der postsynaptischen Membran. Daraus entsteht eine elektrische Spannung im Extrazellulärraum. Der Strom fließt extrazellulär von der postsynaptischen (d.h. vom positiven Pol) zur subsynaptischen Membran (d.h. zum negativen Pol). Intrazellulär fließt der Strom aber umgekehrt von der subsynaptischen zur postsynaptischen Membran (Abbildung 6a). Diese elektrische Spannung (d.h. elektrische Potentialdifferenz) zwischen der subsynaptischen und postsynaptischen Membran, die zu einer Depolarisation führt, wird als das exzitatorische postsynaptische Potential (EPSP) bezeichnet.

Hemmen die Neurotransmitter (z.B. GABA) dagegen die subsynaptische Membran, wird die Leitfähigkeit der subsynaptischen Membran für die Kaliumionen erhöht. Somit diffundieren die Kaliumionen aufgrund des Konzentrationsgradienten aus der Zelle heraus, die Chloridionen in die Zelle hinein. Dadurch ändern sich die lokalen elektrischen Potentiale innerhalb und außerhalb der subsynaptischen Membran. Insbesondere erniedrigt der  $\text{K}^+$ -Efflux die Konzentration der Kationen an der Innenseite der subsynaptischen Membran. Dadurch wird das Membranpotential erhöht und dies führt wiederum zur Hyperpolarisation. Aufgrund der Hyperpolarisation ist die

subsynaptische Membran extrazellulär relativ positiver als die postsynaptische Membran. Daraus entsteht ein positiver Pol an der subsynaptischen Membran und ein negativer Pol an der postsynaptischen Membran. Der Strom fließt von der subsynaptischen zur postsynaptischen Membran (s. Abbildung 6b). Diese elektrische Potentialdifferenz zwischen der subsynaptischen und der postsynaptischen Membran, die zu einer Hyperpolarisation führt, wird als das inhibitorische postsynaptische Potential (IPSP) bezeichnet.



**Abb. 6:** Im Fall der Depolarisation: Extrazellulär fließt der Strom von der postsynaptischen zur subsynaptischen Membran. Intrazellulär fließt der Strom umgekehrt (a). Im Fall der Hyperpolarisation: Extrazellulär fließt der Strom von der subsynaptischen zur postsynaptischen Membran. Intrazellulär fließt der Strom umgekehrt (b). (Zschocke, 2001: 5).

Anders als das Aktionspotential verläuft das EPSP bzw. das IPSP nicht nach dem Alles-Oder-Nichts-Gesetz sondern langsam fortlaufend (Zschocke, 2001: 4). Aus diesem Grund können sich die EPSP bzw. IPSP überlagern. Zum Beispiel können die EPSP bzw. IPSP im Dendritenbaum gleichzeitig oder zeitlich sehr eng nacheinander ausgelöst werden (s. Abbildung 7a). Dadurch überlagern sich die postsynaptischen Potentiale sowohl zeitlich als auch räumlich. Diese zeitliche und räumliche Aufsummierung der EPSP bzw. IPSP wird *Summenpotential* genannt (Zschocke, 2001: 4).

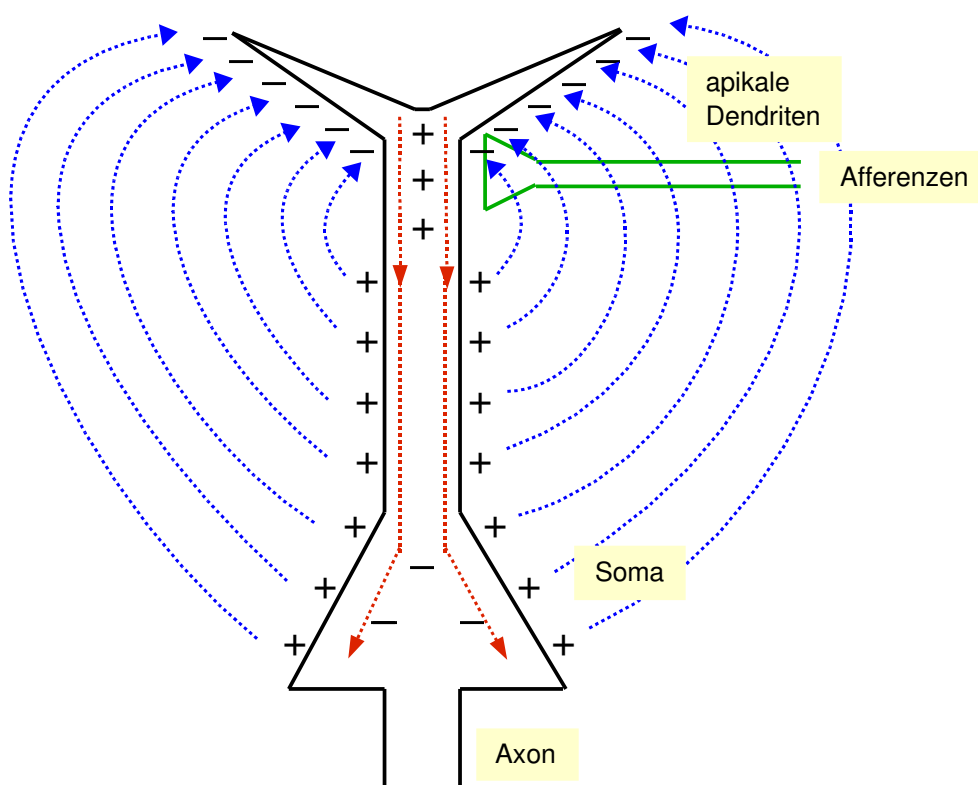
### 2.1.6 Kortikale Feldpotentiale (FP)

Als Hauptquelle des EEG-Signals gilt das exzitatorische postsynaptische Potential (EPSP) an den apikalen Dendriten der Pyramidenzellen (Schmidt, Lang & Thews, 2005: 196). Die Pyramidenzellen liegen in den Kortexschichten (I-VI) und seine Dendriten befinden sich senkrecht (vertikal) zur Kortexoberfläche. In den obersten Kortexschichten (I und II) finden sich die apikalen Dendriten, in den mittleren Kortexschichten (III und IV) die Zellkörper (Soma) und in den unteren Kortexschichten (V und VI) die basalen Dendriten und Axone (Schmidt, Lang, Thews, 2005: 190). Das Soma der Pyramidenzelle befindet sich vorwiegend in der dritten oder fünften Schicht, wohingegen das Axon sich entweder in der sechsten Schicht oder bereits in der vierten, fünften Schicht befindet. Die für das EEG relevanten Afferenzen aus dem Thalamus sind die unspezifischen thalamischen Afferenzen, die überwiegend an den apikalen Dendriten der Pyramidenzelle enden. Dagegen sind die spezifischen thalamischen Afferenzen überwiegend mit dem Soma der Sternzelle verbunden.

Wenn die obersten Kortexschichten der Pyramidenzellen, nämlich die apikalen Dendriten chemisch (z.B. durch die Transmitter-Rezeptor-Bindung) erregt werden, werden die ligandengesteuerten Ionenkanäle an den apikalen Dendriten geöffnet. Daher diffundieren die Natriumionen aufgrund der Konzentrationsgradienten in die Zelle hinein. Dies führt wiederum zu einer Depolarisation der apikalen Dendriten. Durch diese Depolarisation werden die apikalen Dendriten intrazellulär relativ positiver als das Soma, die apikalen Dendriten extrazellulär relativ negativer als das Soma. Dies führt zu zwei unterschiedlichen Stromflüssen sowohl im Extra- als auch im Intrazellulärraum (Birbaumer & Schmidt, 1999: 493; Proverbio & Zani, 2003:14).

Extrazellulär fließt der Strom von der depolarisierten subsynaptischen Membran (apikale Dendriten) in Richtung der postsynaptischen Membran (Soma). Aufgrund des  $\text{Na}^+$ -Influx wird das Zelläußere der apikalen Dendriten negativer als das Zelläußere des Somas. Durch die Potentialdifferenz zwischen der subsynaptischen (Region der apikalen Dendriten) und der postsynaptischen Membran (Region des Somas) entsteht ein elektrisches Feld. Dabei bildet sich im Zelläußeren der apikalen Dendriten ein negativer

Pol und im Zelläußeren des Somas ein positiver Pol. Der Strom (s. Abbildung 7, blaue Linien) fließt vom positiven Pol (d.h. Stromquelle, Soma) in Richtung des negativen Pols (d.h. Stromsenke, apikalen Dendriten). Aufgrund desselben Prinzips fließt im Intrazellulärraum der Strom (s. Abbildung 7, rote Linien) von den apikalen Dendriten (Stromquelle) in Richtung des Somas (Stromsenke). Solche polaren Strukturen des elektrischen Feldes werden als elektrischer Dipol (oder als neuronaler Dipol) bezeichnet (Zschocke, 2001: 11).



**Abb. 7:** Im Fall der Depolarisation der apikalen Dendriten durch z.B. die EPSP-Synapse der unspezifischen Afferenzen aus dem Thalamus (grün markiert) wird die Außenseite der apikalen Dendriten relativ negativer als die Außenseite des Somas, die Innenseite der apikalen Dendriten wird relativ positiver als die Innenseite des Somas. Aufgrund dieser Potentialdifferenz zwischen den apikalen Dendriten und dem Soma fließen gegenläufige Ströme innerhalb und außerhalb der Zelle. Extrazellulär fließt der Strom (blaue Linie) vom positiven Pol (Soma) zum negativen Pol (apikale Dendriten). Intrazellulär fließt der Strom (rote Linie) vom negativen Pol (apikale Dendriten) zum positiven Pol (Soma). (Zschocke 2001: 13, verändert).

Wie aus der Abbildung 7 hervorgeht, haben die depolarisierten apikalen Dendriten (Stromsenke) eine relativ geringere Ausdehnung als die postsynaptische Membran (Stromquelle). Das heißt, die apikalen Dendriten nehmen einen relativ kleineren Raum ein, wohingegen das Soma einen relativ größeren Raum einnimmt. In diesem Zusammenhang hat die Stromsenke (apikale Dendriten) eine hohe Felddichte, die Stromquelle (Soma) eine geringe Felddichte. Außerdem verkleinert sich das postsynaptische Potential mit zunehmender Entfernung zu den apikalen Dendriten (Hagemann, 1999: 24). Daraus ergibt sich eine asymmetrische Feldstruktur. Ein solches Feld abnehmender Potentialdifferenzen wird als kortikales Feldpotential bezeichnet (Zschocke, 2001: 10).

Die Feldpotentiale eines Neurons reichen aber nicht für das messbare EEG-Signal, denn die Feldpotentiale eines Einzellneurons sind sehr schwach. Wenn aber zahlreiche Synapsen der z.B. 10,000 Pyramidenzellen synchron depolarisiert werden, summieren sich die Dipole aller einzelnen Synapsen (d.h. Summendipol). Wenn die Feldstärke des Summendipols stark genug ist, breitet sich das starke kortikale Feldpotential bis zur Kopfoberfläche aus, was dann an der Kopfoberfläche als EEG-Signal gemessen werden kann. Eine EEG-Messung macht aber nur Sinn, wenn die beiden Ableitpunkte in verschiedenen Äquipotentiallinien liegen (Zschocke, 2001: 50).

Es gibt vier Möglichkeiten der Polarität der EEG-Potentialschwankungen, je nachdem, in welcher Kortexschicht (apikale Dendriten oder Soma) Erregung oder Hemmung stattfindet (s. Abbildung 8, Zschocke, 2001: 14).

Im Fall der Erregung an apikalen Dendriten bildet sich extrazellulär ein negativer Pol (Stromsenke) an den apikalen Dendriten und ein positiver Pol (Stromquelle) am Soma, wohingegen sich intrazellulär eine Stromquelle an den apikalen Dendriten und eine Stromsenke am Soma bildet. Somit fließt der Strom extrazellulär vom Soma zu den apikalen Dendriten, intrazellulär dagegen von den apikalen Dendriten zum Soma (s. Abbildung 8a). Im Fall der Erregung am Soma bildet sich extrazellulär eine Stromsenke am Soma und eine Stromquelle an den apikalen Dendriten, intrazellulär bildet sich eine Stromquelle am Soma und eine Stromsenke an den apikalen Dendriten. Somit fließt der

Strom extrazellulär von dem apikalen Dendriten zum Soma, intrazellulär dagegen vom Soma zu den apikalen Dendriten (s. Abbildung 8b).

Im Fall der Hemmung an den apikalen Dendriten bildet sich extrazellulär eine Stromquelle an den apikalen Dendriten und eine Stromsenke am Soma, intrazellulär bildet sich eine Stromsenke an

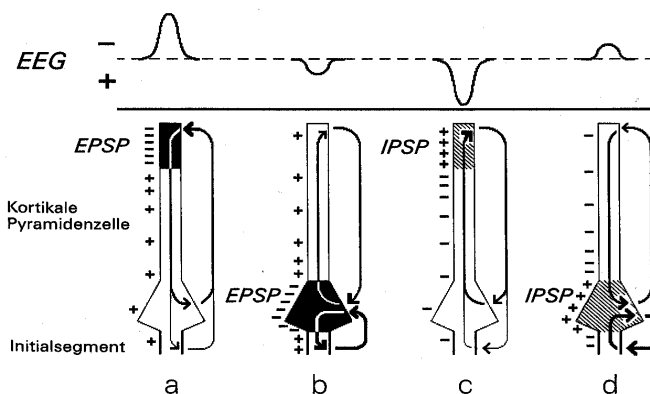
den apikalen Dendriten und eine Stromquelle am Soma.

Somit fließt der Strom extrazellulär von den apikalen Dendriten zum Soma, intrazellulär dagegen vom Soma zu den apikalen

Dendriten (s. Abbildung 8c).

Im Fall der Hemmung am Soma bildet sich also extrazellulär eine Stromquelle am Soma und eine Stromsenke

an den apikalen Dendriten, intrazellulär bildet sich eine Stromsenke am Soma und eine Stromquelle an den apikalen Dendriten. Somit fließt der Strom extrazellulär vom Soma zu den apikalen Dendriten, intrazellulär dagegen von den apikalen Dendriten zum Soma (s. Abbildung 8d).



**Abb. 8:** Im Fall der Erregung am apikalen Dendriten fließt der Strom extrazellulär vom Soma zum apikalen Dendriten (a) genauso wie im Fall der Hemmung am Soma (d). Im Fall der Erregung am Soma fließt der Strom extrazellulär vom apikalen Dendriten zum Soma (b) genauso wie im Fall der Hemmung am apikalen Dendriten (c). (Zschocke, 2001: 14).

## 2.2 Event-Related Potentials (ERP)

Unter ereigniskorrelierten Potentialen (EKP, engl. event-related potential, ERP) versteht man die Hirnpotentiale, die sich auf sensorische, motorische und kognitive Ereignisse (z.B. Sprache) zurückführen lassen (Birbaumer & Schmidt, 1999: 496). Die Event-Related Potentials (ERP) sind zeitlich mit einem Stimulus verbunden. Sie werden durch die wiederholte Darbietung der Stimuli, die denselben kognitiven Aktivitäten bzw.

derselbe Zeitabschnitt zugrunde liegen, gewonnen (Rösler, 1982: 8f). Im Folgenden werden die Grundlagen der ERP-Methode, nämlich das Mittelungsverfahren dargestellt. Anschließend werden die sprachrelevanten ERP-Komponenten (z.B. ELAN-, N400- und P600-Komponente) beschrieben.

### **2.2.1 Mittelungsverfahren**

Bei der ERP-Analyse wird die so genannte Mittelungstechnik verwendet, um das Rauschen (Spontan-EEG) des gemessenen EEG-Signals zu reduzieren. Mit dieser Mittelungstechnik kann man das ereigniskorrelierte Potential, das wegen seiner geringen Amplituden wenig Rauschanteil besitzt, sichtbar machen. Das Prinzip des Mittelungsverfahrens versteht sich wie folgt: Alle Signale (d.h. n-zählige Einzelsignale), die denselben oder ähnlichen kognitiven Ereignissen zugrunde liegen, werden zeitlich synchron segmentiert, indem die Zeitabschnitte vor und nach dem kognitiven Ereignis herausgenommen werden. Die segmentierten n-zähligen Signale (d.h. die Zeitabschnitte vor und nach dem kognitiven Ereignis, die so genannte Epoche) werden summiert und die Summe wird wiederum durch die Anzahl der Signale (n) geteilt (gemittelt). Das Rauschen hat eine zufällige Polarität in der EEG-Kurve (d.h. eine sehr variable EEG-Kurve) und deswegen werden mit zunehmender Summierung die Amplituden immer kleiner (Schandry 2003: 575). Mathematisch gesehen kann die Größe des Rauschens eines gemittelten Signals wie folgt dargestellt werden:  $(1/\sqrt{N}) * R$  (N ist die Anzahl des segmentierten Einzelsignals. R ist die Größe des Rauschens von Einzelsignal, Luck, 2005: 133). Gemäß dieser Formel lässt sich feststellen: je größer die Anzahl der Einzelsignale ist, desto geringer ist der Rauschanteil des gemittelten Signals (Luck, 2005: 131-135). Anders ausgedrückt, je größer die Anzahl der Einzelsignale ist, desto größer wird die Wahrscheinlichkeit, dass das Rauschen gegen null geht. Im Gegensatz dazu haben die demselben kognitiven Ereignis zugrunde liegenden Signale eine ähnliche Morphologie des EEG-Verlaufs, die zeitlich verbunden sind. Die Summe der Amplituden, die zum gleichen Zeitpunkt eine ähnliche Morphologie und eine ähnliche zeitliche Phase haben, werden mit zunehmender Summierung immer größer.

Wie bereits erwähnt, gibt es im Idealfall keinen Rauschanteil (Birbaumer & Schmidt, 1999: 497). Aus diesem Grund werden bei der ERP-Untersuchung viele gleichartige kognitive Ereignisse akustisch oder visuell dargeboten und die Messwerte der Epochen aus den jeweilig gleichartigen kognitiven Ereignissen werden gemittelt. Dieses gemittelte ereigniskorrelierte Potential (engl. ERP) nennt man *average ERP* (Rugg & Coles, 1995: 6).

### 2.2.2 Sprachrelevante ERP-Komponenten

Durch zahlreiche ERP-Forschungen ist bekannt, dass einige ERP-Komponenten eine funktionelle Bedeutung bei der Sprachverarbeitung haben. Das heißt, es gibt eine Zuordnung zwischen den ERP-Komponenten und den sprachlichen Subprozessen. Zum Beispiel wird die N400-Komponente mit semantischen Prozessen assoziiert, die P600-Komponente mit syntaktischen Prozessen. Die Unterschiede zwischen den ERP-Komponenten sind durch die Eigenschaften bzw. die Morphologie der ERP-Komponenten wie z.B. die Latenz, die Amplituden und die Topographie deutlich erkennbar (Rösler, 1982; Rösler et al., 2004). So ist die N400-Komponente eine negative Amplitudenkurve, die etwa 400 ms nach dem kritischen Item ihren Peak erreicht. Die P600-Komponente ist dagegen eine positive Amplitudenkurve, die etwa 600 ms nach dem kritischen Item ihren Peak erreicht.

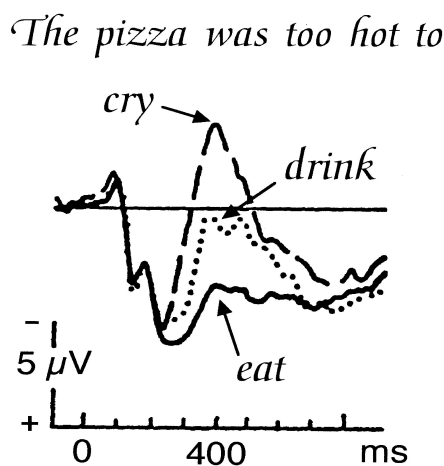
Die N400-Komponente ist eine negativ ausgeprägte Amplitudenkurve, die mit der lexikalisch-semantischen Verarbeitung assoziiert ist. Kutas und Hillyard (1980) gehören zu den ersten Forschern, die über die N400-Komponente publizierten. Sie fanden heraus, dass ein unerwarteter semantischer Input, der nicht in den Satzkontext passt, eine negativ ausgeprägte Amplitudenkurve auslöst. Dies wird als N400-Komponente bezeichnet, weil die Amplitudenkurve etwa 400 ms nach dem kritischen Item (z.B. ein semantisch inkongruentes Wort im Satz) ihren Peak erreicht. Die N400-Komponente beginnt etwa 250 ms nach der Darbietung des Stimulus, und endet etwa 550 ms nach der Darbietung des Stimulus. Häufig wird auch der Begriff „N400-Effekt“ verwendet, weil



die N400-Komponente im Grunde genommen den Unterschied der Amplitudenwerte zwischen der semantisch kongruenten und semantisch inkongruenten Bedingung darstellt.

Topographisch wird die N400-Komponente im Bereich des centro-parietalen Kortex am stärksten ausgelöst (Brown & Hagoort, 2000). Es wird berichtet, dass bei der visuellen Darbietung der N400-Effekt in der rechten Hemisphäre stärker ausgeprägt ist als in der linken Hemisphäre. Diese hemisphärische Asymmetrie ist aber bei der akustischen Darbietung umstritten. Morphologisch variiert die Amplitudenkurve ebenfalls je nach Modalität (akustisch/visuell). Bei der visuellen Darbietung ist die N400 bezüglich der Baseline etwas positiver ausgeprägt, als bei der akustischen Darbietung (Van Petten & Luka, 2006)

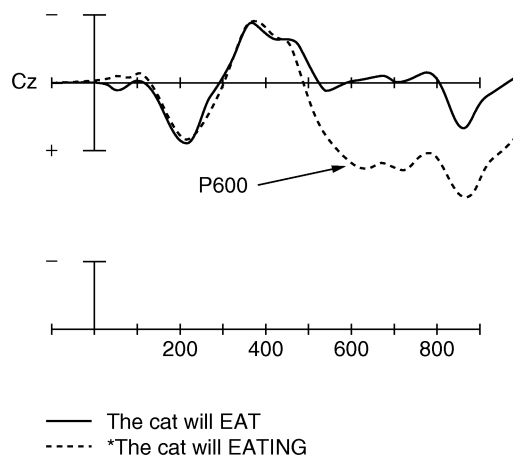
Der N400-Effekt lässt sich bei verschiedenen Wortarten (Inhaltswörter vs. Funktionswörter, konkrete vs. abstrakte Wörter, hoch-frequente vs. niedrig-frequente Wörter, usw.) nachweisen (Brown & Hagoort, 2000). Die N400 wurde auch bei der Darbietung des Bildes ausgelöst, wobei hier die N400 topographisch variiert und z.B. starke Ausprägung im anterioren Bereich zeigte und somit als „N400-ähnliches Potential“ bezeichnet wurde (Van Petten & Luka, 2006). Die Ausprägungsstärke (Intensität) der Amplitudenkurve hängt eng mit dem Grad der semantischen Anomalie zusammen. Das heißt, je inkongruenter das kritische Item ist, desto ausgeprägter ist die Intensität des N400-Effekts. Zum Beispiel ist der N400-Effekt bei der semantisch inkongruenten Bedingung „*The pizza was too hot to cry*“ stärker ausgeprägt als bei *The pizza was too hot to drink*.“ (s. Abbildung 9).



**Abb. 9:** Das letzte Wort des Satzes ist semantisch manipuliert. Der N400-Effekt ist bei der Darbietung des inkongruenten Wortes, „cry“ stärker ausgeprägt als bei der Darbietung des inkongruenten Wortes „drink“. (Kutas & Van Petten, zitiert in Müller & Weiss, 2002: 413).

Die P600-Komponente ist eine positiv ausgeprägte Amplitudenkurve, die durch den Verstoß einer syntaktischen Regel (z.B. Verstoß gegen Phrasenstrukturregeln, Verb-Valenz, Kongruenz bezüglich Kasus, Genus, Numerus, usw.) ausgelöst wird. Die positive Amplitudenkurve beginnt etwa 550 ms nach dem Verstoß der syntaktischen Regel und endet etwa 800 ms nach der Stimulusdarbietung.

Die P600-Komponente wurde erstmals in einer Studie von Osterhout und Holcomb (1982) erwähnt. Hierbei ging es um den Unterschied zwischen syntaktisch korrekten und syntaktisch inkorrekten Bedingungen in den ERP-Amplituden innerhalb eines Zeitfensters von 500-900 ms (Abbildung 10). Es wird vermutet, dass der P600-Effekt mit der Re-Analyse sowie dem Wiederherstellungsprozess der syntaktisch inkorrekten Sätze zusammenhängt (Friederici et al., 1999). Topographisch wird die P600-Komponente im parietalen Kortexbereich am stärksten ausgelöst (Brown & Hagoort, 2000).



Es wird vermutet, dass der P600-Effekt mit der Re-Analyse sowie dem Wiederherstellungsprozess der syntaktisch inkorrekten Sätze zusammenhängt (Friederici et al., 1999).

**Abb. 10:** Der P600-Effekt in der syntaktisch korrekten (durchgängige Linie) und syntaktisch inkorrekten Bedingung (gestrichelte Linie) (Osterhout et al., 2004: 277).

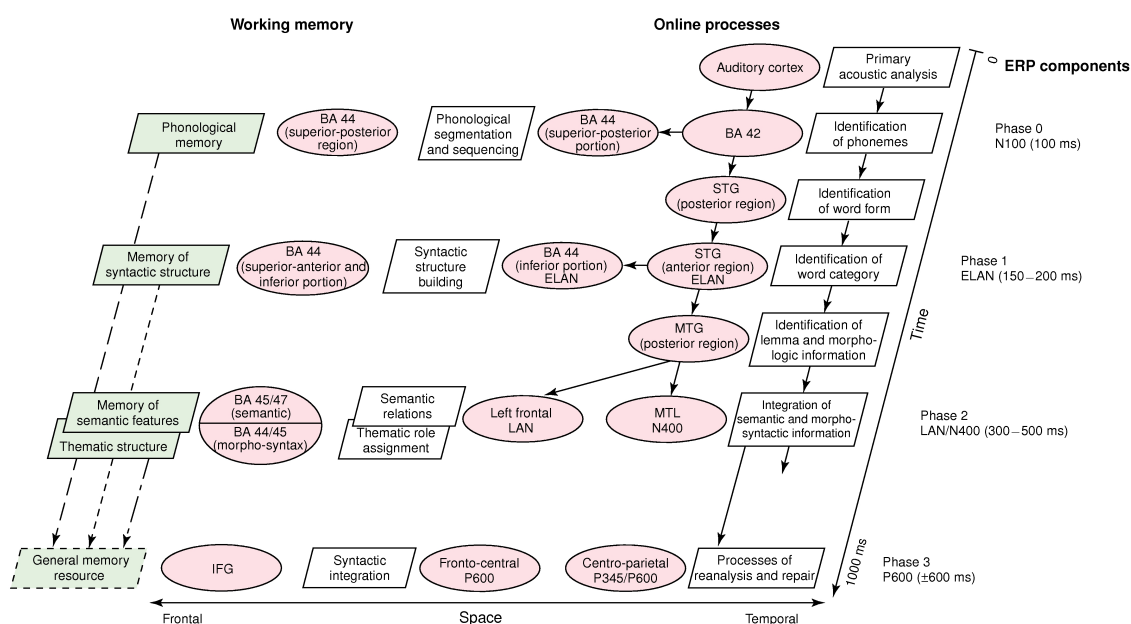
Topographisch wird die P600-Komponente im parietalen Kortexbereich am stärksten ausgelöst (Brown & Hagoort, 2000).

Neben der N400- und P600-Komponente wurden in den letzten Jahren weitere ERP-Komponenten identifiziert: ELAN und LAN. Die ELAN (engl. *early left anterior negativity*) wurde vor allem durch Forschungsarbeiten von Friederici et al. (2001) bekannt. Nach den Autoren ist die ELAN mit der frühen Phase des syntaktischen Analyseprozesses wie z.B. der Identifikation der Wortkategorie assoziiert. Die ELAN ist eine negative Amplitudenkurve, die sich im anterioren Bereich der linken Hemisphäre beobachten lässt und etwa 180 ms nach dem kritischen Wort ausgelöst wird. Die LAN (*left anterior negativity*) ist eine negative Amplitudenkurve, die sich im linken anterioren Bereich beobachten lässt und etwa 400 ms nach dem kritischen Wort ausgelöst wird. Der Eigenschaft (Zeit/Amplituden) nach ist die LAN ähnlich wie die N400, unterscheidet sich aber hinsichtlich der funktionellen Zuordnung innerhalb der

## 2. Methodische Grundlagen: EEG-/ERP-Methode

sprachlichen Verarbeitung sowie hinsichtlich der Topographie. Die LAN wird mit dem Verstoß gegen syntaktische Regeln, vor allem mit dem Verstoß gegen morphosyntaktische Regeln assoziiert (Brown & Hagoort, 2000: 285).

Die funktionelle Zuordnung zu den sprachlichen Prozessen der beiden ERP-Komponenten (ELAN/LAN) sind aber derzeit noch nicht so stark etabliert wie die N400- bzw. die P600-Komponente. Die folgende Abbildung gibt einen Überblick über die Zuordnung der ERP-Komponenten zu sprachverarbeitenden Komponenten. Gemäß dem zeitlichen Verlauf ist zunächst die ELAN (150-200 ms) zu beobachten, die mit der Identifikation der Wortkategorie assoziiert wird. Dann kommen die LAN und die N400 (300-500 ms), die mit der Integration der semantischen und morphosyntaktischen Information assoziiert werden, wobei z.B. die Zuordnung der thematischen Rollen stattfindet. Letztlich tritt die P600 (500-1000 ms) auf, die mit der syntaktischen Re-Analyse bzw. der Fehlerkorrektur assoziiert wird (s. Abbildung 11).



**Abb. 11:** Ein Modell, das aufgrund der ERP-Daten sowie der hämodynamischen Daten das neuronale Korrelat der Subprozesse der auditiven Sprachverarbeitung dargestellt (Friederici, 1999: 79).

Aufgrund der hämodynamischen Daten ordnet Friederici (1999) die auditiven Sprachverarbeitungsprozesse den vier Phasen (Phase 0 bis Phase 3) wie folgt zu: in der

## 2. Methodische Grundlagen: EEG-/ERP-Methode

ersten Phase (Phase 0) findet die phonologische Segmentierung (z.B. Identifizierung der Phoneme sowie der Wortform) statt, woran der Gyrus temporalis superior (Brodmann-Areal 42 und der posteriore Bereich des Gyrus temporalis superior) sowie der Gyrus frontalis inferior (Brodmann-Areal 44) beteiligt sind. In der zweiten Phase (Phase 1) wird die syntaktische Struktur (z.B. Identifizierung der Wortkategorie, Identifizierung der Lemmata sowie die morphosyntaktische Information) gebildet. Daran sind der anteriore Teil des Gyrus temporalis superior, der posteriore Bereich des Gyrus temporalis medius sowie das Brodmann-Areal 44 beteiligt. In der dritten Phase (Phase 2) findet die semantische Analyse sowie die Zuordnung der thematischen Rolle statt. Darin sind das Brodmann-Areal 44, 45 und 47 involviert. In der letzten Phase (Phase 3) findet die syntaktische Integration statt, woran der Gyrus frontalis inferior beteiligt ist. Zusammenfassend sind in den auditiven Sprachverarbeitungsprozessen sowohl der Gyrus frontalis als auch der Gyrus temporalis involviert und die beiden Gyri arbeiten zusammen.

Müller (2003b) erklärt die Zusammenarbeit des Frontal- und Temporallappens bei den auditiven Sprachverarbeitungsprozessen unter neuroanatomischen Aspekten, wobei in dem Modell von Müller (2003b) die Zusammenarbeit der beiden Gyri hemisphärenspezifisch dargestellt wird (s. Abbildung 12). Im linken temporo-parietalen Kortex (vor allem Brodmann-Areal 22, Wernicke-Region) werden sowohl die phonematische als auch die semantische Analyse und zum Teil auch die Analyse des Wortformen-Lexikons (z.B. semantische Kategorie) durchgeführt, wohingegen im rechten temporo-parietalen Kortex die begrenzte semantische Analyse (z.B. des konkreten Nomens) durchgeführt wird. Für die syntaktische Analyse und die morphologische Analyse scheint der linke frontale Kortex (vor allem Brodmann-Areal 44/45, Broca-Region) wichtig zu sein. Außerdem ist der anteriore Bereich des linken Frontallappens vermutlich für das semantische Gedächtnis und Arbeitsgedächtnis zuständig. Im rechten Frontallappen dagegen wird die metaphorische Analyse durchgeführt. Wie im anterioren Bereich des linken Frontallappens ist der rechte Frontallappen am Arbeitsgedächtnis beteiligt. Außerdem scheint der rechte Frontallappen wichtig für das episodische Gedächtnis zu sein.

2. Methodische Grundlagen: EEG-/ERP-Methode

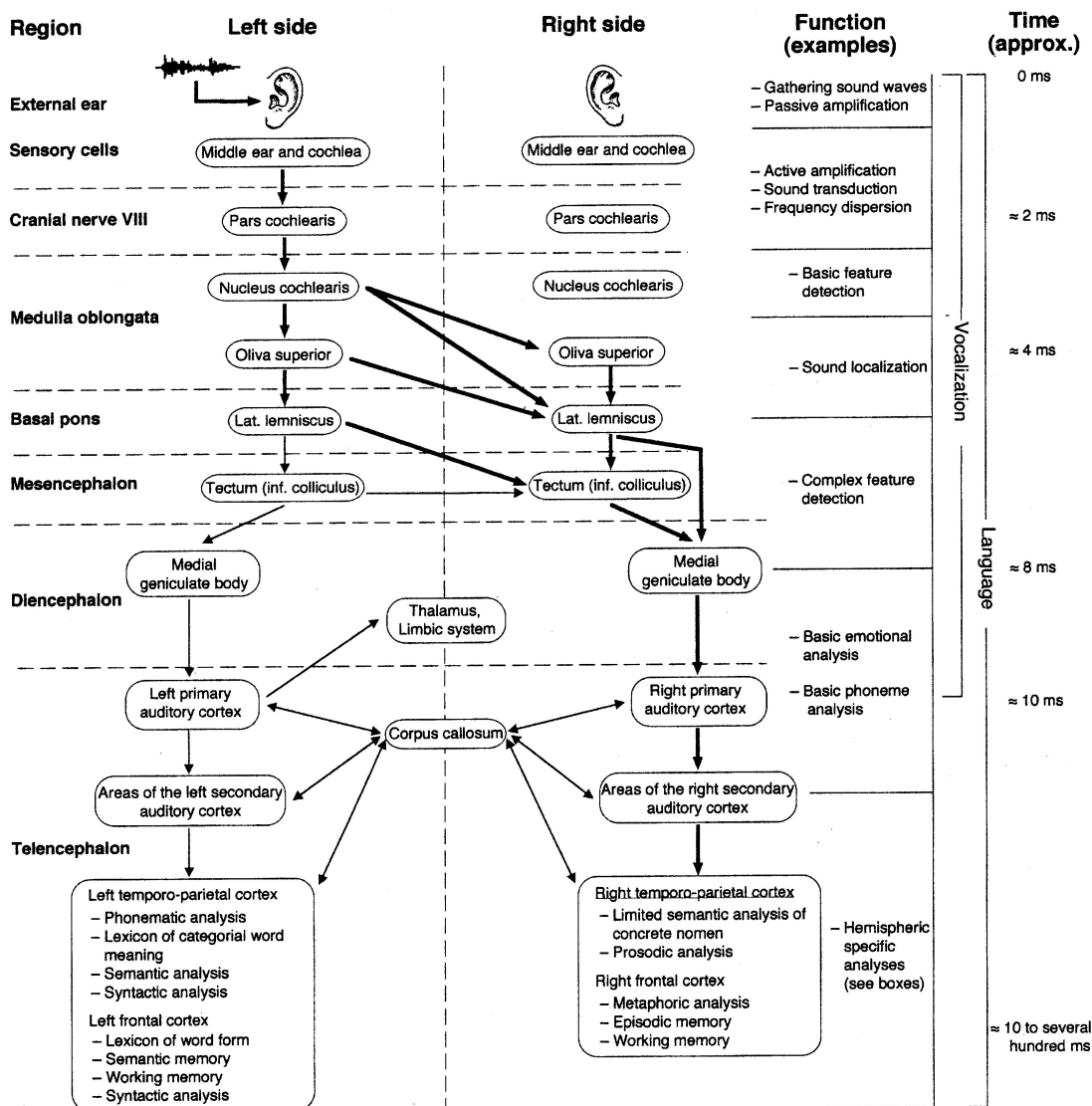


Abb. 12: Neurobiologisch orientierte Darstellung der Prozesse der auditiven Sprachverarbeitung (Müller, 2003b: 73, weitere Details, s. Text).

### 3. Fragestellung und Hypothesen

In diesem Kapitel werden das Ziel des vorliegenden Experiments und daraus folgende Fragestellungen sowie die Hypothesen beschrieben.

#### 3.1 Ziel des Experiments

Wie bereits in Kapitel 2 ausführlich beschrieben, werden in den bisherigen neurophysiologischen Studien zwei Einflussfaktoren bei der Organisation des bilingualen Gehirns diskutiert: das Erwerbsalter und das erreichte Sprachniveau.

Das Ziel dieser Arbeit besteht in der Klärung der Frage, inwieweit das Erwerbsalter bzw. das erreichte Sprachniveau das ERP-Korrelat in der Erst- und der Zweitsprache beeinflusst. Es wurde die Hirnaktivität erfasst, die während der semantischen bzw. syntaktischen Verarbeitung in der L1 (Koreanisch) und L2 (Deutsch) messbar war. Dieses ERP-Korrelat der semantischen und syntaktischen Verarbeitung wurde durch das Auslösen des ERP-Effekts (N400- bzw. P600-Effekt), die Intensität des ERP-Effekts sowie die ERP-Peak-Latenz operationalisiert. Beim Auslösen bzw. Auftreten des ERP-Effekts zeigt sich, dass genügend Hirnaktivierung vorhanden ist, um die semantisch inkongruenten oder syntaktisch inkorrekten Sätze zu erkennen. Hierbei wurden die *Average ERPs* in der semantisch kongruenten oder syntaktisch korrekten Bedingung mit den *Average ERPs* in der semantisch inkongruenten oder syntaktisch inkorrekten Bedingung miteinander verglichen. Bei der Intensität des ERP-Effekts handelt es sich um die Ausprägungsstärke der Hirnaktivität, die während der Erkennung der inkongruenten bzw. inkorrekten Sätze beobachtbar ist. Die ERP-Peak-Latenz bezieht sich auf die Dauer für die Erkennung der inkongruenten bzw. inkorrekten Sätze, also auf die Verarbeitungsgeschwindigkeit. Anhand dieser Operationalisierung wurden die ERP-Verläufe zwischen den Früh- und Spät-Bilingualen mit einem relativ hohen und einem relativ niedrigen Sprachniveau verglichen.

### **3.2 Fragestellung und Hypothesen des Experiments**

Anhand der bereits erwähnten Zielsetzung bzw. Operationalisierung des vorliegenden Experiments werden nachfolgende Fragestellungen sowie Hypothesen aufgestellt.

1) Lässt sich ein Effekt des Erwerbsalters auf das ERP-Korrelat der semantischen bzw. syntaktischen Verarbeitung beobachten? Daraus lässt sich die folgende Hypothese im Hinblick auf die bereits oben genannte Operationalisierung formulieren: Es gibt einen Unterschied zwischen den Früh- und Spät-Bilingualen beim Vergleich a) des Auftretens des N400- bzw. P600-Effekts, b) der Intensität des N400- bzw. P600-Effekts und c) der N400-Peak-Latenz. Es wird erwartet, dass die Früh-Bilingualen den N400- bzw. P600-Effekt zeigen, die Spät-Bilingualen nicht. Falls die Spät-Bilingualen den N400- bzw. P600-Effekt zeigen, ist der N400- bzw. P600-Effekt bei den Früh-Bilingualen stärker ausgeprägt als bei den Spät-Bilingualen. Außerdem ist dann die N400-Peak-Latenz bei den Spät-Bilingualen im Vergleich zu den Früh-Bilingualen verzögert.

2) Lässt sich ein Effekt des Sprachniveaus auf das ERP-Korrelat der semantischen bzw. syntaktischen Verarbeitung beobachten? Aufgrund dieser Fragestellung wird die Hypothese im Hinblick auf die bereits oben genannte Operationalisierung aufgestellt: Es gibt keinen Unterschied zwischen den Früh- und Spät-Bilingualen beim Vergleich a) des Auftretens des N400- bzw. P600-Effekts, b) der Intensität des N400- bzw. P600-Effekts und c) der N400-Peak-Latenz. Vielmehr soll es einen Unterschied zwischen den bilingualen Gruppen mit einem hohen und niedrigen Sprachniveau geben. Es wird dabei das Folgende erwartet: Die Spät-Bilingualen mit einem relativ hohen Sprachniveau (wie die Früh-Bilingualen) zeigen den N400- bzw. P600-Effekt, die Spät-Bilingualen mit einem relativ niedrigen Sprachniveau jedoch nicht. Falls die Spät-Bilingualen mit einem relativ niedrigen Sprachniveau den N400- bzw. P600-Effekt zeigen, wird der N400- bzw. P600-Effekt bei ihnen schwächer ausgeprägt sein als bei den Spät-Bilingualen mit einem relativ hohen Sprachniveau sowie den Früh-Bilingualen. Außerdem tritt die N400- bzw. P600-Peak-Latenz bei den Spät-Bilingualen mit einem relativ niedrigen

### 3. Fragestellung und Hypothesen

Sprachniveau verzögert auf im Vergleich zu den Spät-Bilingualen mit einem relativ hohen Sprachniveau sowie den Früh-Bilingualen.



## **4. Material und Methoden**

### **4.1 Stimulusmaterial**

#### **4.1.1 Konstruktion der Stimuli**

Insgesamt wurden 360 Sätze gemäß der Experimenthypothesen konzipiert: 240 kritische Sätze sowie 120 Distraktoren. Die kritischen Sätze wurden nach den zu erwartenden ERP-Effekten in zwei Kategorien eingeteilt: (a) die semantische Kongruenz (N400) und (b) die syntaktische Kongruenz (P600). Zu der ersten Kategorie gehörten 60 semantisch kongruente und 60 semantisch inkongruente Sätze (d.h zwei Bedingungen: die semantisch kongruente Bedingung und die semantisch inkongruente Bedingung). Zu der zweiten Kategorie gehörten 60 syntaktisch korrekte und 60 syntaktisch inkorrekte Sätze (zwei Bedingungen: die syntaktisch korrekte und die syntaktisch inkorrekte Bedingung).

In der semantisch inkongruenten Bedingung wurde jeweils das letzte Wort eines Satzes manipuliert, so dass der Satz zwar syntaktisch korrekt aber semantisch inkongruent war. Je nach der Wortart (Nomen/Verben) des manipulierten letzten Wortes ergeben sich insgesamt vier semantische Bedingungen für die jeweilige Sprache (s. die Tabellen 5 und 6). Die für die koreanischen Stimuli generierten Sätze wurden zum Teil zunächst wegen der Vergleichbarkeit der beiden Sprachen auf Deutsch generiert und danach ins Koreanische übersetzt. Dabei wurde die koreanische Satzstellung (Subjekt-Objekt-Verb) berücksichtigt. Außerdem wurden bei der Konzipierung der Stimuli zusätzliche Kriterien wie z.B. Satzlänge, Initialphonem und die Lokalisation der kritischen Wörter berücksichtigt.

#### 4. Material und Methoden

**Tabelle 5:** Beispielsätze der semantischen Bedingung (L1) hier übersetzt in die L2. Das letzte Wort (Nomen oder Verb) wurde semantisch manipuliert, so dass der Satz nicht mehr semantisch kongruent ist. Das kritische Wort (Nomen oder Verb) ist kursiv markiert.

<b>Koreanische Sätze (L1)</b>	
<b>Nomen</b>	
semantisch kongruent	목사님이 일요일마다 설교했던 장소는 <i>교회</i> 였다. Der Pfarrer predigte jeden Sonntag in der <i>Kirche</i> .
semantisch inkongruent	바느질하기위해 필요했던 것은 바늘과 <i>식물</i> 이었다. Zum Nähen brauchte sie Nadel und <i>Pflanze</i> .
<b>Verben</b>	
semantisch kongruent	음악회가 끝나자 관객들은 오랫동안 박수를 <i>쳤다</i> . Nach dem Konzert hatten die Zuhörer lange in die Hände <i>geklatscht</i> .
semantisch inkongruent	그는 벽에 그림액자를 <i>꿘다</i> . Er hat das Bild an die Wand <i>geschält</i> .

**Tabelle 6:** Beispielsätze in der semantischen Bedingung (L2). Das letzte Wort (Nomen oder Verb) wurde semantisch manipuliert, so dass der Satz nicht mehr semantisch kongruent ist. Das kritische Wort (Nomen oder Verb) ist kursiv markiert.

<b>Deutsche Sätze (L2)</b>	
<b>Nomen</b>	
semantisch kongruent	Er gab Gas und fuhr bei Rot über die <i>Ampel</i> .
semantisch inkongruent	Die Gurke war aus dem eigenen <i>Bäcker</i> .
<b>Verben</b>	
semantisch kongruent	Sie wollte nach ihrem eigenen Rezept einen Kuchen <i>backen</i> .
semantisch inkongruent	Weil der Aufzug kaputt war, musste er die Treppe <i>melken</i> .

Das Stimulusmaterial für die semantischen Bedingungen (kongruent vs. inkongruent) wurde auf ihre so genannte „high cloze probability“ getestet. Das Ziel der Testung war zu klären, ob die konzipierten Stimuli geeignet sind, den erwartbaren ERP-Effekt (N400-Effekt) zu erzeugen. Anschließend wurden die Sätze anhand dieses Kriteriums

#### 4. Material und Methoden

eingestuft. An dieser Rating-Testung haben 40 deutsche Studenten (im Alter zwischen 20 und 30 Jahren) an der Universität Bielefeld teilgenommen. Die Rating-Testung für die koreanischen Sätze wurde nach denselben Kriterien in Korea mit 40 monolingualen koreanischen Studenten an der *Busan National University* in *Busan* durchgeführt. Alle deutschen Stimuli wiesen mit mehr als 70 % die sog. „high cloze probability“ auf (M = 96, 41; SD = 4, 27). Ebenfalls wiesen alle koreanischen Stimuli mit mehr als 90 % die „high cloze probability“ auf (M = 97, 81; SD = 3, 04).

Bei der syntaktischen Bedingung wurde entweder gegen die syntaktische Regeln der Phrasenstruktur oder des Kasus verstoßen, so dass die Sätze semantisch kongruent aber syntaktisch inkorrekt wurden. Dabei ergeben sich insgesamt vier Bedingungen (s. die Tabellen 7 und 8).

**Tabelle 7:** Beispielsätze in der syntaktischen Bedingung (L1) hier in L2 übersetzt. Die Phrasenstruktur oder der Kasus wurden syntaktisch manipuliert, so dass der Satz nicht mehr syntaktisch korrekt ist. Das kritische Wort ist kursiv markiert.

<b>Koreanische Sätze (L1)</b>	
<b>Phrasenstruktur</b>	
syntaktisch korrekt	그녀는 오늘 직장에 나가지 않았다. <i>Sie ging heute nicht zur Arbeit.</i>
syntaktisch inkorrekt	그녀는 오랫동안 에서 산책을 했다. <i>Sie machte im einen langen Spaziergang (im Park).</i>
<b>Kasus</b>	
syntaktisch korrekt	그는 대통령 선거에서 나를 뽑았다. <i>Er wählte mich zur Präsidentin.</i>
syntaktisch inkorrekt	짧은 기간동안 많은 일들이 나를 일어났다. <i>In kurzer Zeit passierten mich so viele Sachen (mir).</i>

**Tabelle 8:** Beispielsätze in der syntaktischen Bedingung (L2). Die Phrasenstruktur oder der Kasus wurden syntaktisch manipuliert, so dass der Satz nicht mehr syntaktisch korrekt ist. Das kritische Wort ist kursiv markiert.

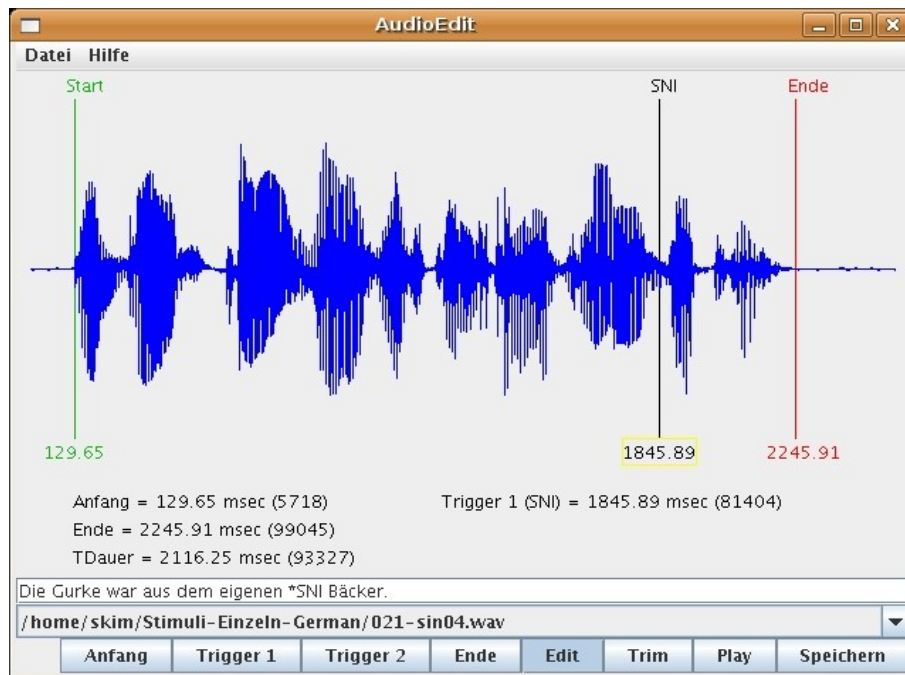
<b>Deutsche Sätze (L2)</b>	
<b>Phrasenstruktur</b>	
syntaktisch korrekt	Ihr Auto wurde <i>zur Reparatur</i> in die Werkstatt gebracht.
syntaktisch inkorrekt	<i>Der Anzug</i> wurde <i>zum</i> gebracht ( <i>zum Reinigen</i> ).
<b>Kasus</b>	
syntaktisch korrekt	Der große Koffer war <i>mir</i> zu schwer.
syntaktisch inkorrekt	Das neue Kleid stand <i>mich</i> gut (mir).

#### 4.1.2 Stimuluseditierung, Kodierung und zeitliche Positionierung der Trigger

Die generierten Sätze wurden im Tonstudio der Universität Bielefeld gesprochen und im WAV-Format aufgenommen. Sprecher waren ein deutscher Muttersprachler und ein koreanischer Muttersprachler, die mit 5 Euro pro Stunde entlohnt wurden. Die Sound-Dateien wurden computergestützt editiert, kontrolliert und vermessen. Die editierten Sound-Dateien wurden einzeln mit den dazugehörigen Steuerdateien gespeichert.

Um bei der späteren Auswertung das EEG-Signal exakt mit den Zeitpunkten der kritischen Wörter in den Stimuli korrelieren zu können, wurden 24 Klassen von hexadezimalen Triggern gemäß der Arbeitshypothese festgelegt und kodiert z.B. Satzanfang, Satzende und Beginn des kritischen Wortes. Mit einer speziellen Software wurden in jedem der 360 Sätze manuell die Zeitpunkte der Trigger festgelegt (s. Abbildung 13). Die exakte Position der Trigger in den 180 deutschen Sätzen wurde anschließend von einer deutschen Muttersprachlerin kontrolliert.

#### 4. Material und Methoden



**Abb. 13:** Zeitliche Positionierung der Trigger.

Die Reihenfolge der Sätze, die nach der Experimenthypothese in Blöcke eingeteilt waren, wurde semi-randomisiert (für Details, s. Kapitel 5.3.3.2) und die neue Reihenfolge wieder partitioniert. Der zeitliche Abstand zwischen der Darbietung der Sätze lag etwa bei 2500 ms. Das *Inter-Stimulus-Interval* (*Inter-Trial-Interval*) wurde systematisch zufällig verteilt. Er variierte von 2000 bis 3000 ms. Zum Schluss wurde das Experiment für die Präsentation durch das Programm *EEGExp* (AG Experimentelle Neurolinguistik) vorbereitet.

## 4.2 Versuchspersonen

Untersucht wurden 31 Koreanisch-Deutsch bilinguale Sprecher, die nach dem Erwerbssalter und dem Sprachniveau in Deutsch (L2) in drei Gruppen eingeteilt wurden: (a) Früh-Bilinguale (n = 13), (b) Spät-Bilinguale mit hohem Sprachniveau (n = 9) und (c) Spät-Bilinguale mit niedrigem Sprachniveau (n = 9).

Die Gruppenzuweisung erfolgte anhand der beiden unabhängigen Variablen: das Erwerbssalter [früh / spät] sowie das erreichte Sprachniveau [muttersprachlich / hoch / niedrig, s. Tabelle 9]. Da die Probanden nicht zufällig den Gruppen zugeteilt wurden (d.h. keine randomisierte Stichproben), handelt sich hier um eine quasiexperimentelle Untersuchung (Bortz, 2005: 8-9). Die Gruppierung der Probanden wurde aufgrund von Verhaltensdaten (Sprachtests) sowie von anamnestischen Daten (Erwerbssalter) vorgenommen. Ein Überblick über diese Daten findet sich in den Tabellen 10 und 11.

In der folgenden Tabelle 9 ist die Stichprobe zusammenfassend dargestellt: (a) Früh-Bilinguale mit einem muttersprachlichen Sprachniveau (E1S1), (b) Spät-Bilinguale mit einem hohen Sprachniveau (E2S2) und (c) Spät-Bilinguale mit einem niedrigen Sprachniveau (E2S3).

**Tabelle 9:** Gruppierung der Probanden anhand der zwei unabhängigen Variablen „Erwerbssalter“ und „Sprachniveau“ (M für muttersprachliches Sprachniveau, HS für relativ hohes Sprachniveau, NS für relativ niedriges Sprachniveau).

	Früh mit M	Spät mit HS	Spät mit NS
<b>Erwerbssalter (E)</b>	früh (E1)	spät (E2)	spät (E2)
<b>Sprachniveau in L2 (S)</b>	muttersprachlich (S1)	relativ hoch (S2)	relativ niedrig (S3)
<b>Anzahl der Probanden</b>	13	9	9

Die Früh-Bilingualen mit einem muttersprachlichen Sprachniveau haben sowohl Koreanisch als auch Deutsch von Geburt an simultan erworben (M = 0.54 Jahre, SD = 0.87) und sind in Deutschland aufgewachsen. Die spät-bilinguale Gruppe bestand aus Studenten an der Universität Bielefeld und diese haben Deutsch erst nach der Pubertät

#### 4. Material und Methoden

( $M = 23,78$  Jahre;  $SD = 4,78$ ) erworben. Nach dem Kruskal-Wallis-Test<sup>1</sup> unterscheidet sich das Erwerbssalter zwischen den drei Gruppen signifikant voneinander ( $p < 0.001$ ). Das Erwerbssalter der Früh-Bilingualen mit einem muttersprachlichen Niveau unterscheidet sich dabei sowohl von den Spät-Bilingualen mit einem relativ hohen Sprachniveau (Mann-Whitney-Test:  $p < 0.001$ ) als auch von den Spät-Bilingualen mit einem relativ niedrigen Sprachniveau (Mann-Whitney-Test:  $p < 0.001$ ). Die beiden spät-bilingualen Gruppen unterscheiden sich hinsichtlich des Erwerbssalters nicht voneinander (Mann-Whitney-Test:  $p < 0.165$ ). Die wichtigsten anamnestischen Daten der Probanden sind in der Tabelle 10 kurz zusammengefasst.

**Tabelle 10:** Analyse der anamnestischen Daten (M: Mittelwert, SD: Standardabweichung, w: weiblich, m: männlich, HS: relativ hohes Sprachniveau, NS: relativ niedriges Sprachniveau). \*Der Lateralitätsquotient wurde anhand einer Händigkeitbefragung (Oldfield, 1971) berechnet, wobei die Prozentzahl 100 eine extreme Rechtshändigkeit, die Prozentzahl 0 eine Beidhändigkeit und die Prozentzahl -100 eine extreme Linkshändigkeit bedeutet.

	<b>Früh-Bilinguale</b>	<b>Spät-Bilinguale (HS)</b>	<b>Spät-Bilinguale (NS)</b>
<b>Lebensalter (Jahre)</b>	M = 22.08 (SD = 3.09)	M = 33.56 (SD = 3.12)	M = 30.33 (SD = 4.38)
<b>Geschlecht</b>	w = 11, m = 2	w = 3, m = 6	w = 6, m = 3
<b>Erwerbssalter (Jahre)</b>	M = 0.54 (SD = 0.87)	M = 22.89 (SD = 5.18)	M = 24.67 (SD = 4.47)
<b>Aufenthaltsdauer (Jahre)</b>	M = 22.31 (SD = 3.42)	M = 6.89 (SD = 2.42)	M = 4.61 (SD = 2.47)
<b>Händigkeit (%)*</b>	M = 80.61 (SD = 17.86)	M = 85,64 (SD = 14.86)	M = 73,82 (SD = 35,81)

Die spät-bilingualen Probanden studierten mindestens seit zwei Jahren an der Universität Bielefeld, nachdem sie den Sprachtest (DSH: Deutsche Sprachprüfung für den Hochschulzugang) erfolgreich bestanden hatten. Anhand des Sprachtests (Ctest, für

---

<sup>1</sup> Es wurde zunächst der Kruskal-Wallis-Test durchgeführt, um zu überprüfen, ob es überhaupt aufgrund des Erwerbssalters signifikante Unterschiede zwischen den drei Gruppen gibt. Danach wurde der Mann-Whitney-Test (U-Test) durchgeführt, um zu überprüfen, ob sich die zwei Gruppen voneinander unterscheiden.

#### 4. Material und Methoden

Details, s. Kapitel 4.3.3.) unterscheiden sich die Leistungen der L2 zwischen den drei Gruppen signifikant voneinander [ $F(2,31) = 163.61, p < 0.001$ ]<sup>1</sup>. Nach den Post-Hoc Tests unterscheidet sich das Leistungsniveau der Früh-Bilingualen mit einem muttersprachlichen Niveau signifikant sowohl vom Leistungsniveau der Spät-Bilingualen mit einem relativ hohen Sprachniveau (Scheffé:  $p < 0.001$ ) als auch vom Leistungsniveau der Spät-Bilingualen mit einem relativ niedrigen Sprachniveau (Scheffé:  $p < 0.001$ ). Es gab auch einen signifikanten Unterschied zwischen den beiden bilingualen Gruppen (Scheffé:  $p < 0.001$ ). Anhand der Selbsteinschätzung des Sprachniveaus unterscheiden sich die drei Gruppen ebenfalls voneinander (Kruskal-Wallis-Test:  $p < 0.001$ ). Das Leistungsniveau der Früh-Bilingualen mit einem muttersprachlichen Niveau unterscheidet sich signifikant sowohl vom Leistungsniveau der Spät-Bilingualen mit einem relativ hohen Sprachniveau (Mann-Whitney-Test:  $p < 0.001$ ) als auch vom Leistungsniveau der Spät-Bilingualen mit einem relativ niedrigen Sprachniveau (Mann-Whitney-Test:  $p < 0.001$ ). Es gab auch einen signifikanten Unterschied zwischen den beiden bilingualen Gruppen (Mann-Whitney-U-Test:  $p < 0.019$ ). Der Mittelwert der jeweiligen bilingualen Gruppe beim Sprachtest bzw. bei der Selbsteinschätzung des L2-Sprachniveaus wird in der Tabelle 11 dargestellt.

**Tabelle 11:** Analyse der Verhaltensdaten (M: Mittelwert, SD: Standardabweichung, HS: relativ hohes Sprachniveau, NS: relativ niedriges Sprachniveau.). Skala bei der Selbsteinschätzung war von 1 (sehr gut) bis 3 (ausreichend).

	<b>Früh-Bilinguale</b>	<b>Spät-Bilinguale mit HS</b>	<b>Spät-Bilinguale mit NS</b>
<b>Sprachtest (%)</b>	M = 95.72 (SD= 3.64)	M = 81.33 (SD = 4.98)	M = 62.43 (SD = 3.81)
<b>Selbsteinschätzung (Skala 1-3)</b>	M = 1 (SD = 0)	M = 2.11 (SD = 0.33)	M = 2.67 (SD = 3.51)

<sup>1</sup> Zur Überprüfung der Gruppenunterschiede wurden univariate Varianzanalysen (ANOVA) sowie Post-Hoc-Tests (Scheffé) durchgeführt. Die dazu erforderlichen Testvoraussetzungen wurden bezüglich der Varianzhomogenität durch den Levene-Test und bezüglich der Normalverteilung durch den Kolmogorov-Smirnov-Test durchgeführt.



### 4.3 Versuchsdurchführung

#### 4.3.1 Versuchsaufbau

Das experimentelle Vorgehen war folgendermaßen: a) Durchführung der EEG-Untersuchung, b) Durchführung des Sprachtests und c) Erhebung der anamnestischen Daten.

Innerhalb der EEG-Untersuchung wurde stets dieselbe Reihenfolge des Ablaufs eingehalten wie Abbildung 14 veranschaulicht. Zunächst wurde den Probanden der Versuchsablauf kurz erklärt, bevor dann das EEG-Experiment startete. Nach der Erklärung wurden die Elektroden auf der Kopfoberfläche befestigt. Anschließend wurden den Probanden in einer schallreduzierten Kammer die Sätze akustisch präsentiert und dabei wurde das EEG abgeleitet. Zu Beginn des jeweiligen Experiments wurde ein kurzer Übungsblock durchgeführt, damit die Versuchspersonen die Aufgaben kennenlernen konnten. Um einen *code switching*-Effekt zu vermeiden, wurde das Experiment zweigeteilt, in einen koreanischen und einen deutschen Teil. Es wurden jeweils sieben Blöcke (jeweils 26 Sätze) in einem Sprachteil (Koreanisch/Deutsch) konstruiert. Zwischen den Blöcken gab es eine kurze Pause. Der gesamte Verlauf des Experiments wurde geübt und dabei wurden jeweils acht Probeexperimente durchgeführt.



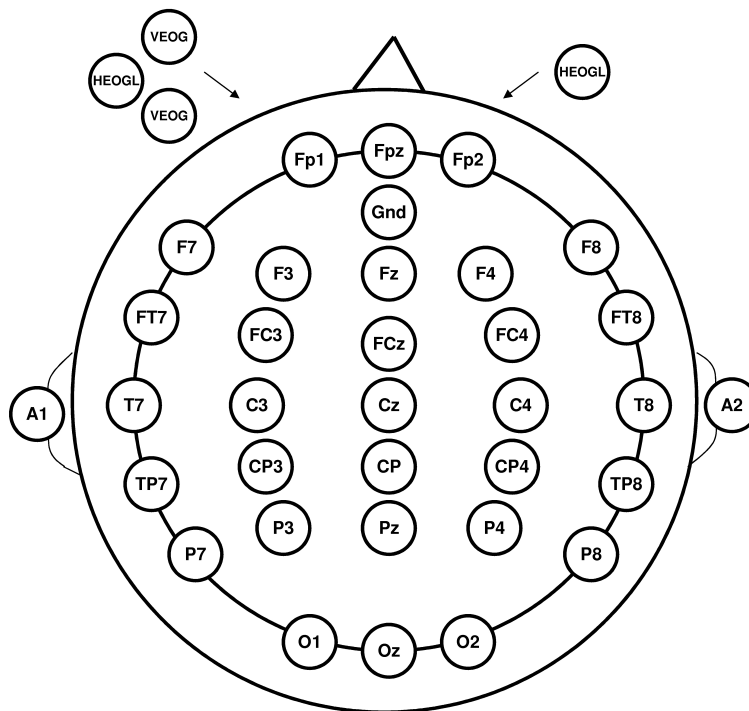
**Abb. 14:** Der Ablauf des EEG-Experiments.

Nach der EEG-Untersuchung wurde ein Test zur Bestimmung des Sprachniveaus in der L2 durchgeführt. Anschließend wurden die anamnestischen Daten (L2-Onset, Dauer des Aufenthalts, Selbsteinschätzung des L2-Sprachniveaus, Händigkeit, sprachlicher Hintergrund der Eltern, usw.) der Probanden erhoben.

### 4.3.2 Erfassung der EEG-Daten

#### 4.3.2.1 Anbringen der Elektroden

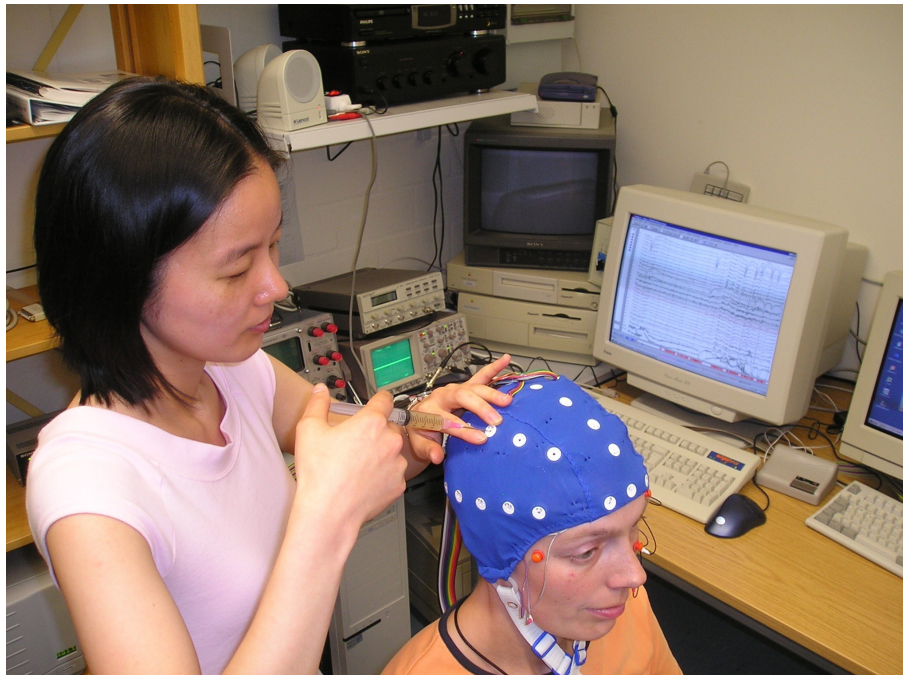
32 Elektroden wurden nach dem internationalen 10-20-System (Jasper, 1958) auf der Kopfoberfläche der Probanden befestigt (s. Abbildung 15). Als Bezugspunkte dienten Nasion, Inion und die präaurikulären Punkte (für Details, s. Zschocke, 2001: 57). Die 32 Elektroden wurden positioniert im frontalen Bereich (Fz, Fp1, Fp2, F3, F4, F7, F8), im zentralen Bereich (Cz, C3, C4), im temporalen Bereich (T3, T4), im posterioren temporalen Bereich (T5, T6, P7, P8), im parietalen Bereich (Pz, P3, P4) und im okzipitalen Bereich (Oz, O1, O2). Zum Monitoring der Augenbewegungen wurden zwei Augenelektroden oberhalb und unterhalb des linken Auges sowie neben dem rechten und linken Auge befestigt. Außerdem wurden Ohrelektroden an den beiden Ohrfläppchen (A1/A2) befestigt.



**Abb. 15:** Die Positionen der 32 Elektroden auf der Kopfoberfläche, der beiden vertikalen Augenelektroden oberhalb und unterhalb des linken Auges und der beiden horizontalen Augenelektroden neben dem linken und rechten Auge.

#### 4. Material und Methoden

Alle Elektroden wurden in einer elastischen Kappe (Electro-cap International) eingebettet. Um die Impedanz der Kopfhaut zu reduzieren, wurden die obersten trockenen Hornhautschichten, die unterhalb der Elektroden liegen, sehr vorsichtig abgekratzt. Zur Verbesserung der Leitfähigkeit wurde außerdem abrasives Elektrolyt in die Elektroden injiziert (s. Abbildung 16).



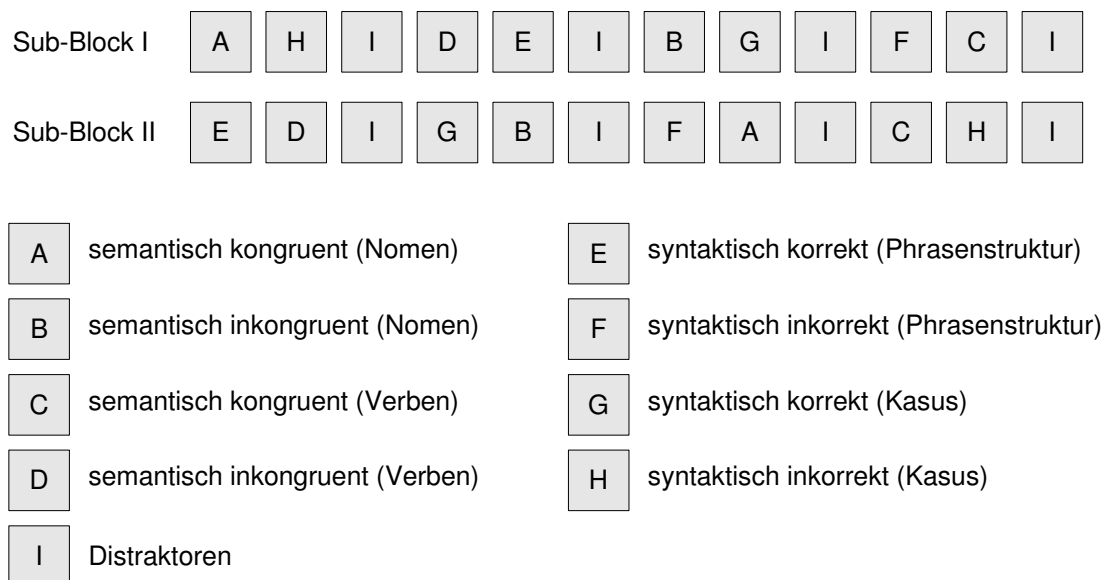
**Abb. 16:** Die Injektion des Elektrodengels in die Elektroden.

##### 4.3.2.2 Präsentation der Stimuli

Die Stimuli wurden mit Hilfe des Stimuluspräsentationsprogramms (EEGExp), das in der AG Neurolinguistik der Universität Bielefeld entwickelt wurde, akustisch präsentiert. Der Stimulusrechner lieferte die Informationen sowohl zur auditiven Realisierung der Stimuli als auch zum Triggermarker in den Aufnahmerechner. Der Stimulusrechner wurde zusammen mit dem Aufnahmerechner am Amplifier angeschlossen (für Details, s. Kapitel 4.3.2.3). Die Sätze wurden in sieben Blöcken (jeweils 24-26 Sätze) für den jeweiligen Sprachteil (Deutsch/Koreanisch) akustisch präsentiert. Zwischen den Blöcken war eine kurze Pause. Der jeweilige Block bestand

#### 4. Material und Methoden

aus zwei Subblöcken, in denen die Sätze semi-randomisiert waren (s. Abbildung 17). Der zeitliche Abstand zwischen der Darbietung der Sätze lag bei etwa 2500 ms. Dieses *Inter-Stimulus-Interval* (*Inter-Trial-Interval*) wurde systematisch zufällig verteilt, so dass dieser von 2000-3000 ms variierte.



**Abb. 17:** Jeder Block bestand aus zwei Sub-Blöcken. Innerhalb des jeweiligen Sub-Blockes kamen je einmal die experimentellen Bedingungen und vier Distraktoren vor.

Die Sätze wurden in einer schallreduzierten EEG-Kabine über Lautsprecher akustisch präsentiert (s. Abbildung 18). Die Versuchspersonen wurden gebeten, die Sätze aufmerksam anzuhören. Um Augenbewegungen zu vermeiden, sollten die Versuchspersonen einen Punkt auf einem ihnen gegenüberliegenden Monitor fixieren.

#### 4. Material und Methoden

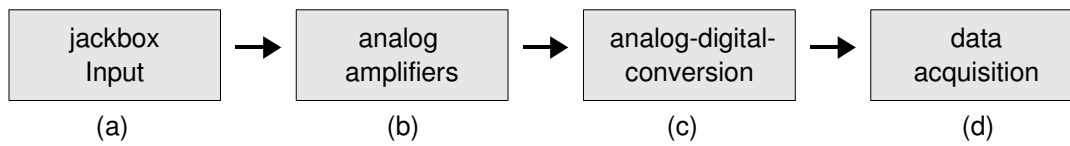


**Abb. 18:** Die Versuchspersonen saßen in einem bequemen Sessel in einer schallreduzierten EEG-Kammer.

##### 4.3.2.3 Aufnahme des EEG-Signals

Für die EEG-Aufnahme wurde das Programm *Acquire 4.1* (*NeuroScan, Neurosoft, Inc*) verwendet. Das EEG-Signal wurde kontinuierlich von den 32 Elektroden aufgenommen. Zur Kontrolle der Augenbewegungen wurden das horizontale Elektrooculogramm (HEOG) und das vertikale Elektrooculogramm (VEOG) eingesetzt. Die Elektroden wurden an einer Jackbox (s. Abbildung 19a und 20a) angeschlossen, die wiederum an einen Verstärker angeschlossen war.

#### 4. Material und Methoden



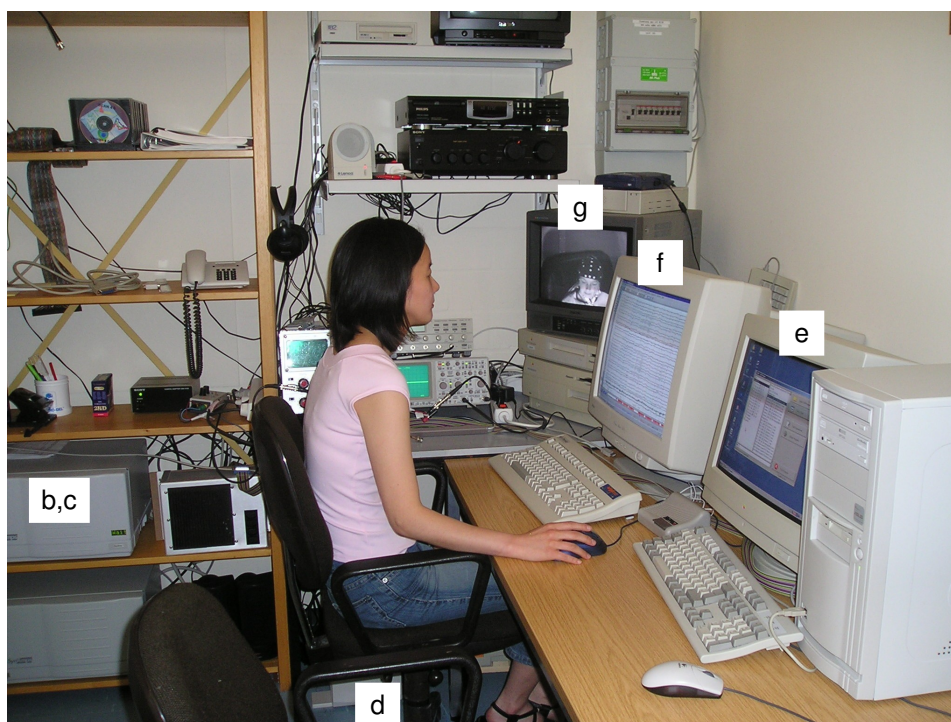
**Abb. 19:** Der Input aus der Jackbox (a), die mit den Elektroden verbunden war, wurde verstärkt (b). Das Signal wurde im Bandpass von 0,15-100 Hz gefiltert (Notch Filter: 50 Hz) und mit einer Samplingrate von 1000 Hz digitalisiert (c) (Niedermeyer & Da Silva, 2005: 798, verändert).



**Abb. 20:** Geräte für die EEG-Aufnahme: Jackbox (a)

Der Input aus der Jackbox wurde mit einem Amplifier (*SynAmp*, *Neuroscan*) verstärkt (s. Abbildung 19b und 21b), wobei das Signal mit einem Bandpass von 0,15-100 Hz gefiltert wurde. Das Signal wurde mit einer Rate von 1000 Abtastpunkten pro Sekunde digitalisiert (s. Abbildung 19c und 21c). Das digitalisierte Signal wurde im Computer (s. Abbildung 19d und 21d) aufgenommen. Die Impedanz der 32 Elektroden lag unter 5 kOhm, die Impedanz der Augenelektroden lag bei 10 kOhm. Als Referenz wurde der Mittelwert der Signale der beiden Ohrelektroden verwendet  $[(A1+A2)/2]$ .





**Abb. 21:** Geräte für die EEG-Aufnahme: Amplifier mit einer eingebetteten A/D Konversion (b, c), Computer für die Datenerfassung (d), Kontrollmonitor des Stimulusrechners (e) Kontrollmonitor des EEG-Aufnahmerechners (f) und Kontrollmonitor, der die Versuchspersonen in der EEG-Kammer zeigt (g).

#### 4.3.3 Durchführung des Sprachtests (L2)

Zur Messung des Sprachniveaus der Probanden in der Zweitsprache (Deutsch), wurde ein Sprachtest (C-Test) entwickelt. Der C-Test ist ähnlich wie ein klassischer Lückentext (Cloze-Test) aufgebaut, unterscheidet sich aber dadurch, dass eine Lücke nicht durch ein Wort ergänzt werden soll, sondern nur durch ein Wortteil. Die Versuchspersonen sollten schriftlich den fehlenden Wortteil ergänzen (Meißner-Stiffel & Raatz, 1996). Der Test bestand aus sieben Texten, die wiederum aus durchschnittlich acht Sätzen bestanden (s. den Beispieltext in Tabelle 12). Der Test wurde an deutschen Muttersprachlern erprobt, bevor er für die koreanisch-deutsch bilingualen Sprecher (Probanden) verwendet wurde.

#### 4. Material und Methoden

**Tabelle 12:** Beispieltext des eingesetzten Sprachtests.

<b>Beispieltext</b>
<p>Der US Internet-Suchmaschinenbetreiber Google hat seinen Gewinn im zwei__ Quartal dank stei_____ Werbeeinnahmen mehr als vervierfacht. Zudem erzielte das Unternehmen einen Rekord- Um_____. Als Grund f__ die po_____ Entwicklung nannte Google das Wachs_____ des Werbegeäfts in Verbindung m__ Online-Recherchen. Die Anzeigen erscheinen auf d__ Google- Seiten, wenn Internet-Nutzer bestimmte Suchbegriffe ein_____. Google ver_____ in dem Moment Geld, wenn die Nutzer die Werbung an_____.</p>



## 4.4 Datenanalyse

### 4.4.1 Analyse der EEG-Daten

Die EEG-Rohdaten wurden mit der Software „*Brain Analyzer (Brain Products GmbH)*“ ausgewertet. Die Artefakte in den Roh-EEG-Daten, die unter anderem durch Augenblinzeln, ruckartiges Anhalten der Augenbewegungen und Muskelbewegungen produziert waren, wurden markiert bzw. zurückgewiesen. Sie wurden nach folgenden Kriterien semi-automatisch markiert: Gradienten-Kriterium (die maximal erlaubte Spannungsdifferenz zwischen zwei Abtastpunkten), Maximum-Minimum-Kriterium (die maximal erlaubte Spannungsdifferenz), dem Amplituden-Kriterium (die maximal zulässigen Spannungswerte), Niedrigstes Aktivitätskriterium (die niedrigste erlaubte Aktivität). Anschließend wurde nochmal visuell kontrolliert. Die markierten Artefakte (27 % der Stimuli, s. Tabelle 13) wurden zurückgewiesen, so dass sie mit der Mittelung (*averaging*) nicht berechnet werden konnten. Nach der Zurückweisung von Artefakten wurden die EEG-Daten offline mit einem Bandpass von 0,1-13 Hz gefiltert. Es wurde ein Zeitfenster von 100 ms vor dem kritischen Wort (Prästimulus-Intervall) bis 900 ms nach dem kritischen Wort (Poststimulus-Intervall) aus den EEG-Daten herausgeschnitten. Die anhand der Triggerinformation segmentierten EEG-Daten wurden für jede Versuchsperson gemittelt (*averaging*). Anschließend wurde ein Mittelwert daraus gebildet (*grand averaging*). Der Peak der Amplitudenkurve wurde in den folgenden Zeitfenstern markiert: 300-500 ms bzw. 600-800 ms. Die Amplitudenwerte sowie die Latenz des N400- sowie P600-Peaks wurden für die statistische Analyse in ein ASCII-Format exportiert. Die als ASCII-Format gespeicherte Peak-Information (Amplitudenwerte sowie Peak-Latenz) wurde wiederum in ein SPSS-Format exportiert.

#### 4. Material und Methoden

**Tabelle 13:** Die Prozentzahl der artefaktmarkierten Stimuli.

<b>Stimulus-Bedingung</b>	<b>Anzahl der Stimuli aller Versuchspersonen</b>	<b>Prozentzahl der artefaktmarkierten Stimuli</b>
Semantische Bedingung in der L1	930	26,5 %
Nomen	465	27,0 %
Verben	465	26,0 %
Syntaktische Bedingung in der L1	930	28,0 %
Phrasenstruktur	465	27,0 %
Kasus	465	29,0 %
Semantische Bedingung in der L2	930	27,5 %
Nomen	465	27,0 %
Verben	465	28,0 %
Syntaktische Bedingung in der L2	930	26,0 %
Phrasenstruktur	465	25,0%
Kasus	465	27,0 %
<b>Total</b>	<b>3720</b>	<b>27,0%</b>

#### 4.4.2 Statistische Analyse

##### *a) Verhaltensdaten*

Für die Analyse der Verhaltensdaten wurde sowohl der Mann-Whitney-Test als auch die einfaktorielle Varianzanalyse (ANOVA) durchgeführt. Für die Auswertung des Selbsteinschätzungstests wurde zunächst der Kruskal-Wallis-Test durchgeführt, um zu überprüfen, ob es überhaupt Unterschiede zwischen den drei Gruppen gibt. Danach wurde zum Vergleich zwischen zwei Gruppen der Mann-Whitney-Test durchgeführt. Für die Analyse des Sprachtests (CTest) wurde die einfaktorielle ANOVA mit einem festen Faktor (Gruppe: Früh-, Spät mit einem relativ hohen Sprachniveau und Spät mit einem relativ niedrigen Sprachniveau) durchgeführt. Zur Überprüfung von Gruppenunterschieden wurde der Scheffé-Test (post-hoc) durchgeführt.

##### *b) EEG-Daten*

Für die Analyse der EEG-Daten wurden folgende Überprüfungstests durchgeführt: a) eine dreifaktorielle 2x2x3 ANOVA mit Messwiederholung für die ERP-Amplitudenwerte, b) eine einfaktorielle ANOVA sowie c) die multiple lineare Regression für die ERP-Peak-Latenz (für einen Überblick, s. Tabelle 14).

##### *b-1) Amplituden*

Für die Analyse der semantisch kongruenten Bedingung im Vergleich zur semantisch inkongruenten Bedingung wurden die Amplitudenwerte im Zeitfenster von 300-500 ms gemessen. Die dreifaktorielle 2x2x3 Varianzanalyse mit Messwiederholung (repeated measure ANOVA) wurde an der Elektrodenposition Cz mit den folgenden Faktoren durchgeführt: ein Zwischenssubjektfaktor (Gruppe: Früh-Bilinguale/ Spät-Bilinguale mit einem relativ hohen Sprachniveau/ Spät-Bilinguale mit einem relativ niedrigen Sprachniveau) und zwei Innersubjektfaktoren: Stimulustyp (kongruent vs. inkongruent) und Wortart der semantisch inkongruenten Satzendung (Nomen/Verben).

Für die Analyse der syntaktisch korrekten Bedingung im Vergleich zur syntaktisch inkorrekten Bedingung wurden die Amplitudenwerte im Zeitfenster von 500-800 ms

#### 4. Material und Methoden

gemessen. In gleicher Weise wurde die dreifaktorielle  $2 \times 2 \times 3$  Varianzanalyse mit Messwiederholung (repeated measure ANOVA) an der Elektrodenposition Pz mit den folgenden Faktoren durchgeführt: ein Zwischensubjektfaktor (Gruppe: Früh-Bilinguale/ Spät-Bilinguale mit einem relativ hohen Sprachniveau/ Spät-Bilinguale mit einem relativ niedrigen Sprachniveau) und zwei Innersubjektfaktoren: Stimulustyp (korrekt vs. inkorrekt) und Aufgabentyp (Phrasenstruktur/ Kasus). Für die Analyse der Intensität des ERP-Effekts wurde die einfaktorielle ANOVA mit einem festen Faktor (Gruppe: Früh-Bilinguale/ Spät-Bilinguale mit einem relativ hohen Sprachniveau/ Spät-Bilinguale mit einem relativ niedrigen Sprachniveau) durchgeführt. Als Voraussetzungstest wurden der Kolmogorov-Smirnov-Test zur Normalverteilung sowie der Levene-Test zur Varianzhomogenität durchgeführt. Aufgrund multipler Vergleiche wurde eine Bonferroni-Korrektur vorgenommen (Bortz, 2005: 129, 271-272). Es wurde jeder Signifikanztest mit einem korrigierten Alpha-Fehler-Niveau durchgeführt (das korrigierte Alpha:  $\text{Alpha}/m: 0.05/2 = 0.025$ ).

##### ***b-2) Peak-Latenz***

Für die Analyse der semantisch kongruenten Bedingung im Vergleich zur semantisch inkongruenten Bedingung wurde die Peak-Latenz im Zeitfenster von 300-500 ms gemessen. Dabei wurden zwei statistische Analysen durchgeführt: die einfaktorielle Varianzanalyse und die multiple lineare Regression. Die Arbeitshypothese wurde zunächst mit Hilfe der einfaktoriellen Varianzanalyse mit einem festen Faktor (Gruppe: Früh-Bilinguale/ Spät-Bilinguale mit einem relativ hohen Sprachniveau/ Spät-Bilinguale mit einem relativ niedrigen Sprachniveau) überprüft. Der Signifikanztest wurde zweiseitig durchgeführt (Irrtumswahrscheinlichkeit von 0.05). Außerdem wurden zwei lineare Einfachregressionen mit einer unabhängigen Variable (Erwerbssalter oder L2-Sprachniveau) durchgeführt. Wenn die beiden Faktoren (Erwerbssalter/L2-Sprachniveau) einen Einfluss auf die Peak-Latenz hatten, wurde eine multiple lineare Regression mit zwei unabhängigen Variablen (Erwerbssalter und L2-Sprachniveau) berechnet, um herauszufinden, welcher der beiden Faktoren einen Einfluss auf die Peak-Latenz hat. Für die Analyse der syntaktisch korrekten Bedingung im Vergleich zur syntaktisch

#### 4. Material und Methoden

inkorrekten Bedingung wurde die Peak-Latenz im Zeitfenster von 500-800 ms gemessen. Für die syntaktische Analyse wurde wie bei der semantischen Bedingung die einfaktorielle Varianzanalyse und die multiple lineare Regression durchgeführt.

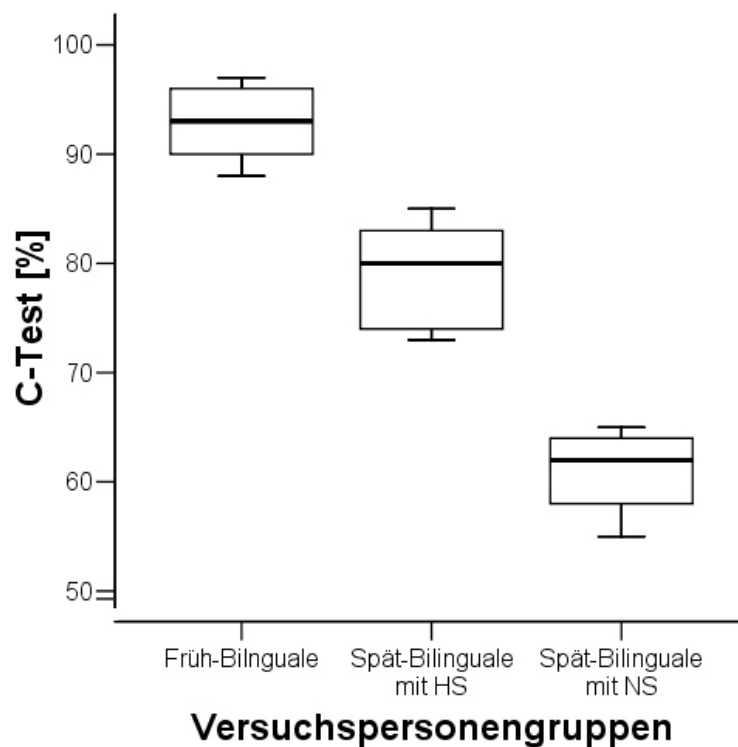
**Tabelle 14:** Statistische Analyse der EEG-Daten (HS: relativ hohes L2-Sprachniveau, NS: relativ niedriges L2-Sprachniveau).

<i>ERP-Effekt</i>	<b>Statistische Analyse</b>
<b><i>ERP-Amplitude</i></b>	
<b><i>- Auftreten</i></b>	<i>dreifaktorielle 2 x 2 x 3 ANOVA mit Messwiederholung</i>
semantische Bedingung	Zwischensubjektfaktor: - Gruppe (3 Stufen: Früh-/Spät-Bilinguale mit HS/ Spät-Bilinguale mit NS) Innersubjektfaktoren: - Stimulustyp (2 Stufen: kongruent/ inkongruent) - Wortart der semantisch inkongruenten Satzendung (2 Stufen: Nomen/Verben)
syntaktische Bedingung	Zwischensubjektfaktor: - Gruppe (3 Stufen: Früh-/Spät-Bilinguale mit HS/ Spät-Bilinguale mit NS) Innersubjektfaktoren: - Stimulustyp (2 Stufen: korrekt/inkorrekt) - Aufgabentyp (2 Stufen: Phrasenstruktur/Kasus)
<b><i>- Intensität</i></b>	<i>einfaktorielle ANOVA mit einem festen Faktor (Gruppe)</i>
<b><i>ERP-Peak-Latenz</i></b>	<i>einfaktorielle ANOVA &amp; Multiple lineare Regression</i>
semantische Bedingung	ANOVA mit einem festen Faktor (Gruppe) Multiple lineare Regression mit zwei Faktoren (Erwerbssalter/Sprachniveau)
syntaktische Bedingung	ANOVA mit einem festen Faktor (Gruppe) Multiple lineare Regression mit zwei Faktoren (Erwerbssalter/Sprachniveau)

## 5. Ergebnisse

### 5.1 Verhaltensdaten

Bei der Sprachtestanalyse ergibt sich nach dem Post-Hoc-Verfahren ein Gruppeneffekt [ $F(2,31) = 163.61, p < 0.001$ ]. Das Leistungsniveau der Früh-Bilingualen mit einem muttersprachlichen Niveau unterscheidet sich signifikant sowohl vom Leistungsniveau der Spät-Bilingualen mit einem relativ hohen Sprachniveau (Scheffé:  $p < 0.001$ ) als auch vom Leistungsniveau der Spät-Bilingualen mit einem relativ niedrigen Sprachniveau (Scheffé:  $p < 0.001$ , s. Abbildung 22). Die beiden spät-bilingualen Gruppen unterscheiden sich ebenfalls signifikant voneinander (Scheffé:  $p < 0.001$ ).



**Abb. 22:** Sprachniveau anhand des C-Tests der drei bilingualen Gruppen. Die drei Gruppen unterscheiden sich signifikant voneinander: Früh-Bilinguale ( $M = 92.85; SD = 3.64$ ), Spät-Bilinguale mit einem relativ hohen Sprachniveau ( $M = 78.89; SD = 4.98$ ), Spät-Bilinguale mit einem relativ niedrigen Sprachniveau ( $M = 60.56, SD = 3.81$ ). HS: hohes Sprachniveau in der L2, NS: Niedriges Sprachniveau in der L2.

## 5. Ergebnisse

Auch bei der Analyse des Selbsteinschätzungstests der Versuchspersonen ergibt sich ein signifikanter Unterschied zwischen den drei Gruppen (Kruskal-Wallis-Test:  $p < 0.001$ ). Das Leistungsniveau der Früh-Bilingualen mit einem muttersprachlichen Niveau unterscheidet sich signifikant sowohl vom Leistungsniveau der Spät-Bilingualen mit einem relativ hohen Sprachniveau (Mann-Whitney-Test:  $p < 0.001$ ) als auch vom Leistungsniveau der Spät-Bilingualen mit einem relativ niedrigen Sprachniveau (Mann-Whitney-Test:  $p < 0.001$ ). Es gibt auch einen signifikanten Unterschied zwischen den beiden spät-bilingualen Gruppen (Mann-Whitney-Test:  $p < 0.001$ ). Zusammenfassend unterscheidet sich das L2-Sprachniveau der drei Gruppen sowohl im Sprachtest (C-Test) als auch im Selbsteinschätzungstest signifikant voneinander.

## 5.2 EEG-Daten zur L1 (Koreanisch)

In diesem Kapitel wird das ERP-Korrelat der semantischen und syntaktischen Verarbeitung in der L1 (Koreanisch) nach den folgenden Kriterien (für Details s. Kapitel 3) beschrieben: (a) Auftreten des ERP-Effekts (N400- bzw. P600-Effekt), (b) Intensität des ERP-Effekts und (c) ERP-Peak-Latenz.

### 5.2.1 Semantische Bedingung

Für die ERP-Daten in der semantischen Bedingung wird eine dreifaktorielle 2x2x3 ANOVA mit Messwiederholung für alle Faktoren berechnet. Die Faktoren sind „Stimulustyp (kongruent/inkongruent)“, „Wortart der semantisch inkongruenten Satzendung (Nomen/Verben)“ und „Gruppe (Früh/Spät mit einem relativ hohen Sprachniveau/Spät mit einem relativ niedrigen Sprachniveau)“. Hier sind nur die zweifache Interaktion „Stimulustyp“ x „Gruppe“ sowie die dreifache Interaktion „Stimulus“ x „Wortart der semantisch inkongruenten Satzendung“ x „Gruppe“ relevant.

#### 5.2.1.1 Auftreten des N400-Effekts

Es gibt keine signifikante Interaktion zwischen der Gruppe und den anderen Faktoren. Der N400 Effekt wird bei allen bilingualen Gruppen für die beiden Wortarten der semantisch inkongruenten Satzendung (Nomen/Verben) beobachtet. Dies wird im Folgenden ausführlich beschrieben.

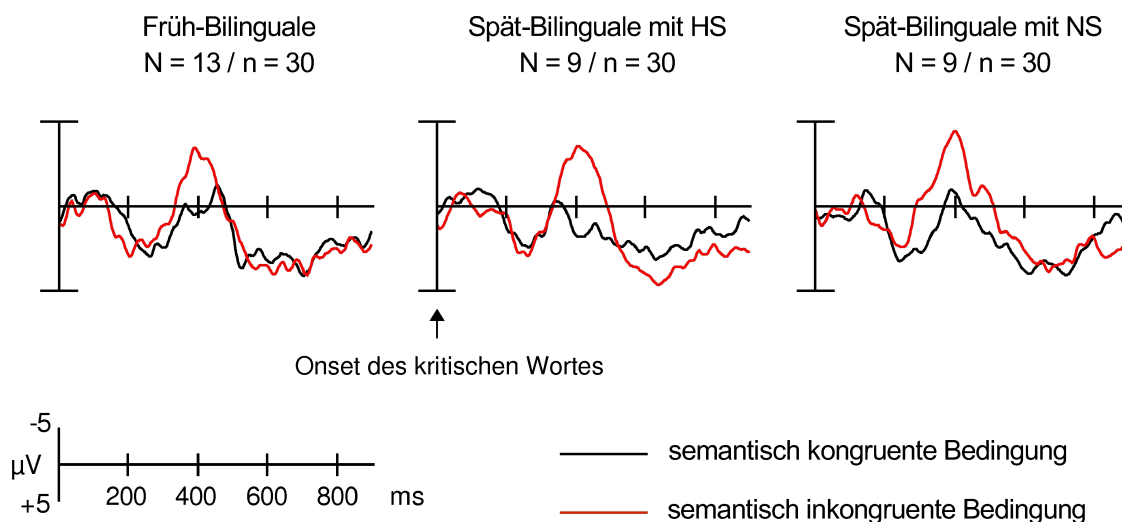
Bei der Analyse der semantisch kongruenten Bedingung im Vergleich zur semantisch inkongruenten Bedingung ergibt sich im Zeitfenster zwischen 300-500 ms keine Interaktion „Stimulustyp“ x „Gruppe“ [ $F(2,28) = 3.1, p < 0.062$ ]. Die paarweisen Vergleiche zeigen, dass alle Gruppen einen signifikanten Unterschied zwischen der semantisch kongruenten und der semantisch inkongruenten Bedingung aufweisen (Früh-Bilinguale:  $p < 0.001$  / Spät-Bilinguale mit einem relativ hohen Sprachniveau:  $p < 0.001$  / Spät-Bilinguale mit einem relativ niedrigen Sprachniveau:  $p < 0.001$ , s. Abbildung 23).



## 5. Ergebnisse

Außerdem gibt es keine Interaktion „Stimulustyp“ x „Wortarten der semantisch inkongruenten Satzendung“ x „Gruppe“ [ $F(2,28) = 0.538, p < 0.591$ ]. Dies bedeutet, dass alle bilingualen Gruppen den N400-Effekt hinsichtlich der beiden Wortarten der semantisch inkongruenten Satzendung (Nomen/Verben) zeigen.

Elektrode: Cz

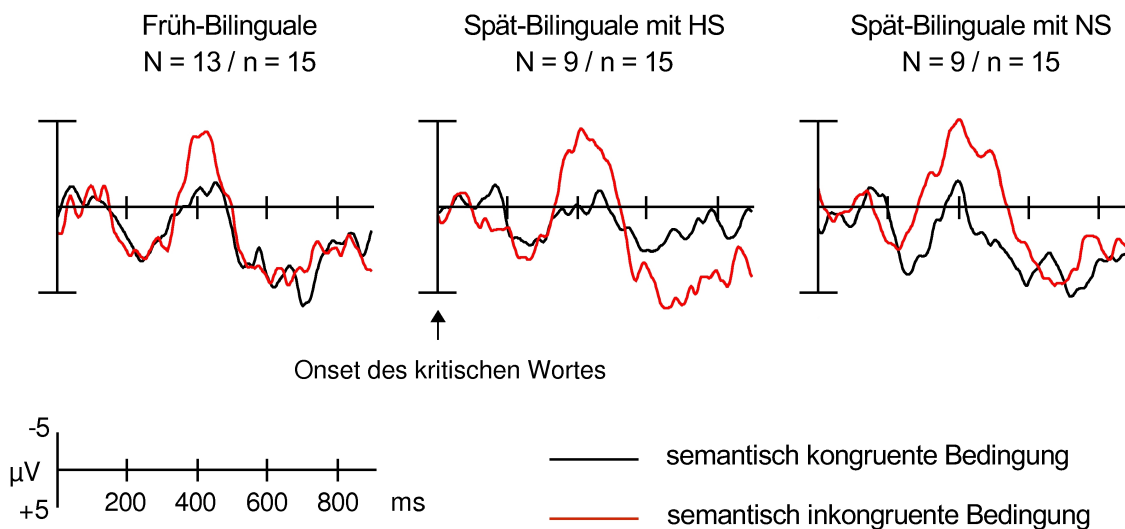


**Abb. 23:** ERP Grand Average der kritischen Wörter in der semantisch kongruenten und inkongruenten Bedingung (beide Wortarten: Nomen + Verben,  $n = 30$ ) bei der jeweiligen Gruppe für die Elektrodenposition Cz. Abgekürzt: HS (relativ hohes L2-Sprachniveau), NS (relativ niedriges L2-Sprachniveau).

Die separate Analyse bei der semantischen Bedingung „Wortart Nomen“ ergibt keine Interaktion „Stimulustyp“ x „Gruppe“ [ $F(2,28) = 1.339, p < 0.279$ ]. Die paarweisen Vergleiche weisen darauf hin, dass alle Gruppen einen signifikanten Unterschied zwischen der semantisch kongruenten und der semantisch inkongruenten Bedingung zeigen (Früh-Bilinguale:  $p < 0.002$  / Spät-Bilinguale mit einem relativ hohen Sprachniveau:  $p < 0.001$  / Spät-Bilinguale mit einem relativ niedrigen Sprachniveau:  $p < 0.001$ ], s. Abbildung 24).

## 5. Ergebnisse

Elektrode: Cz

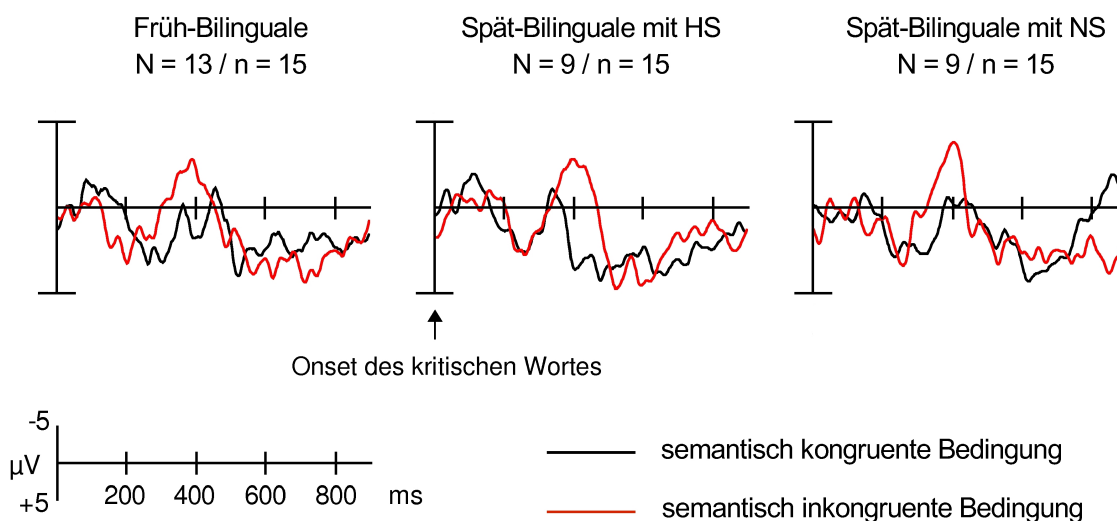


**Abb. 24:** ERP Grand Average der kritischen Wörter in der semantisch kongruenten und inkongruenten Bedingung (Wortarten: Nomen, n = 15) bei der jeweiligen Gruppe für die Elektrodenposition Cz. Abgekürzt: HS (relativ hohes L2-Sprachniveau), NS (relativ niedriges L2-Sprachniveau).

Auch die separate Analyse bei der semantischen Bedingung „Wortart Verb“ ergibt keine Interaktion „Stimulustyp“ x „Gruppe“ [ $F(2,28) = 3.154, p < 0.06$ ], wobei sich eine statistische Tendenz zur Interaktion zwischen dem „Stimulustyp“ und der „Gruppe“ zeigt. Die paarweisen Vergleiche weisen darauf hin, dass alle Gruppen einen signifikanten Unterschied zwischen der semantisch kongruenten und der semantisch inkongruenten Bedingung zeigen ([Früh-Bilinguale:  $p < 0.003$  / Spät-Bilinguale mit einem relativ hohen Sprachniveau:  $p < 0.004$  / Spät-Bilinguale mit einem relativ niedrigen Sprachniveau:  $p < 0.001$ ], s. Abbildung 25).

## 5. Ergebnisse

Elektrode: Cz



**Abb. 25:** ERP Grand Average der kritischen Wörter in der semantisch kongruenten und inkongruenten Bedingung (Wortarten: Verben,  $n = 15$ ) bei der jeweiligen Gruppe für die Elektrodenposition Cz. Abgekürzt: HS (relativ hohes L2-Sprachniveau), NS (relativ niedriges L2-Sprachniveau).

### 5.2.1.2 Intensität des N400-Effekts

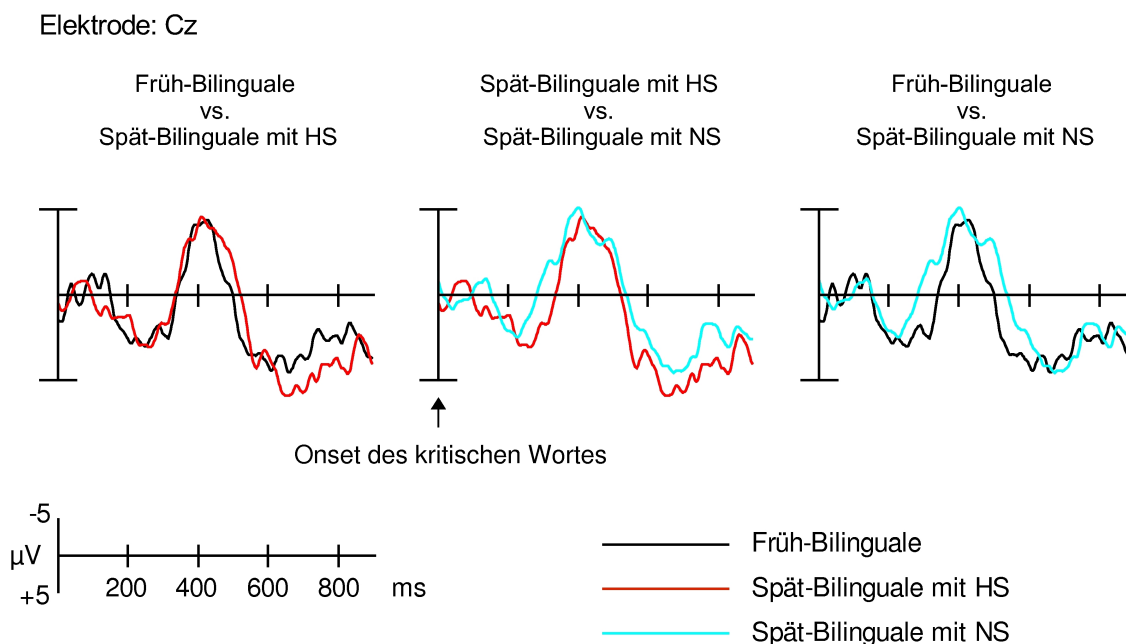
Bei der Analyse der Intensität des N400-Effekts ergibt sich weder bei der Bedingung von Nomen [ $F(2,28) = 1.339, p < 0.279$ ] noch bei der Bedingung von Verben [ $F(1,28) = 3.154, p < 0.06$ ] ein Gruppeneffekt. Bei der Bedingung von Nomen zeigt sich anhand der Post-Hoc-Tests, dass sich die Früh-Bilingualen weder von den Spät-Bilingualen mit einem relativ hohen Sprachniveau (Scheffé:  $p < 0.502$ ) noch von den Spät-Bilingualen mit einem relativ niedrigen Sprachniveau (Scheffé:  $p < 0.335$ ) unterscheiden. Die beiden spät-bilingualen Gruppen unterscheiden sich ebenfalls nicht voneinander (Scheffé:  $p < 0.959$ ).

Bei der Bedingung von Verben gibt es anhand der Post-Hoc-Tests (Scheffé) keinen signifikanten Gruppenunterschied, wobei sich eine statistische Tendenz zum Gruppenunterschied zwischen den Spät-Bilingualen mit einem relativ niedrigen Sprachniveau und den Früh-Bilingualen zeigt (Früh-Bilinguale im Vergleich zu den Spät-Bilingualen mit einem relativ hohen Sprachniveau:  $p < 0.931$ , Spät-Bilinguale mit einem relativ hohen Sprachniveau im Vergleich zu den Spät-Bilingualen mit einem

relativ niedrigen Sprachniveau:  $p < 0.191$ , Spät-Bilinguale mit einem relativ niedrigen Sprachniveau im Vergleich zu den Früh-Bilingualen,  $p < 0.071$ ).

### 5.2.1.3 N400-Peak-Latenz

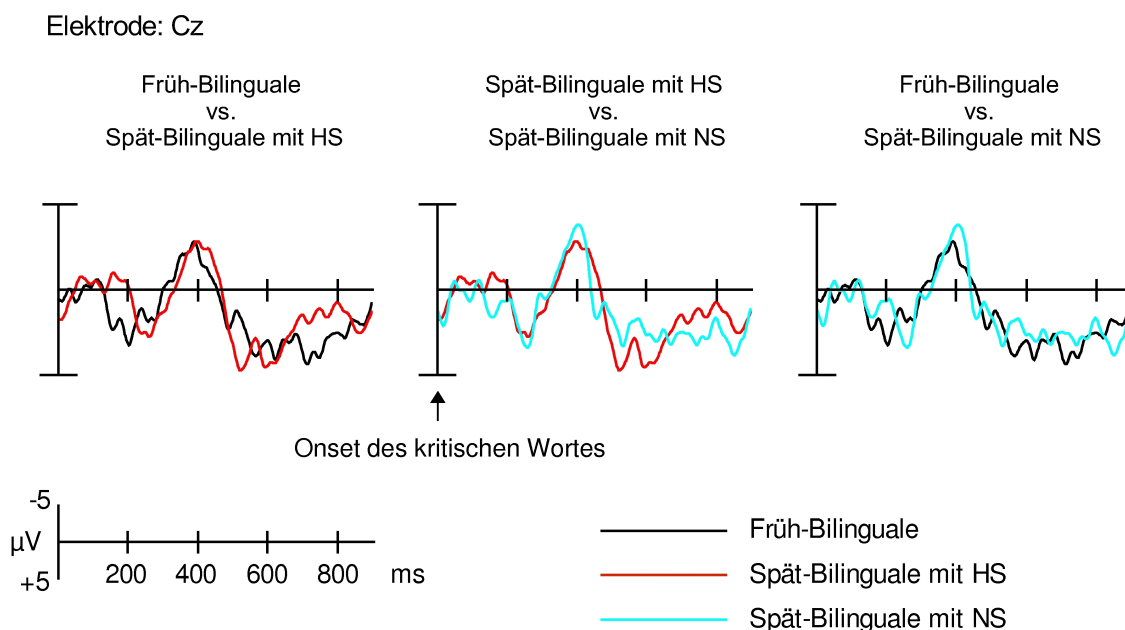
Bei der Bedingung von Nomen weist die Analyse der N400-Peak-Latenz keinen Gruppeneffekt auf [Nomen:  $F(2,28) = 1.012$ ,  $p < 0.377$ , s. Abbildung 26]. Nach den Post-Hoc-Tests unterscheidet sich die N400-Peak-Latenz der drei Gruppen nicht signifikant voneinander, weder die beiden spät-bilingualen Gruppen (Scheffé:  $p < 0.901$ ), noch die Gruppe der Früh-Bilingualen im Vergleich mit den Spät-Bilingualen mit einem hohen Sprachniveau (Scheffé:  $p < 0.683$ ), als auch im Vergleich mit den Spät-Bilingualen mit einem relativ niedrigen Sprachniveau (Scheffé:  $p < 0.399$ ).



**Abb. 26:** ERP Grand Average der kritischen Wörter in der semantisch inkongruenten Bedingung (Wortart: Nomen,  $n = 15$ ) für die Elektrodenposition Cz. Abgekürzt: HS (relativ hohes L2-Sprachniveau), NS (relativ niedriges L2-Sprachniveau).

## 5. Ergebnisse

Bei der Bedingung von Verben zeigt die N400-Peak-Latenz ebenfalls keinen Gruppeneffekt [Verben:  $F(2,28) = 0.828$ ,  $p < 0.448$ , s. Abbildung 27]. Nach den Post-Hoc-Tests unterscheidet sich die N400-Peak-Latenz der Früh-Bilingualen weder von den Spät-Bilingualen mit einem hohen Sprachniveau (Scheffé:  $p < 0.532$ ) noch von den Spät-Bilingualen mit einem relativ niedrigen Sprachniveau (Scheffé:  $p < 0.363$ ). Es gab auch keinen Unterschied zwischen den beiden spät-bilingualen Gruppen (Scheffé:  $p < 0.91$ ).



**Abb. 27:** ERP Grand Average der kritischen Wörter in der semantisch inkongruenten Bedingung (Wortart: Verben) für die Elektrodenposition Cz. Abgekürzt: HS (relativ hohes L2-Sprachniveau), NS (relativ niedriges L2-Sprachniveau).

### 5.2.2 Syntaktische Bedingung

Für die ERP-Daten in der syntaktischen Bedingung wird eine dreifaktorielle 2x2x3 ANOVA mit Messwiederholung für alle Faktoren berechnet. Die Faktoren sind „Stimulustyp (korrekt/inkorrekt)“, „Aufgabentyp (Phrasenstruktur/Kasus)“ und „Gruppe (Früh/Spät mit einem relativ hohen Sprachniveau/Spät mit einem relativ niedrigen Sprachniveau)“. Hier sind nur die zweifache Interaktion „Stimulustyp“ x „Gruppe“ sowie die dreifache Interaktion „Stimulus“ x „Aufgabentyp“ x „Gruppe“ relevant.

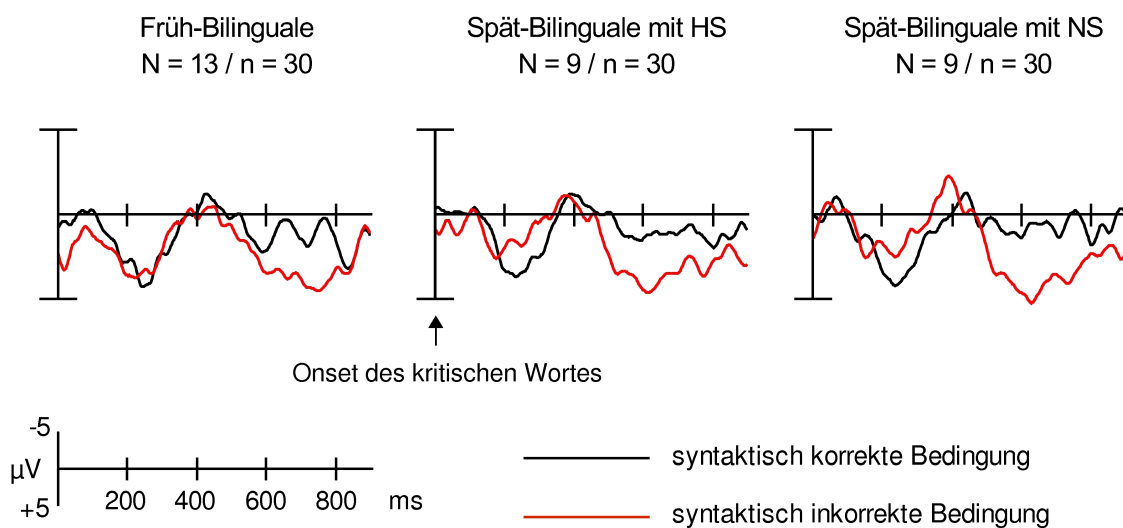
#### 5.2.2.1 Auftreten des P600-Effekts

Bei der Analyse der syntaktisch korrekten Bedingung im Vergleich zu der syntaktisch inkorrekten Bedingung im Zeitfenster zwischen 500-800 ms ergibt sich keine Interaktion zwischen dem Stimulustyp und der Gruppe [ $F(2,28) = 3.401, p < 0.049$ , das korrigierte Alpha = 0.025]. Nach den paarweisen Vergleichen zeigen alle Gruppen einen signifikanten Unterschied zwischen der syntaktisch korrekten und der syntaktisch inkorrekten Bedingung (Früh-Bilinguale:  $p < 0.004$  / Spät-Bilinguale mit einem relativ hohen Sprachniveau:  $p < 0.001$  / Spät-Bilinguale mit einem relativ niedrigen Sprachniveau:  $p < 0.001$ , s. Abbildung 28).

Bei der Analyse der Phrasenstrukturbedingung ergibt sich keine Interaktion zwischen dem Stimulustyp und der Gruppe [ $F(2,28) = 1,822, p < 0.181$ ]. Die paarweisen Vergleiche zeigen, dass alle Gruppen einen signifikanten Unterschied zwischen den syntaktisch korrekten und den syntaktisch inkorrekten Sätzen aufweisen (Früh-Bilinguale:  $p < 0.001$  / Spät-Bilinguale mit einem relativ hohen Sprachniveau:  $p < 0.001$  / Spät-Bilinguale mit einem relativ niedrigen Sprachniveau:  $p < 0.001$ , s. Abbildung 29).

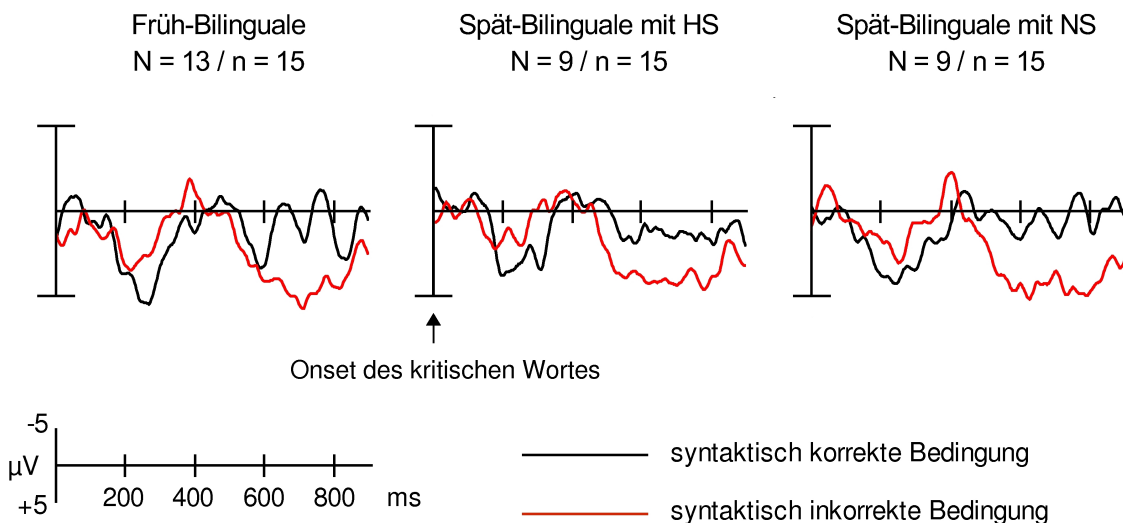
## 5. Ergebnisse

Elektrode: Pz



**Abb. 28:** ERP Grand Average der kritischen Wörter in der syntaktisch korrekten und inkorrekten Bedingung (beide Aufgabentypen: Phrasenstruktur + Kasus, n = 30) bei der jeweiligen Gruppe für die Elektrodenposition Pz. Abgekürzt: HS (relativ hohes L2-Sprachniveau), NS (relativ niedriges L2-Sprachniveau).

Elektrode: Pz

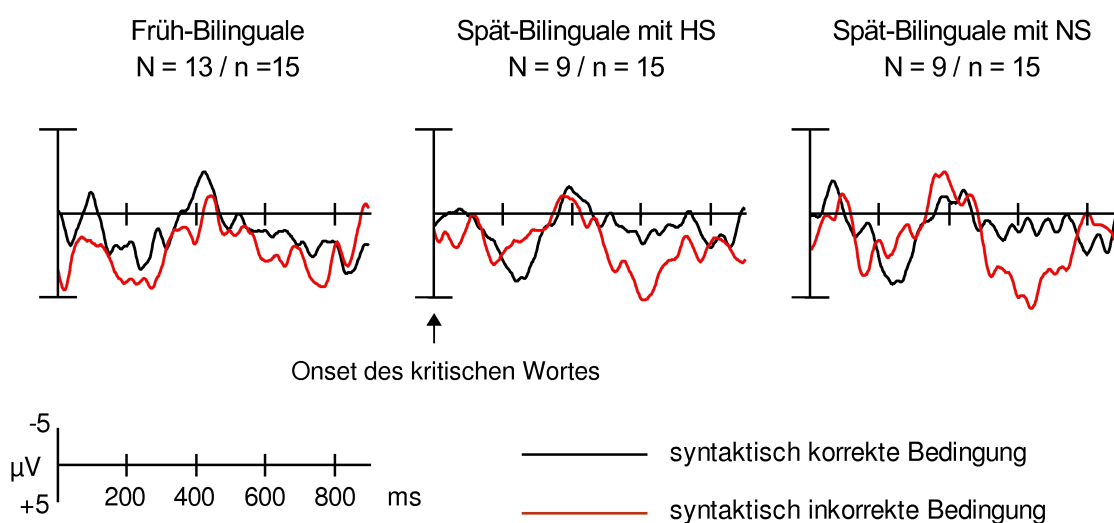


**Abb. 29:** ERP Grand Average der kritischen Wörter in der syntaktisch korrekten und inkorrekten Bedingung (Aufgabentyp: Phrasenstruktur, n = 15) bei der jeweiligen Gruppe für die Elektrodenposition Pz. Abgekürzt: HS (relativ hohes L2-Sprachniveau), NS (relativ niedriges L2-Sprachniveau).

## 5. Ergebnisse

Bei der Analyse bezüglich der Kasusbedingung zeigt sich ebenfalls keine Interaktion zwischen dem Stimulustyp und der Gruppe [ $F(2,28) = 3.241, p < 0.055$ ]. Nach den paarweisen Vergleichen weisen alle Gruppen einen signifikanten Unterschied zwischen den syntaktisch korrekten und den syntaktisch inkorrekten Sätzen auf (Früh-Bilinguale:  $p < 0.01$  / Spät-Bilinguale mit einem relativ hohen Sprachniveau:  $p < 0.001$  / Spät-Bilinguale mit einem relativ niedrigen Sprachniveau:  $p < 0.001$ , s. Abbildung 30).

Elektrode: Pz



**Abb. 30:** ERP Grand Average der kritischen Wörter in der syntaktisch korrekten und inkorrekten Bedingung (Aufgabentyp: Kasus,  $n = 15$ ) bei der jeweiligen Gruppe für die Elektrodenposition Pz. Abgekürzt: HS (relativ hohes L2-Sprachniveau), NS (relativ niedriges L2-Sprachniveau).

### 5.2.2.2 Intensität des P600-Effekts

Bei der Analyse der Intensität des P600-Effekts ergibt sich weder bei der Phrasenstrukturbedingung [ $F(2,28) = 1.822, p < 0.181$ ] noch bei der Kasusbedingung [ $F(2,28) = 3.214, p < 0.055$ ] ein Gruppeneffekt. Bei der Phrasenstrukturbedingung kann anhand der Post-Hoc-Tests festgestellt werden, dass sich die Früh-Bilingualen weder von den Spät-Bilingualen mit einem relativ hohen Sprachniveau (Scheffé:  $p < 0.944$ ) noch von den Spät-Bilingualen mit einem relativ niedrigen Sprachniveau (Scheffé:  $p < 0.199$ ) unterscheiden. Ebenfalls unterscheiden sich die beiden spät-bilingualen Gruppen nicht



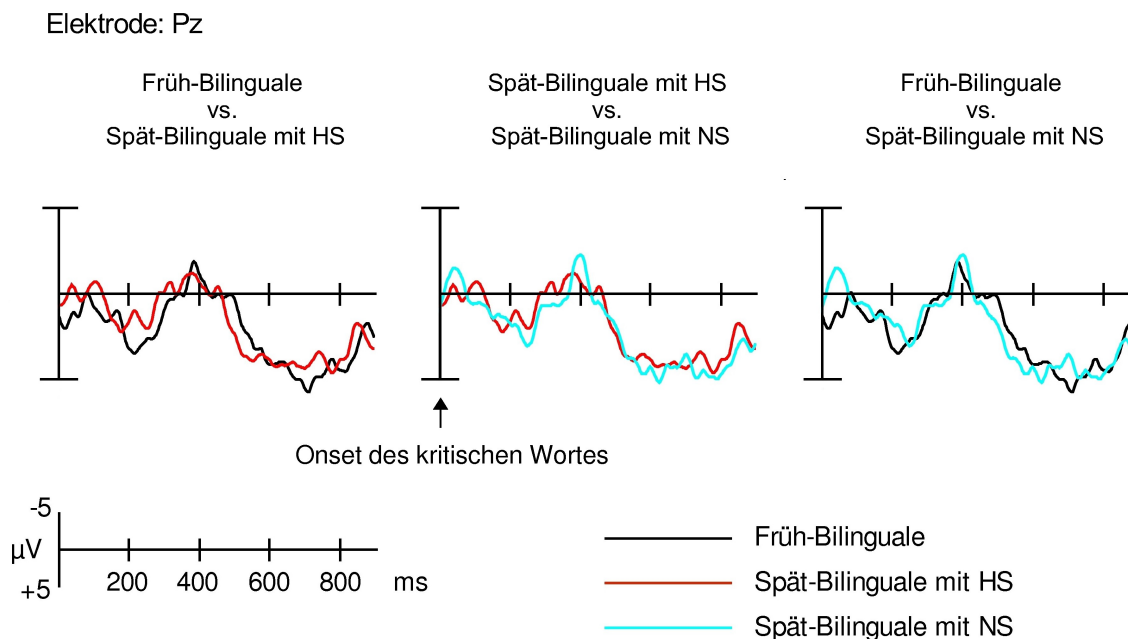
voneinander (Scheffé:  $p < 0.394$ ). Bei der Kasusbedingung zeigen die Post-Hoc-Tests, dass sich die Früh-Bilingualen weder von den Spät-Bilingualen mit einem relativ hohen Sprachniveau (Scheffé:  $p < 0.086$ ) noch von den Spät-Bilingualen mit einem relativ niedrigen Sprachniveau (Scheffé:  $p < 0.183$ ) unterscheiden. Ebenfalls unterscheiden sich die beiden spät-bilingualen Gruppen nicht voneinander (Scheffé:  $p < 0.929$ ).

### 5.2.2.3 P600-Peak-Latenz

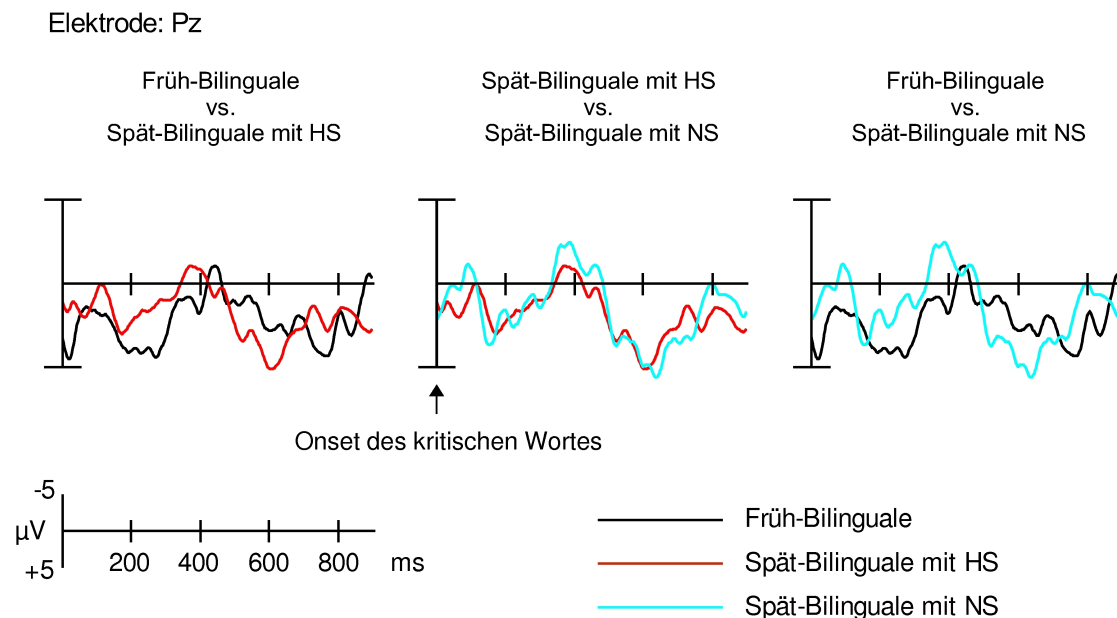
Bei der Phrasenstrukturbedingung weist die Analyse der P600-Peak-Latenz keinen Gruppeneffekt auf [ $F(2,28) = 3.129$ ,  $p < 0.06$ , s. Abbildung 31]. Nach der Post-Hoc-Analyse unterscheiden sich die Früh-Bilingualen sowohl von den Spät-Bilingualen mit einem relativ hohen Sprachniveau (Scheffé:  $p < 0.227$ ) als auch von den Spät-Bilingualen mit einem relativ niedrigen Sprachniveau (Scheffé:  $p < 0.876$ ). Die beiden spät-bilingualen Gruppen unterscheiden sich aber nicht voneinander [Scheffé:  $p < 0.084$ ].

Bei der Kasusbedingung zeigt die Analyse der P600-Peak-Latenz jedoch einen Gruppeneffekt [ $F(2,28) = 17.960$ ,  $p < 0.001$ , s. Abbildung 32]. Anhand der Post-Hoc-Tests unterscheiden sich die Früh-Bilingualen sowohl von den Spät-Bilingualen mit einem relativ hohen Sprachniveau (Scheffé:  $p < 0.001$ ) als auch von den Spät-Bilingualen mit einem relativ niedrigen Sprachniveau (Scheffé:  $p < 0.002$ ). Die beiden bilingualen Gruppen unterscheiden sich auch hier nicht voneinander (Scheffé:  $p < 0.603$ ).

## 5. Ergebnisse



**Abb. 31:** ERP Grand Average der kritischen Wörter in der syntaktisch inkorrekten Bedingung (Aufgabentyp: Phrasenstruktur, n = 15) für die Elektrodenposition Pz. Abgekürzt: HS (relativ hohes L2-Sprachniveau, NS (relativ niedriges L2-Sprachniveau).



**Abb. 32:** ERP Grand Average der kritischen Wörter in der syntaktisch inkorrekten Bedingung (Aufgabentyp: Kasus, n = 15) für die Elektrodenposition Pz. Abgekürzt: HS (relativ hohes L2-Sprachniveau, NS (relativ niedriges L2-Sprachniveau).

## 5. Ergebnisse

Zusammenfassend zeigen alle drei bilingualen Gruppen den N400-Effekt in der semantischen Bedingung. Es gibt keinen signifikanten Gruppenunterschied sowohl beim Auftreten des N400-Effekts als auch bei der Intensität des N400-Effekts. Es gibt auch keinen signifikanten Gruppenunterschied bei der N400-Peak-Latenz. Dies zeigt sich sowohl bei der Bedingung von Nomen als auch bei der Bedingung von Verben.

In der syntaktischen Bedingung zeigen alle Gruppen den P600-Effekt. Es gibt keinen signifikanten Gruppenunterschied sowohl beim Auftreten des P600-Effekts als auch bei der Intensität des P600-Effekts. Dies zeigt sich sowohl bei der Phrasenstrukturbedingung als auch bei der Kasusbedingung. Jedoch gibt es einen Gruppenunterschied bei der P600-Peak-Latenz, wobei die zeitliche Verzögerung nur bei der Kasusbedingung beobachtet wird. Die P600-Peak-Latenz in der Kasusbedingung ist bei den Früh-Bilingualen signifikant verzögert im Vergleich zu den beiden spät-bilingualen Gruppen.

### 5.3 EEG-Daten zur L2 (Deutsch)

In diesem Kapitel wird das ERP-Korrelat der semantischen und syntaktischen Verarbeitung in der L2 (Deutsch) nach den folgenden Kriterien (für Details s. Kapitel 3) beschrieben: (a) Auftreten des ERP-Effekts (N400- bzw. P600-Effekt), (b) Intensität des ERP-Effekts und (c) ERP-Peak-Latenz.

#### 5.3.1 Semantische Bedingung

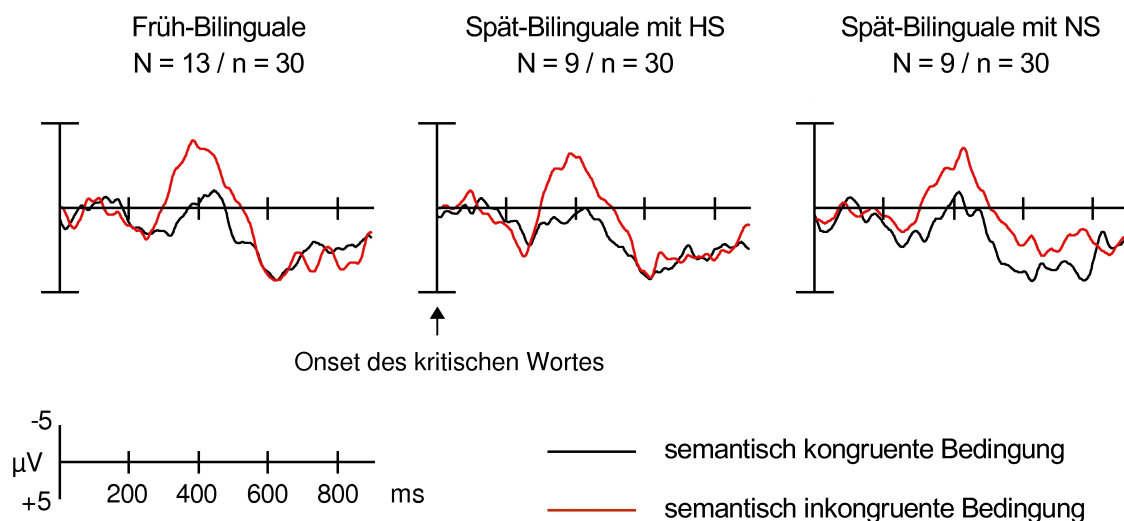
Für die ERP-Daten in der semantischen Bedingung wird eine dreifaktorielle 2x2x3 ANOVA mit Messwiederholung für alle Faktoren berechnet. Die Faktoren sind „Stimulustyp (kongruent/inkongruent)“, „Wortart der inkongruenten Satzendung (Nomen/Verben)“ und „Gruppe (Früh/Spät mit einem relativ hohen Sprachniveau/Spät mit einem relativ niedrigen Sprachniveau)“. Hier sind nur die zweifache Interaktion „Stimulustyp“ x „Gruppe“ sowie die dreifache Interaktion „Stimulustyp“ x „Wortart der inkongruenten Satzendung“ x „Gruppe“ relevant.

##### 5.3.1.1 Auftreten des N400-Effekts

Bei der Analyse der semantisch kongruenten Bedingung im Vergleich zur semantisch inkongruenten Bedingung im Zeitfenster zwischen 300-500 ms ergibt sich keine Interaktion zwischen dem Stimulustyp und der Gruppe [ $F(2,28) = 2,157, p < 0.136$ ]. Die paarweisen Vergleiche zeigen, dass alle Gruppen einen signifikanten Unterschied zwischen der semantisch kongruenten und der semantisch inkongruenten Bedingung aufweisen (Früh-Bilinguale:  $p < 0.001$  / Spät-Bilinguale mit einem relativ hohen Sprachniveau:  $p < 0.001$  / Spät-Bilinguale mit einem relativ niedrigen Sprachniveau:  $p < 0.003$ , s. Abbildung 33). Außerdem gibt es keine Interaktion „Stimulustyp“ x „Wortarten“ x „Gruppe“ [ $F(2,28) = 0.009, p < 0.991$ ]. Alle drei Gruppen weisen einen Stimulustyp-Effekt bei den beiden Wortarten (Nomen/Verben) auf.

## 5. Ergebnisse

Elektrode: Cz



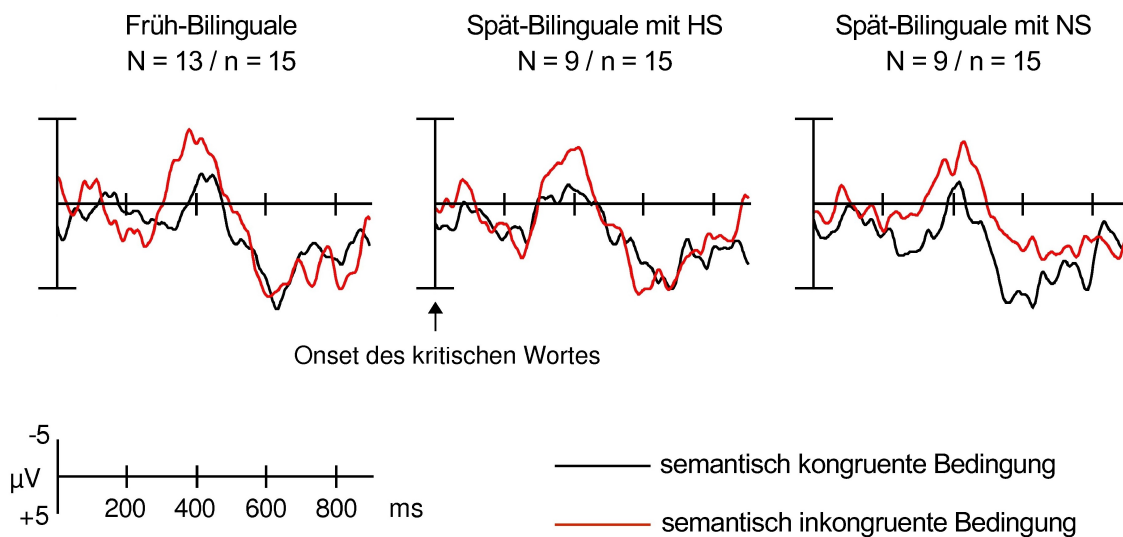
**Abb. 33:** ERP Grand Average der kritischen Wörter (beide Wortarten: Nomen + Verben,  $n = 30$ ) in der semantisch kongruenten und inkongruenten Bedingung bei der jeweiligen Gruppe für die Elektrodenposition Cz. Abgekürzt: HS (relativ hohes L2-Sprachniveau), NS (relativ niedriges L2-Sprachniveau).

Bei der Analyse der semantischen Bedingung von Nomen ergibt sich keine Interaktion zwischen dem Stimulustyp und der Gruppe [ $F(2,28) = 2.478, p < 0.103$ ]. Die paarweisen Vergleiche demonstrieren, dass alle Gruppen einen signifikanten Unterschied zwischen der semantisch kongruenten und der semantisch inkongruenten Bedingung aufweisen (Früh-Bilinguale:  $p < 0.001$  / Spät-Bilinguale mit einem relativ hohen Sprachniveau:  $p < 0.002$  / Spät-Bilinguale mit einem relativ niedrigen Sprachniveau:  $p < 0.007$ , s. Abbildung 34).

Bei der Analyse der semantischen Bedingung von Verben ergibt sich keine Interaktion zwischen dem Stimulustyp und der Gruppe [ $F(2,28) = 2.968, p < 0.069$ ]. Die paarweisen Vergleiche zeigen, dass alle Gruppen einen signifikanten Unterschied zwischen der semantisch kongruenten und der semantisch inkongruenten Bedingung aufweisen (Früh-Bilinguale:  $p < 0.001$  / Spät-Bilinguale mit einem relativ hohen Sprachniveau:  $p < 0.001$  / Spät-Bilinguale mit einem relativ niedrigen Sprachniveau:  $p < 0.003$ , s. Abbildung 35).

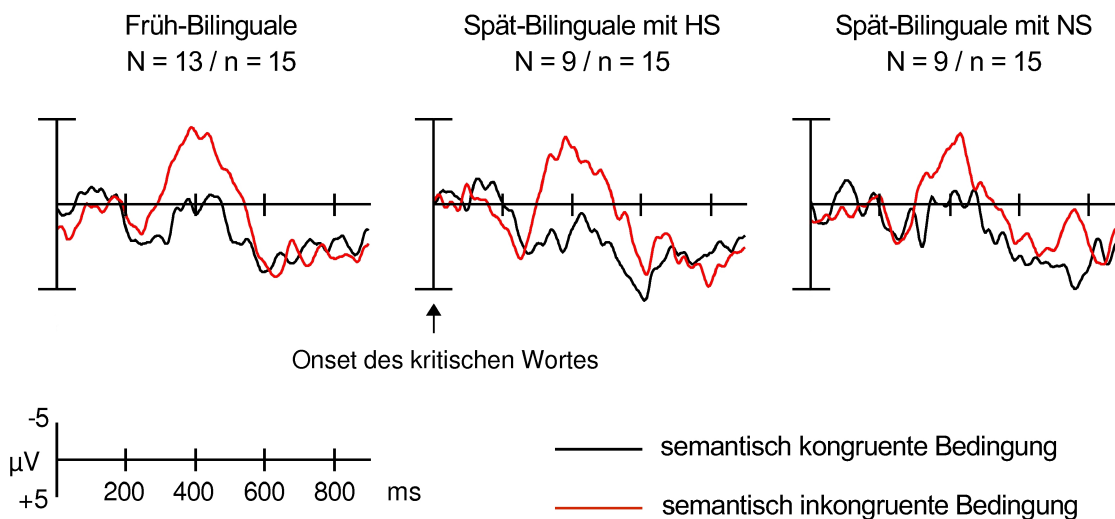
## 5. Ergebnisse

Elektrode: Cz



**Abb. 34:** ERP Grand Average der kritischen Wörter in der semantisch kongruenten und inkongruenten Bedingung (Wortart: Nomen, n = 15) bei der jeweiligen Gruppe für die Elektrodenposition Cz. Abgekürzt: HS (relativ hohes L2-Sprachniveau, NS: relativ niedriges L2-Sprachniveau).

Elektrode: Cz



**Abb. 35:** ERP Grand Average der kritischen Wörter in der semantisch kongruenten und inkongruenten Bedingung (Wortart: Verben) bei der jeweiligen Gruppe für die Elektrodenposition Cz. Abgekürzt: HS (relativ hohes L2-Sprachniveau, NS: relativ niedriges L2-Sprachniveau).

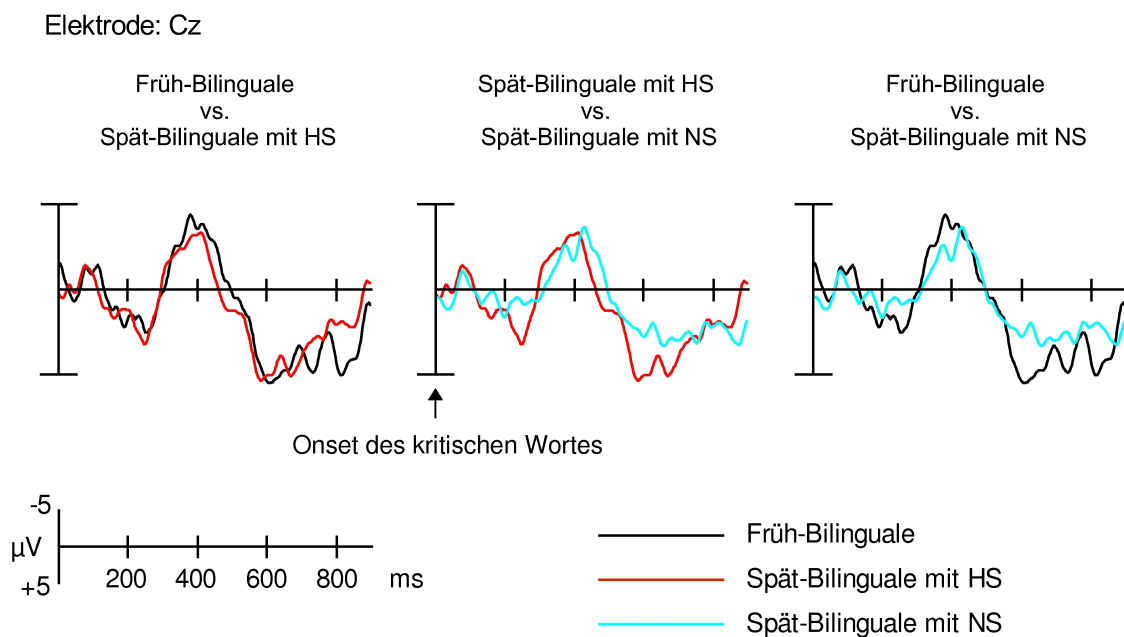
### 5.3.1.2 Intensität des N400-Effekts

Bei der Analyse bezüglich der Intensität des N400-Effekts ergibt sich weder bei der Bedingung von Nomen [ $F(2,28) = 2.478, p < 0.103$ ] noch bei der Bedingung von Verben ein Gruppeneffekt [ $F(1,28) = 2.968, p < 0.069$ ]. Bei der Bedingung von Nomen zeigen die Post-Hoc-Tests, dass sich die Früh-Bilingualen weder von den Spät-Bilingualen mit einem relativ hohen Sprachniveau (Scheffé:  $p < 0.296$ ) noch von den Spät-Bilingualen mit einem relativ niedrigen Sprachniveau (Scheffé:  $p < 0.911$ ) unterscheiden. Die beiden spät-bilingualen Gruppen unterscheiden sich ebenfalls nicht voneinander (Scheffé:  $p < 0.138$ ). Bei der Bedingung von Verben zeigen die Post-Hoc-Tests (Scheffé), dass sich die drei Gruppen nicht voneinander unterscheiden (Früh-Bilinguale im Vergleich zu den Spät-Bilingualen mit einem relativ hohen Sprachniveau:  $p < 0.298$ , Spät-Bilinguale mit einem relativ hohen Sprachniveau im Vergleich zu den Spät-Bilingualen mit einem relativ niedrigen Sprachniveau:  $p < 0.795$ , Spät-Bilinguale mit einem relativ niedrigen Sprachniveau im Vergleich zu den Früh-Bilingualen,  $p < 0.084$ ).

### 5.3.1.3 N400-Peak-Latenz

Bei der semantischen Bedingung von Nomen zeigt die Analyse im Hinblick auf die N400-Peak-Latenz einen Gruppeneffekt [ $F(2,28) = 6.813, p < 0.005$ , s. Abbildung 36]. Die Post-Hoc-Tests ergeben einen Unterschied sowohl zwischen den Früh-Bilingualen und den Spät-Bilingualen mit einem relativ niedrigen Sprachniveau (Scheffé:  $p < 0.007$ ) als auch zwischen den Spät-Bilingualen mit einem relativ hohen Sprachniveau und den Spät-Bilingualen mit einem relativ niedrigen Sprachniveau (Scheffé:  $p < 0.032$ ). Es gibt aber keinen Unterschied zwischen den Früh-Bilingualen und den Spät-Bilingualen mit einem relativ hohen Sprachniveau (Scheffé:  $p < 0.893$ ).

## 5. Ergebnisse

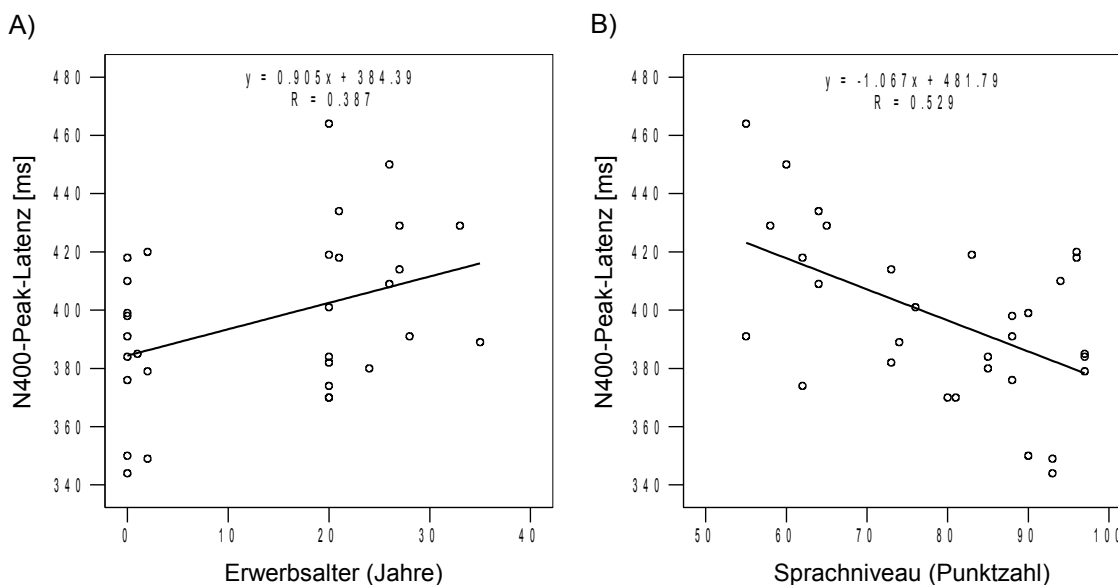


**Abb. 36:** ERP Grand Average der kritischen Wörter in der semantisch inkongruenten Bedingung (Wortart: Nomen) für die Elektrodenposition Cz. Abgekürzt: HS (relativ hohes L2-Sprachniveau), NS (relativ niedriges L2-Sprachniveau).

Neben den Varianzanalysen wird die Struktur der Abhängigkeit zwischen den beiden Einflussvariablen (UV: Sprachniveau/Erwerbssalter) und die N400-Peak-Latenz (AV) mit Hilfe der Regressionsanalyse ausgewertet. Dabei wird die einfach lineare Regression sowie die multiple lineare Regression herangezogen, um festzustellen, welche der beiden Faktoren (Erwerbssalter/Sprachniveau) die N400-Peak-Latenz stärker beeinflusst. Die Berechnung der einfachen linearen Regression ergibt, dass beide unabhängige Variablen einen Einfluss auf die N400-Latenz (Erwerbssalter:  $r = 0.387$ ,  $p < 0.032$  / L2-Sprachniveau:  $r = 0.529$ ,  $p < 0.003$ , s. Abbildung 37) haben. Der Einfluss des Erwerbssalters auf die N400-Peak-Latenz wird nicht mehr signifikant, wenn sowohl das Erwerbssalter (UV1) als auch das L2-Sprachniveau (UV2) zusammen in einem Modell als erklärende Variablen betrachtet werden und so die Regression berechnet wird. Nach der Berechnung der multiplen linearen Regression hat das Sprachniveau einen Einfluss auf die N400-Peak-Latenz ( $p < 0.028$ ), jedoch das Erwerbssalter nicht ( $p < 0.574$ ).



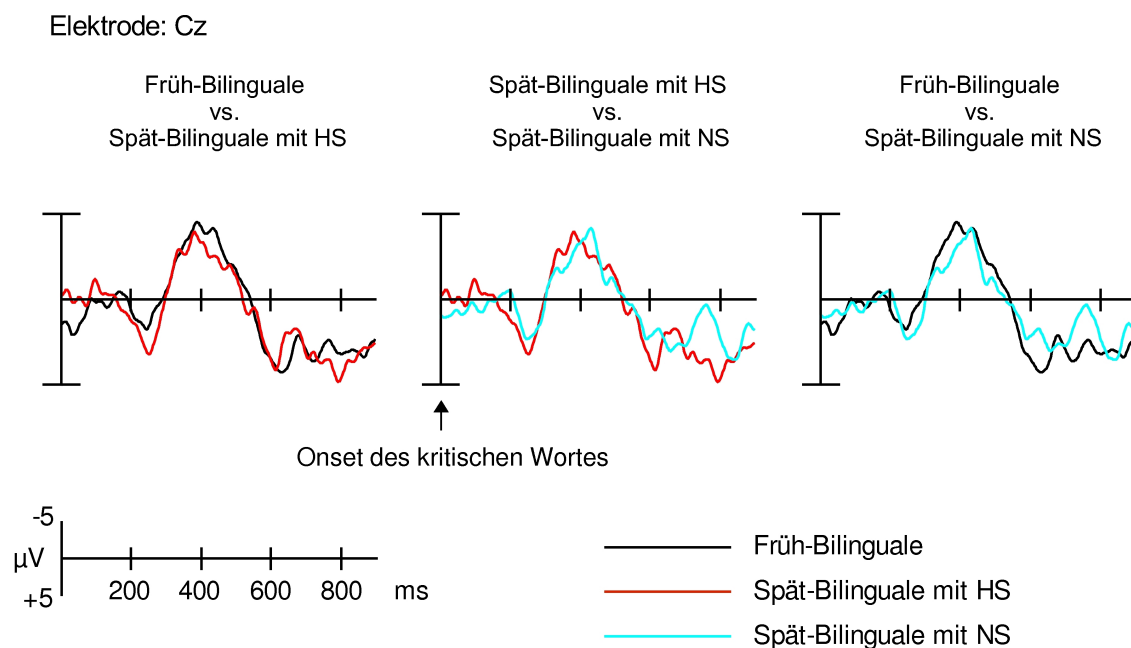
## 5. Ergebnisse



**Abb. 37:** Die Berechnung der Abhängigkeit zwischen der N400-Peak-Latenz und dem Erwerbsalter (A) sowie zwischen der N400-Peak-Latenz und dem Sprachniveau (B) bei der semantischen Bedingung von Nomen.

Bei der semantischen Bedingung von Verben zeigt die Analyse der N400-Peak-Latenz einen Gruppeneffekt [ $F(2,28) = 7.808, p < 0.003$ , s. Abbildung 38]. Nach den Post-Hoc-Tests gibt es einen Unterschied lediglich zwischen den Früh-Bilingualen und den Spät-Bilingualen mit einem relativ niedrigen Sprachniveau (Scheffé:  $p < 0.003$ ). Es gibt keinen Unterschied zwischen den Spät-Bilingualen mit hohem Sprachniveau und den Spät-Bilingualen mit einem relativ niedrigen Sprachniveau (Scheffé:  $p < 0.1$ ), sowie zwischen den Früh-Bilingualen und den Spät-Bilingualen mit einem hohem Sprachniveau (Scheffé:  $p < 0.331$ ).

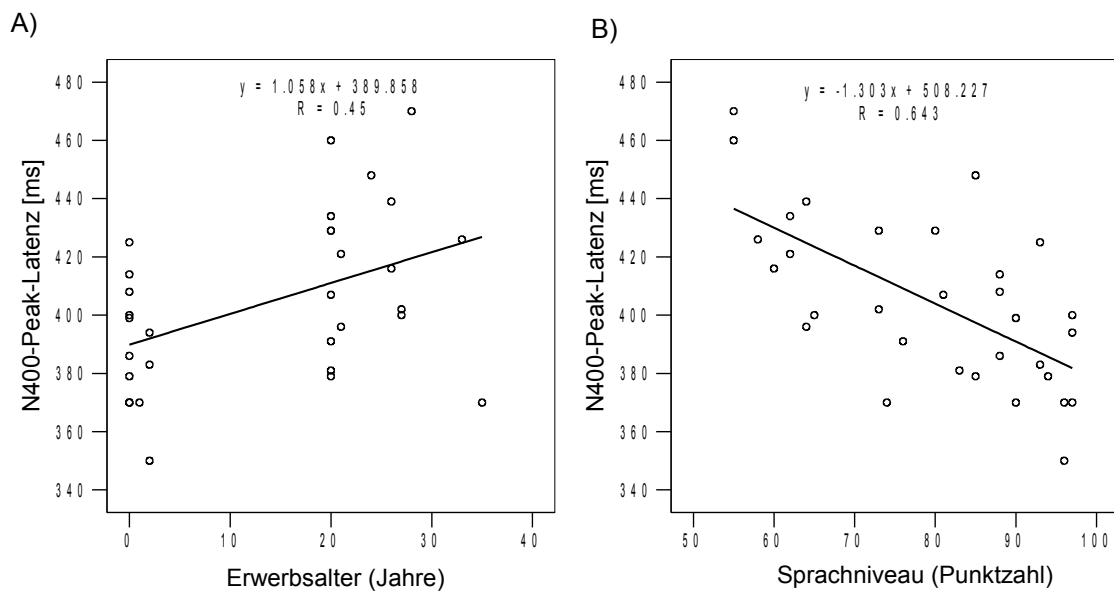
## 5. Ergebnisse



**Abb. 38:** ERP Grand Average der kritischen Wörter in der semantisch inkongruenten Bedingung (Wortarten: Verben) für die Elektrodenposition Cz. Abgekürzt: HS (relativ hohes L2-Sprachniveau), NS (relativ niedriges L2-Sprachniveau).

Ebenfalls wird hier eine Regressionsanalyse durchgeführt, um festzustellen, welcher der beiden Faktoren (Erwerbsalter/Sprachniveau) die N400-Peak-Latenz beeinflusst. Wie bei der semantischen Bedingung von Nomen hat sowohl das Erwerbsalter ( $r = 0.45$ ,  $p < 0.012$ ) als auch das erreichte Sprachniveau ( $r = 0.643$ ,  $p < 0.001$ ) einen Einfluss auf die N400-Peak-Latenz, wenn die beiden erklärenden Variablen separat berechnet werden (s. Abbildung 39). Innerhalb der multiplen linearen Regressionsanalyse hat jedoch nur das erreichte Sprachniveau einen Einfluss auf den Zeitpunkt des N400-Peaks [ $p < 0.001$ ], das Erwerbsalter jedoch nicht ( $p < 0.317$ ).

## 5. Ergebnisse



**Abb. 39:** Die einfachen linearen Regressionsberechnungen der Abhängigkeit zwischen der N400-Peak-Latenz und dem Erwerbsalter (A) sowie zwischen der N400-Peak-Latenz und dem erreichten Sprachniveau (B) bei der semantischen Bedingung von Verben.

### 5.3.2 Syntaktische Bedingung

Für die ERP-Daten in der syntaktischen Bedingung wird eine dreifaktorielle 2x2x3 ANOVA mit Messwiederholung für alle Faktoren berechnet. Die Faktoren sind „Stimulustyp (korrekt/inkorrekt)“, „Aufgabentyp (Phrasenstruktur/Kasus)“ und „Gruppe (Früh/Spät mit einem relativ hohen Sprachniveau/Spät mit einem relativ niedrigen Sprachniveau)“. Hier sind nur die zweifache Interaktion „Stimulustyp“ x „Gruppe“ sowie die dreifache Interaktion „Stimulus“ x „Aufgabentyp“ x „Gruppe“ relevant.

#### 5.3.2.1 Auftreten des P600-Effekts

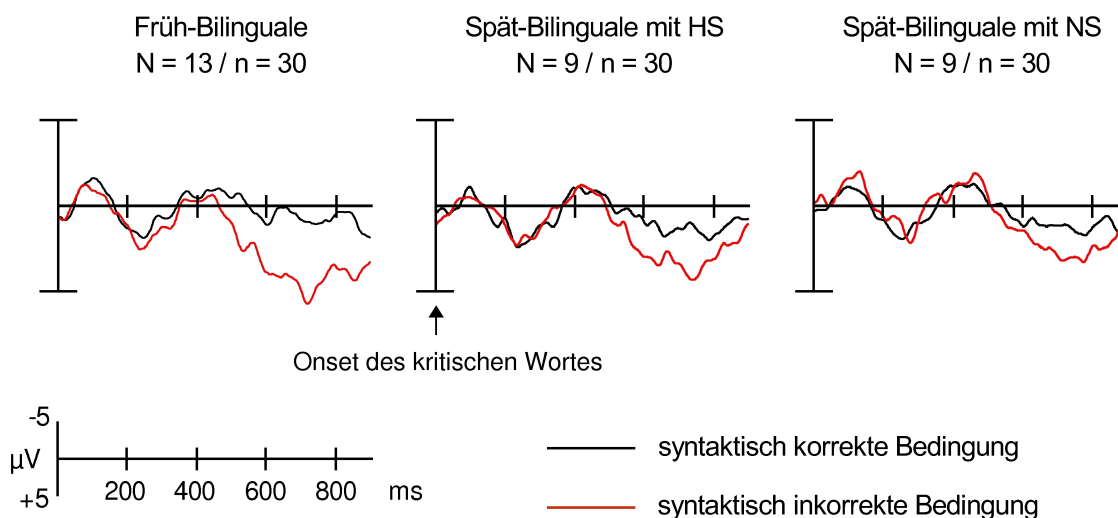
Bei der Analyse der syntaktisch korrekten Bedingung im Vergleich zur syntaktisch inkorrekten Bedingung im Zeitfenster zwischen 500-800 ms ergibt sich keine Interaktion zwischen dem Stimulustyp und der Gruppe [ $F(2,28) = 3.520, p < 0.044$ , das korrigierte Alpha: 0.025]. Bei den paarweisen Vergleichen zeigen alle Gruppen einen signifikanten Unterschied zwischen der syntaktisch korrekten und der syntaktisch inkorrekten Bedingung (Früh-Bilinguale:  $p < 0.001$  / Spät-Bilinguale mit einem relativ hohen Sprachniveau:  $p < 0.001$  / Spät-Bilinguale mit einem relativ niedrigen Sprachniveau:  $p < 0.002$ , s. Abbildung 40).

Es besteht jedoch eine Interaktion zwischen dem Stimulustyp (korrekt/inkorrekt), dem Aufgabentyp (Phrasenstruktur/Kasus) und der Gruppe [ $F(2, 28) = 6.041, p < 0.008$ ]. Die paarweisen Vergleiche ergeben, dass bei der Phrasenstrukturbedingung alle drei Gruppen einen signifikanten Unterschied zwischen der korrekten und der inkorrekten Bedingung zeigen (Früh-Bilinguale:  $p < 0.001$  / Spät-Bilinguale mit einem relativ hohen Sprachniveau:  $p < 0.004$  / Spät-Bilinguale mit einem relativ niedrigen Sprachniveau:  $p < 0.002$ ). Dagegen zeigen bei der Kasusbedingung sowohl die Früh-Bilingualen als auch die Spät-Bilingualen mit einem relativ hohen Sprachniveau einen signifikanten P600-Effekt, die Spät-Bilingualen mit einem relativ niedrigen Sprachniveau jedoch nicht (Früh-Bilinguale:  $p < 0.001$  / Spät-Bilinguale mit einem relativ hohen Sprachniveau:  $p < 0.008$  / Spät-Bilinguale mit einem relativ niedrigen

## 5. Ergebnisse

Sprachniveau:  $p < 0.134$ ).

Elektrode: Pz



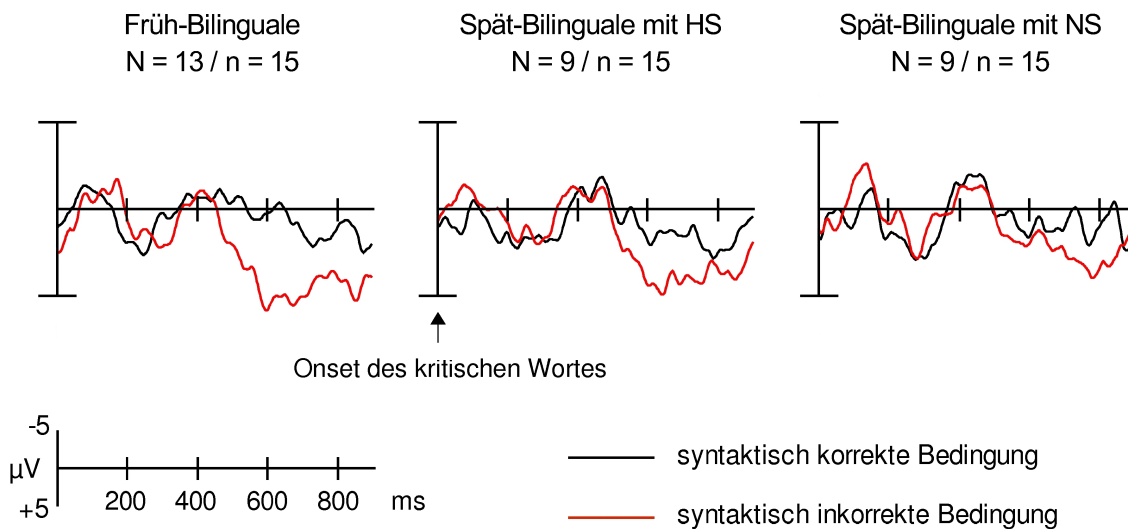
**Abb. 40:** ERP Grand Average der kritischen Wörter (Phrasenstruktur + Kasus,  $n = 30$ ) in der syntaktisch korrekten und inkorrekten Bedingung bei der jeweiligen Gruppe für die Elektrodenposition Pz. Abgekürzt: HS (relativ hohes L2-Sprachniveau), NS (relativ niedriges L2-Sprachniveau).

Bei der Analyse der Phrasenstrukturbedingung kann keine Interaktion zwischen dem Stimulustyp und der Gruppe festgestellt werden [ $F(2,28) = 0.024$ ,  $p < 0.977$ ]. Die paarweisen Vergleiche demonstrieren, dass bei der Phrasenstrukturbedingung alle Gruppen einen signifikanten Unterschied zwischen den syntaktisch korrekten und den syntaktisch inkorrekten Sätzen aufweisen (Früh-Bilinguale:  $p < 0.001$  / Spät-Bilinguale mit einem relativ hohen Sprachniveau:  $p < 0.004$  / Spät-Bilinguale mit einem relativ niedrigen Sprachniveau:  $p < 0.002$ , s. Abbildung 41).

Bei der Analyse der Kasusbedingung zeichnet sich jedoch eine Interaktion zwischen dem Stimulustyp und der Gruppe ab [ $F(2,28) = 10.33$ ,  $p < 0.001$ ]. Die paarweisen Vergleiche zeigen für die Gruppe der Früh-Bilingualen und Spät-Bilingualen mit einem relativ hohen Sprachniveau einen signifikanten P600-Effekt, für die Gruppe der Spät-Bilingualen mit einem relativ niedrigen Sprachniveau nicht (Früh-Bilinguale:  $p < 0.001$  / Spät-Bilinguale mit einem relativ hohen Sprachniveau:  $p < 0.008$  / Spät-Bilinguale mit einem relativ niedrigen Sprachniveau:  $p < 0.133$ , s. Abbildung 42).

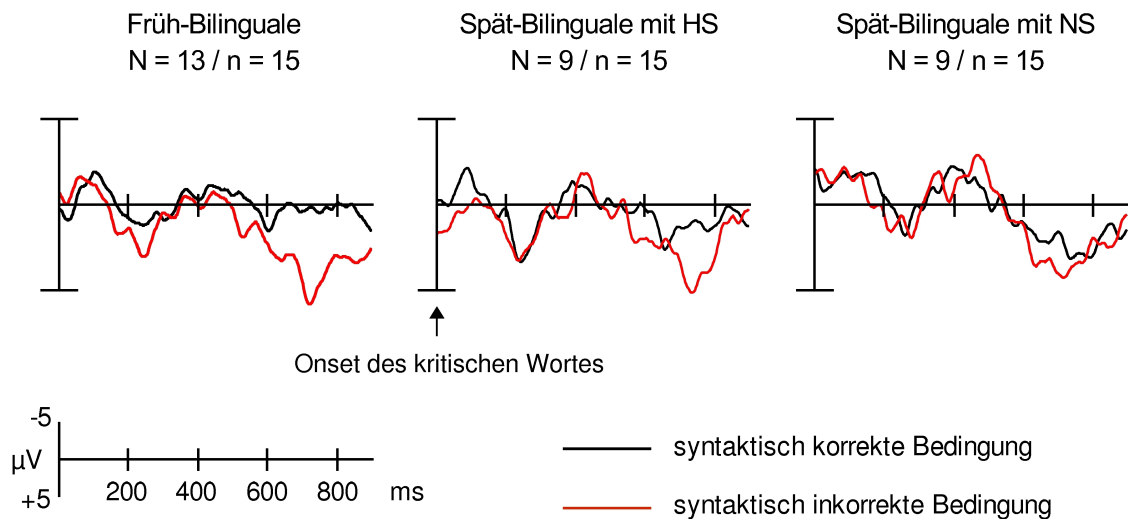
## 5. Ergebnisse

Elektrode: Pz



**Abb. 41:** ERP Grand Average der kritischen Wörter in der syntaktisch korrekten und inkorrekten Bedingung (Aufgabentyp: Phrasenstruktur, n = 15) bei der jeweiligen Gruppe für die Elektrodenposition Pz. Abgekürzt: HS (relativ hohes L2-Sprachniveau), NS (relativ niedriges L2-Sprachniveau).

Elektrode: Pz



**Abb. 42:** ERP Grand Average der kritischen Wörter in der syntaktisch korrekten und inkorrekten Bedingung (Aufgabentyp: Kasus, n = 15) bei der jeweiligen Gruppe für die Elektrodenposition Pz. Abgekürzt: HS (relativ hohes L2-Sprachniveau), NS (relativ niedriges L2-Sprachniveau).

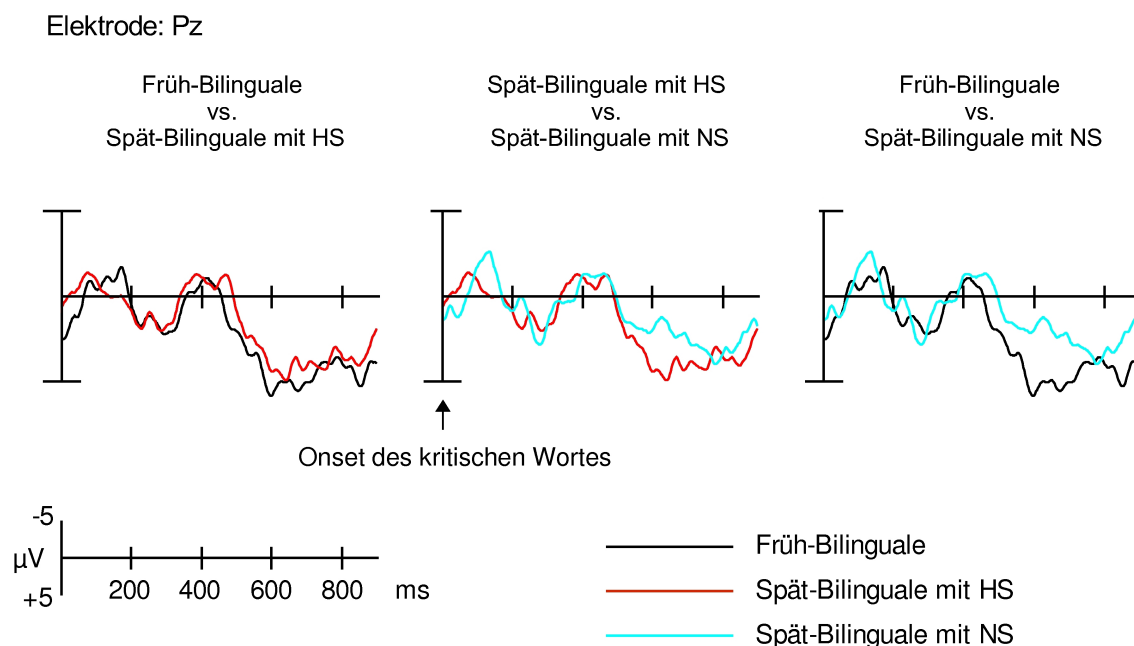
### 5.3.2.2 Intensität des P600-Effekts

Bei der Analyse der Intensität des P600-Effekts ergibt sich bei der Phrasenstrukturbedingung kein Gruppeneffekt [ $F(2,28) = 0.024, p < 0.977$ ], wohingegen es bei der Kasusbedingung einen Gruppeneffekt gibt [ $F(2,28) = 10.33, p < 0.001$ ]. Bei der Phrasenstrukturbedingung zeigen die Post-Hoc-Tests, dass sich die Früh-Bilingualen weder von den Spät-Bilingualen mit einem relativ hohen Sprachniveau (Scheffé:  $p < 0.992$ ) noch von den Spät-Bilingualen mit einem relativ niedrigen Sprachniveau (Scheffé:  $p < 0.995$ ) unterscheiden. Ebenfalls unterscheiden sich die beiden spät-bilingualen Gruppen nicht voneinander (Scheffé:  $p < 0.977$ ). Bei der Kasusbedingung lassen die Post-Hoc-Tests erkennen, dass sich die Früh-Bilingualen sowohl von den Spät-Bilingualen mit einem relativ hohen Sprachniveau (Scheffé:  $p < 0.013$ ) als auch von den Spät-Bilingualen mit einem relativ niedrigen Sprachniveau unterscheiden (Scheffé:  $p < 0.002$ ). Das heißt, bei den Spät-Bilingualen mit einem relativ hohen Sprachniveau tritt zwar der P600-Effekt auf, aber er wird signifikant schwächer ausgelöst als der bei den Früh-Bilingualen. Bei den Spät-Bilingualen mit einem niedrigen Sprachniveau tritt kein P600-Effekt auf.

### 5.3.2.3 P600-Peak-Latenz

Bei der Phrasenstrukturbedingung zeigt die Analyse der P600-Peak-Latenz einen Gruppeneffekt auf [ $F(2,28) = 37.521, p < 0.001$ , s. Abbildung 43]. Anhand der Post-Hoc-Tests unterscheiden sich die Früh-Bilingualen von den Spät-Bilingualen mit einem relativ niedrigen Sprachniveau (Scheffé:  $p < 0.001$ ), jedoch nicht von den Spät-Bilingualen mit einem relativ hohen Sprachniveau (Scheffé:  $p < 0.331$ ), die sich wiederum von den Spät-Bilingualen mit einem niedrigen Sprachniveau unterscheiden (Scheffé:  $p < 0.001$ ). Die Analyse der P600-Peak-Latenz bei der Kasusbedingung wird nicht durchgeführt, weil die Spät-Bilingualen mit einem relativ niedrigen Sprachniveau keinen P600-Effekt offenbaren.

## 5. Ergebnisse

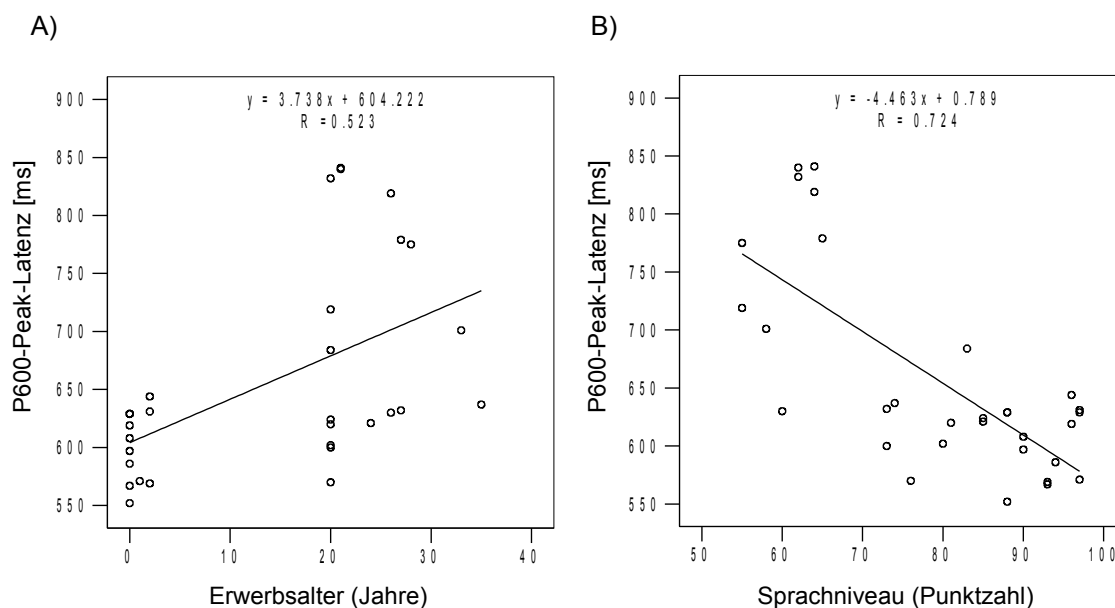


**Abb. 43:** ERP Grand Average der syntaktisch inkorrekten Bedingung (Aufgabentyp: Phrasenstruktur) für die Elektrodenposition Pz. Abgekürzt: HS (relativ hohes L2-Sprachniveau), NS (relativ niedriges L2-Sprachniveau).

Die Regression wird zusätzlich auch hier berechnet, um herauszufinden, worauf sich diese gruppenspezifischen Unterschiede zurückführen lassen. Die Analyse der einfachen linearen Regression dokumentiert, dass sowohl das Erwerbssalter ( $p < 0.004$ ) als auch das Sprachniveau ( $p < 0.001$ ) einen Einfluss auf die P600-Peak-Latenz bei der Phrasenstrukturbedingung hat (s. Abbildung 44). Dieser Einfluss lässt sich jedoch nicht mehr nachweisen, wenn die beiden Einflussvariablen (Erwerbssalter/ Sprachniveau) in einem Modell zusammen berechnet werden. Aus der Analyse der multiplen linearen Regression geht hervor, dass das L2-Sprachniveau einen Einfluss auf die Zeit der P600-Peak-Latenz hat ( $p < 0.001$ ), aber das Erwerbssalter nicht ( $p < 0.294$ ).



## 5. Ergebnisse



**Abb. 44:** Die Regressionsberechnung zur Abhängigkeit zwischen dem Zeitpunkt des P600-Peaks und dem Erwerbsalter (A) sowie zwischen dem Zeitpunkt des P600-Peaks und dem Sprachniveau (B) in der syntaktischen inkorrekten Bedingung (Aufgabentyp: Phrasenstruktur).

Zusammenfassend zeigen alle Gruppen einen N400-Effekt in beiden semantischen Bedingungen (Nomen/Verben). Es gibt keinen Gruppenunterschied sowohl beim Auftreten des N400-Effekts als auch bei der Intensität des N400-Effekts. Bei der N400-Peak-Latenz gibt es einen Gruppenunterschied. Die Spät-Bilingualen mit einem relativ niedrigen Sprachniveau zeigen eine signifikant verzögerte N400-Peak-Latenz im Vergleich zu den Früh- und den Spät-Bilingualen mit einem relativ hohen Sprachniveau. In der syntaktischen Bedingung zeigt sich der P600-Effekt aufgabenspezifisch. Alle Gruppen zeigen den P600-Effekt in der Phrasenstrukturbedingung. Jedoch gibt es einen Gruppenunterschied in der Kasusbedingung. Die Spät-Bilingualen mit einem relativ niedrigen Sprachniveau zeigen einen P600 Effekt in der Phrasenstrukturbedingung, jedoch nicht in der Kasusbedingung. In der Phrasenstrukturbedingung gibt es einen Gruppenunterschied sowohl bei der Intensität des P600-Effekts als auch bei der P600-Peak-Latenz. Die beiden spät-bilingualen Gruppen zeigen eine reduzierte Intensität des P600-Effekts im Vergleich zu den Früh-Bilingualen. Außerdem zeigen die Spät-Bilingualen mit einem relativ niedrigen Sprachniveau eine verzögerte P600-Peak-Latenz in der Phrasenstrukturbedingung.

## 5.4 Zusammenfassung der Ergebnisse

### *a) Vergleiche innerhalb der Sprache (L1/L2)*

Bei der L1 (Koreanisch) zeigt sich kein Gruppeneffekt in der semantischen Bedingung. Alle Gruppen zeigen den N400-Effekt sowohl bei der untersuchten Nomen als auch bei der untersuchten Verben, wobei sich die Intensität des N400-Effekts der drei Gruppen nicht voneinander unterscheidet. Es gibt auch keinen signifikanten Gruppenunterschied bei der N400-Peak-Latenz. In der syntaktischen Bedingung zeigen zwar alle Gruppen den P600-Effekt sowohl bei der Erkennung der Sätze mit der falschen Phrasenstruktur als auch bei der Erkennung der Sätze mit dem Kasusfehler, jedoch gibt es einen Gruppenunterschied bei der P600-Peak-Latenz. Die P600-Peak-Latenz kommt bei den Früh-Bilingualen verzögert im Vergleich zur P600-Peak-Latenz bei den beiden spät-bilingualen Gruppen. Die zeitliche Verzögerung wird aber nur beim Verstoß gegen die Kasusregel beobachtet.

Bei der L2 (Deutsch) weisen alle Gruppen den N400-Effekt auf, wobei sich die Intensität des N400-Effekts der drei Gruppen nicht voneinander unterscheidet. In Bezug auf die N400-Peak-Latenz gibt es jedoch einen Gruppeneffekt. Die N400-Peak-Latenz der Spät-Bilingualen mit einem relativ niedrigen Sprachniveau ist signifikant verzögert im Vergleich zu den Früh- und den Spät-Bilingualen mit einem relativ hohen Sprachniveau. Die verzögerte N400-Peak-Latenz bei den Spät-Bilingualen mit einem relativ niedrigen Sprachniveau wird bei der semantischen Bedingung der beiden Wortarten (Nomen/Verben) beobachtet. In der syntaktischen Bedingung gibt es eine Interaktion zwischen dem Stimulustyp, dem Aufgabentyp und der Gruppe. Ebenso gibt es einen Gruppenunterschied bei der Analyse der Sätze mit dem Kasusfehler, aber nicht bei der Analyse der Sätze mit der falschen Phrasenstruktur. Sowohl die Früh-Bilingualen als auch die Spät-Bilingualen mit einem relativ hohen Sprachniveau zeigen den P600-Effekt in den beiden syntaktischen Bedingungen (Phrasenstruktur/Kasus). Im Gegensatz dazu zeigen die Spät-Bilingualen mit einem relativ niedrigen Sprachniveau einen P600-Effekt beim Verstoß gegen die Phrasenstrukturregel, jedoch keinen P600-Effekt beim Verstoß gegen die Kasusregel. Weiterhin tritt ein Gruppenunterschied bei der Intensität

des P600-Effekts auf, wobei sich die Intensität des P600-Effekts bei den Früh-Bilingualen von der der beiden spät-bilingualen Gruppen unterscheidet. Dieser Gruppenunterschied bei der Intensität des P600-Effekts zeigt sich beim Verstoß gegen die Kasusregel, aber nicht beim Verstoß gegen die Phrasenstrukturregel. In Bezug auf die P600-Peak-Latenz lässt sich ein Gruppeneffekt beim Verstoß gegen die Phrasenstruktur beobachten. Die P600-Peak-Latenz der Spät-Bilingualen mit einem relativ niedrigen Sprachniveau ist signifikant verzögert im Vergleich zu den Früh- und den Spät-Bilingualen mit einem relativ hohen Sprachniveau.

Aus den vorliegenden Ergebnissen lässt sich bislang folgende Schlussfolgerung ableiten: Das erreichte Sprachniveau hat einen Einfluss auf das ERP-Korrelat innerhalb der semantischen Verarbeitung in der L2. Im Rahmen der syntaktischen Verarbeitung weist sowohl das Erwerbsalter als auch das erreichte Sprachniveau einen Einfluss auf das ERP-Korrelat der L2 auf. Interessant hierbei ist, dass die beiden Faktoren (Erwerbsalter/Sprachniveau) bei der syntaktischen Verarbeitung aufgabenabhängig sind, so dass sich der Einfluss des Erwerbsalters nur innerhalb der Phrasenstrukturbedingung (bezüglich der Intensität des P600-Effekts) nachweisen lässt. Genauso beeinflusst das Sprachniveau die syntaktische Verarbeitung nur innerhalb der Kasusbedingung (bezüglich des Auftretens des P600-Effekts). Die ausführliche Diskussion über den Einfluss des Erwerbsalters sowie des Sprachniveaus auf das ERP-Korrelat der semantischen und syntaktischen Verarbeitung in der L2 folgt im nächsten Kapitel.

### ***b) Vergleiche zwischen den Sprachen (L1/L2)***

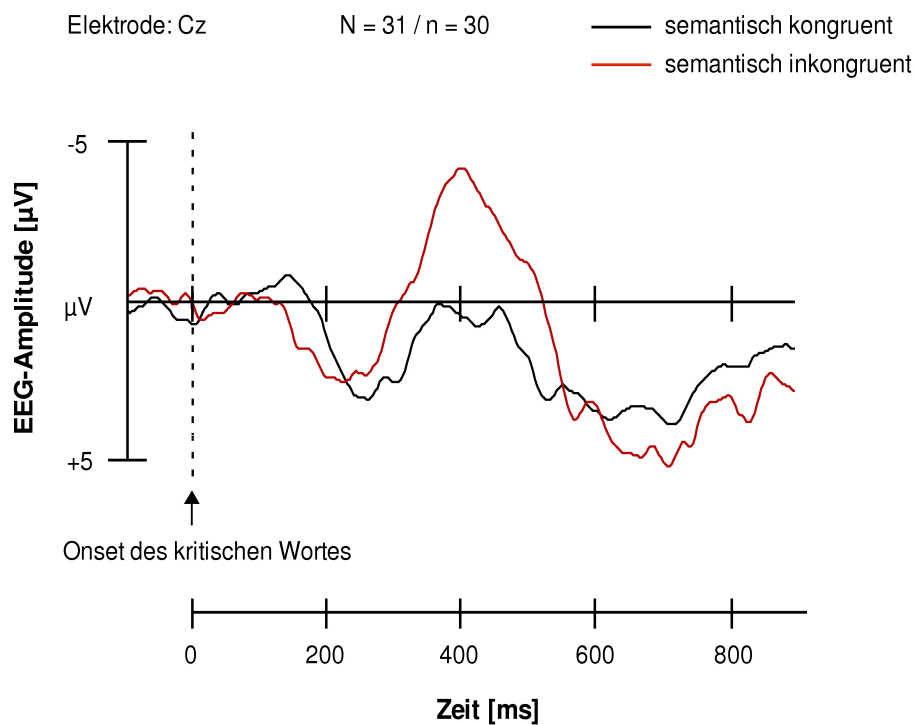
Bei der semantischen Bedingung zeigt sich der N400-Effekt sowohl in der L1 (s. Abbildung 45) als auch in der L2 (s. Abbildung 46). Beim Vergleich zwischen den Früh-Bilingualen (N = 13) und den Spät-Bilingualen (N = 18) gibt es keinen Unterschied beim N400-Effekt in der L1 (s. Abbildungen 47 und 48). Das heißt, es zeigt sich keine Interaktion zwischen dem Stimulustyp (semantisch kongruent vs. semantisch inkongruent) und der Gruppe (Früh- vs. Spät-Bilinguale) in beiden semantischen Bedingungen [ $F(1,29) = 4.445$ ,  $p < 0.045$ , korrigiertes Alpha = 0.025]. Ebenfalls gibt es keinen Unterschied zwischen den Früh-Bilingualen (N = 13) und den Spät-Bilingualen

## 5. Ergebnisse

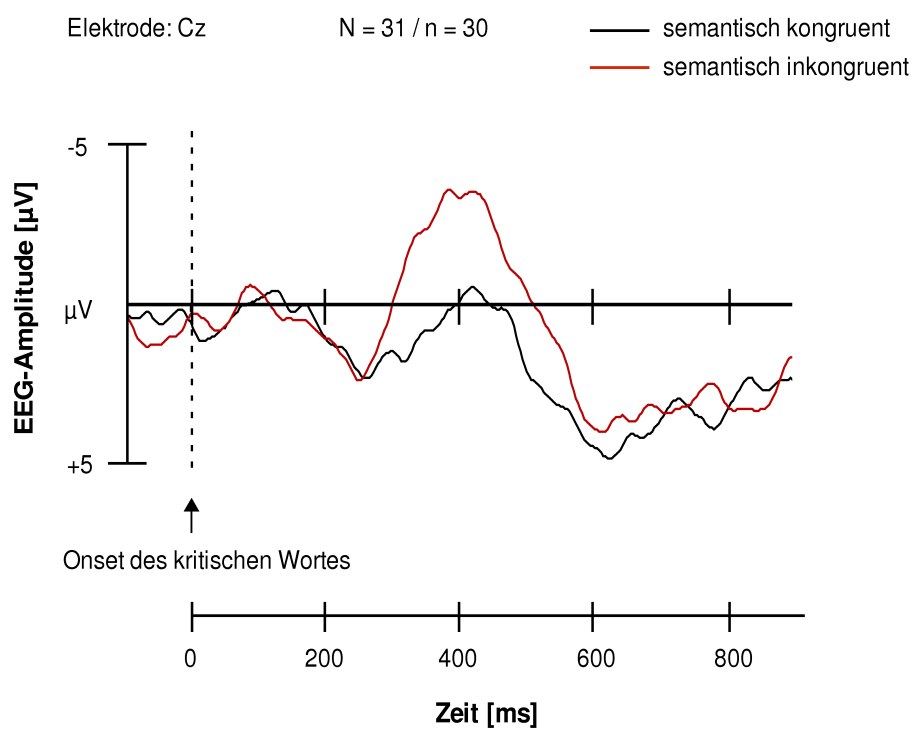
( $N = 18$ ) beim N400-Effekt in der L2 (s. Abbildung 49 und 50). Es zeigt sich also keine Interaktion zwischen dem Stimulustyp und der Gruppe in beiden semantischen Bedingungen [ $F(1,29) = 3.225, p < 0.084$ ].

Bei der syntaktischen Bedingung zeigt sich der P600-Effekt sowohl in der L1 (s. Abbildung 51) als auch in der L2 (s. Abbildung 52). Beim Vergleich zwischen den Früh-Bilingualen ( $N = 13$ ) und den Spät-Bilingualen ( $N = 18$ ) gibt es keinen Unterschied beim P600-Effekt in der L1 (s. Abbildungen 53 und 54). Es zeigt sich also keine Interaktion zwischen dem Stimulustyp (syntaktisch korrekt vs. syntaktisch inkorrekt) und der Gruppe (Früh- vs. Spät-Bilinguale) in beiden syntaktischen Bedingungen [ $F(1,29) = 2.77, p < 0.108$ ]. In der L2 gibt es jedoch einen Unterschied zwischen den Früh-Bilingualen ( $N = 13$ ) und den Spät-Bilingualen ( $N = 18$ ). Es zeigt sich also eine Interaktion zwischen dem Stimulustyp und der Gruppe in beiden syntaktischen Bedingungen [ $F(1,29) = 7.079, p < 0.013$ , s. die Abbildungen 55 und 56].

## 5. Ergebnisse

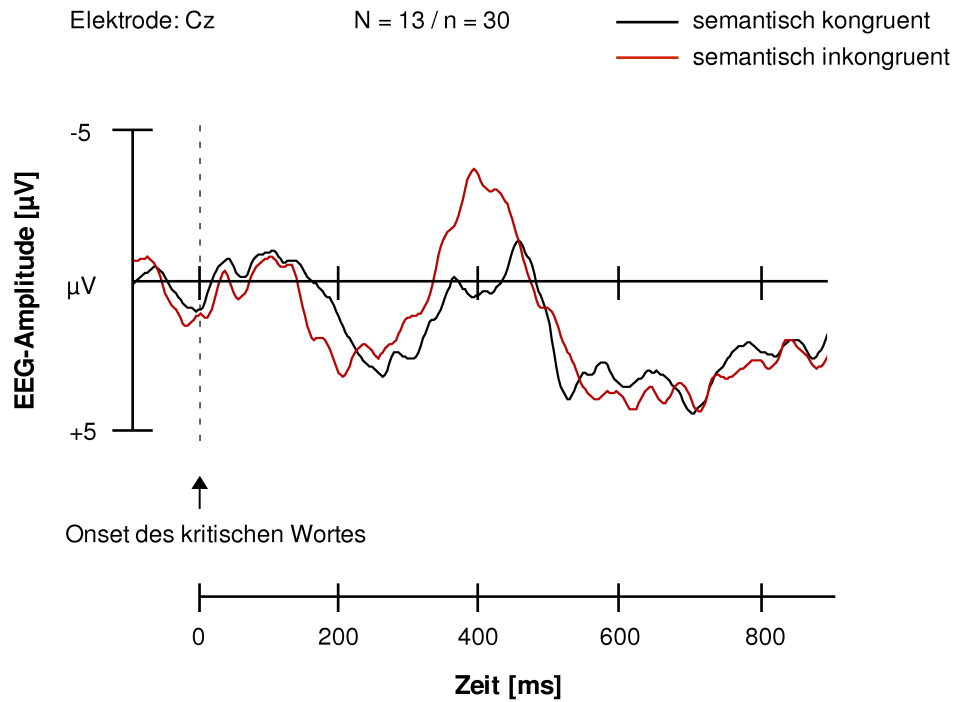


**Abb. 45:** ERP Grand Average der kritischen L1-Wörter (Koreanisch) der semantisch kongruenten und der semantisch inkongruenten Bedingung bei allen Versuchspersonengruppen (N = 31, n = 30) für die Elektrodenposition Cz.

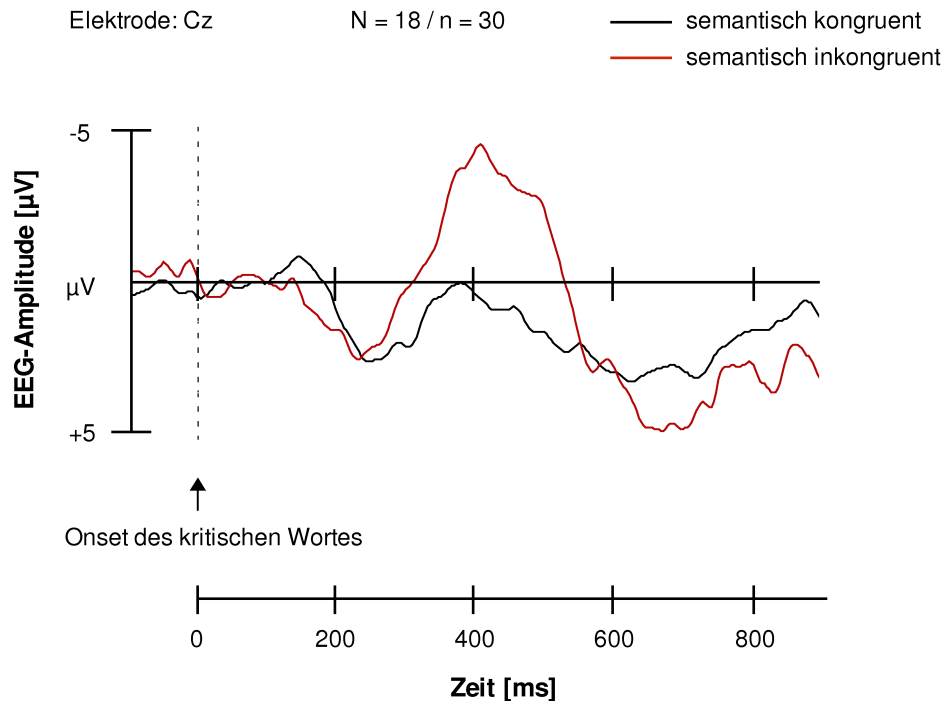


**Abb. 46:** ERP Grand Average der kritischen L2-Wörter (Deutsch) der semantisch kongruenten und der semantisch inkongruenten Bedingung bei allen Versuchspersonengruppen (N = 31, n = 30) für die Elektrodenposition Cz.

## 5. Ergebnisse

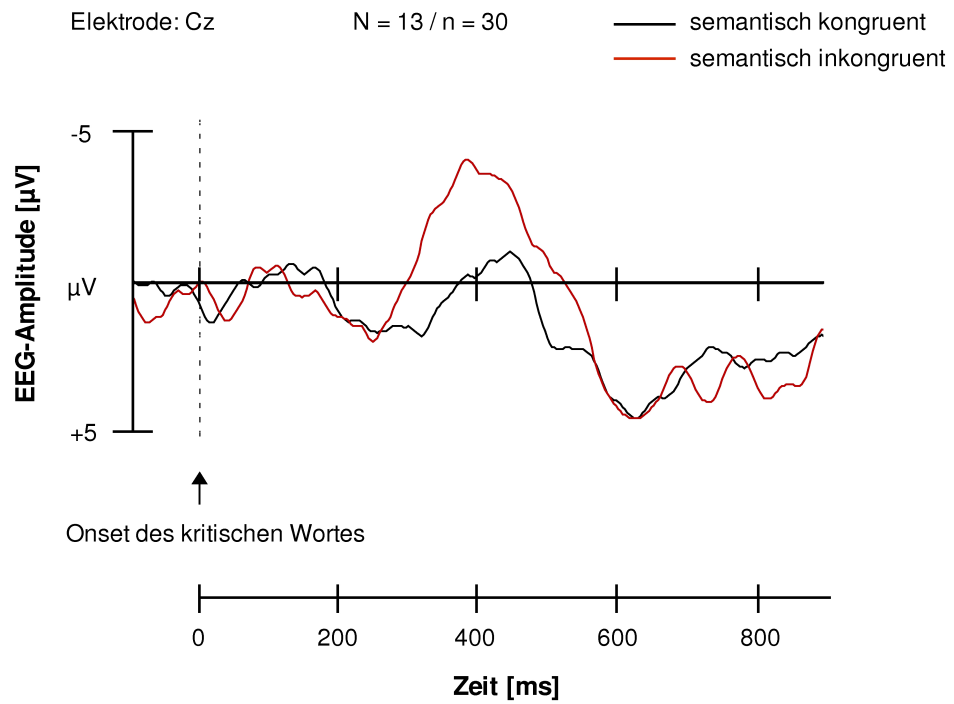


**Abb. 47:** ERP Grand Average der kritischen L1-Wörter (Koreanisch) der semantisch kongruenten und der semantisch inkongruenten Bedingung bei der früh-bilingualen Gruppe (N = 13, n = 30) für die Elektrodenposition Cz.

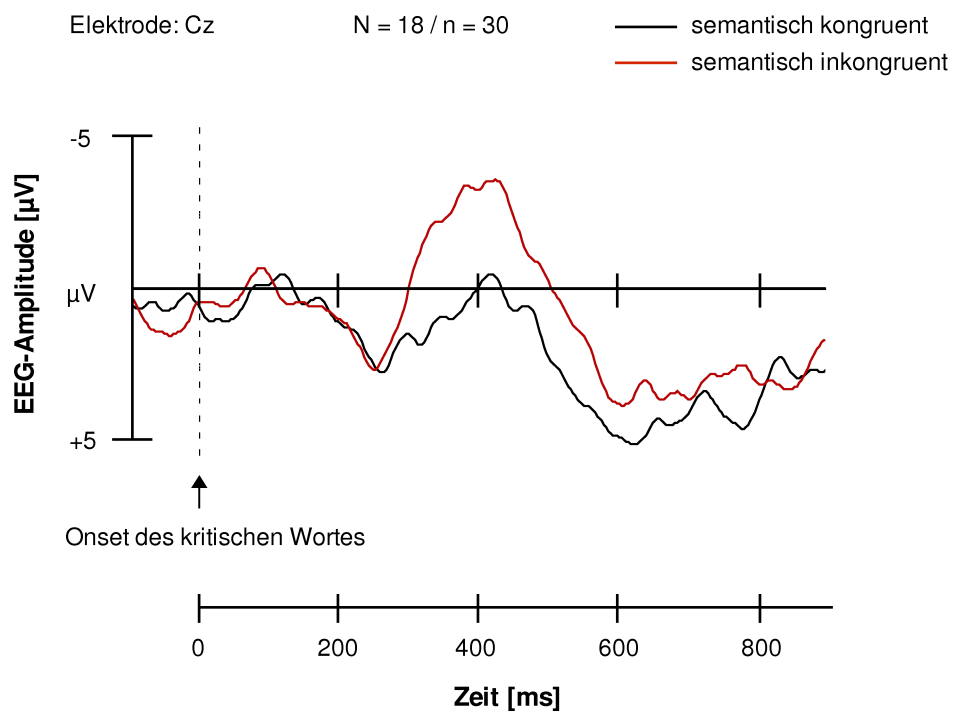


**Abb. 48:** ERP Grand Average der kritischen L1-Wörter (Koreanisch) der semantisch kongruenten und der semantisch inkongruenten Bedingung bei den beiden spät-bilingualen Gruppen (N = 18, n = 30) für die Elektrodenposition Cz.

## 5. Ergebnisse

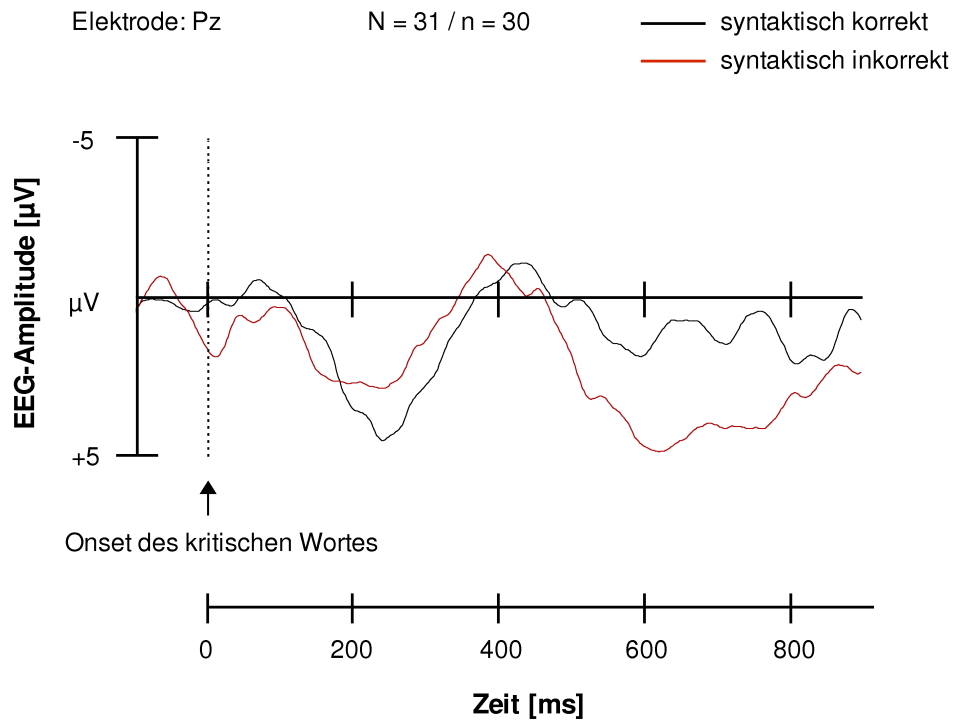


**Abb. 49:** ERP Grand Average der kritischen L2-Wörter (Deutsch) der semantisch kongruenten und der semantisch inkongruenten Bedingung bei der früh-bilingualen Gruppe (N = 13 n = 30) für die Elektrodenposition Cz.

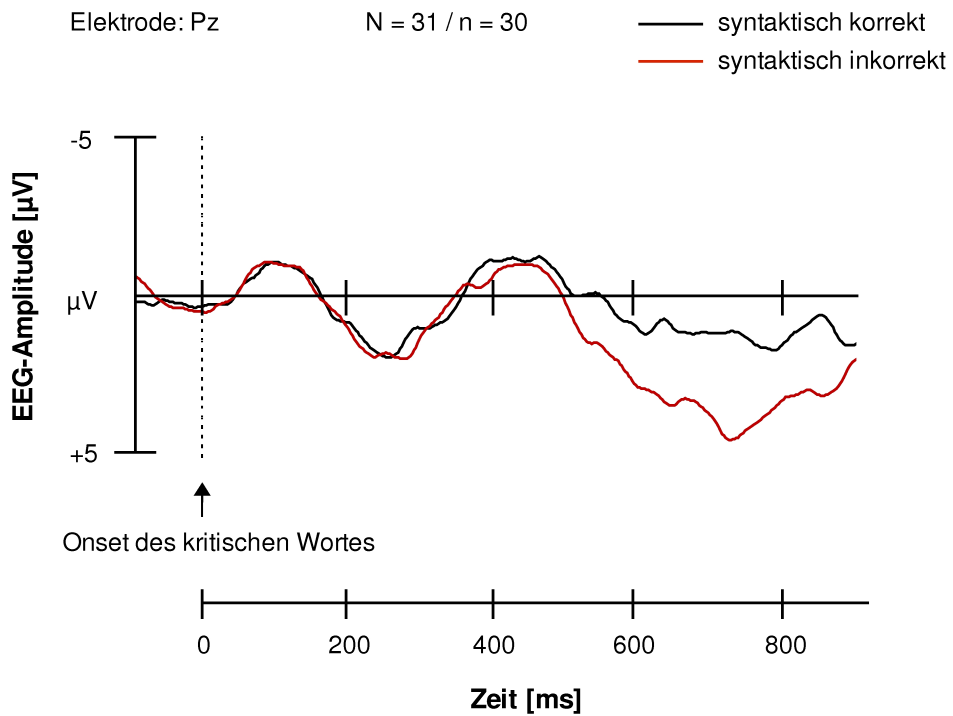


**Abb. 50:** Grand Average der kritischen L2-Wörter (Deutsch) der semantisch kongruenten und der semantisch inkongruenten Bedingung bei den beiden spät-bilingualen Gruppen (N = 18, n = 30) für die Elektrodenposition Cz.

## 5. Ergebnisse



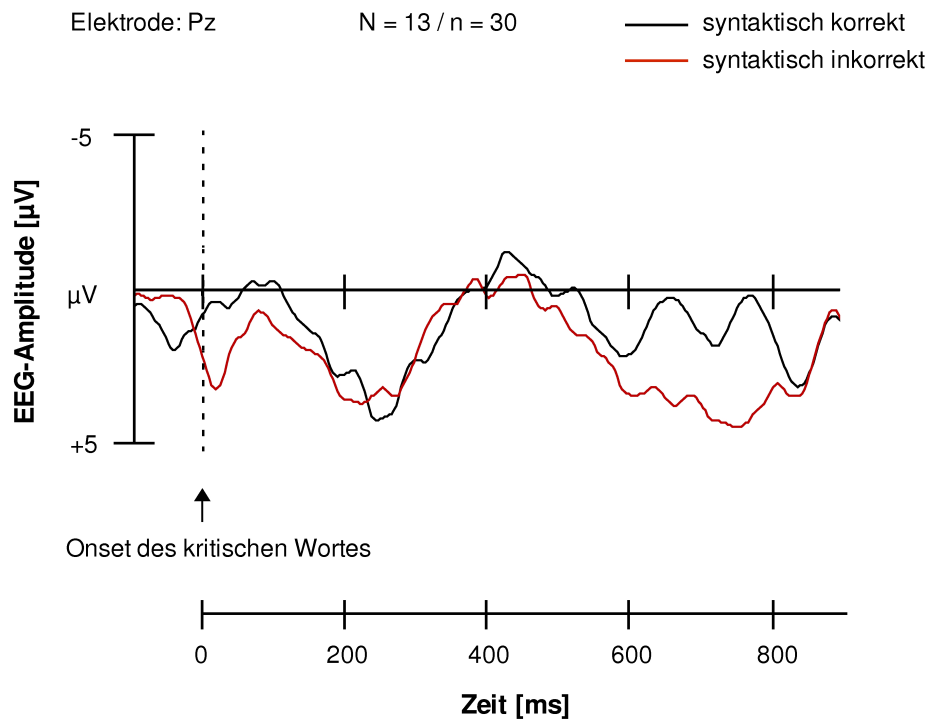
**Abb. 51:** ERP Grand Average der kritischen L1-Wörter (Koreanisch) der syntaktisch korrekten und der syntaktisch inkorrekten Bedingung bei den allen Versuchspersonengruppen (N = 31, n = 30) für die Elektrodenposition Pz.



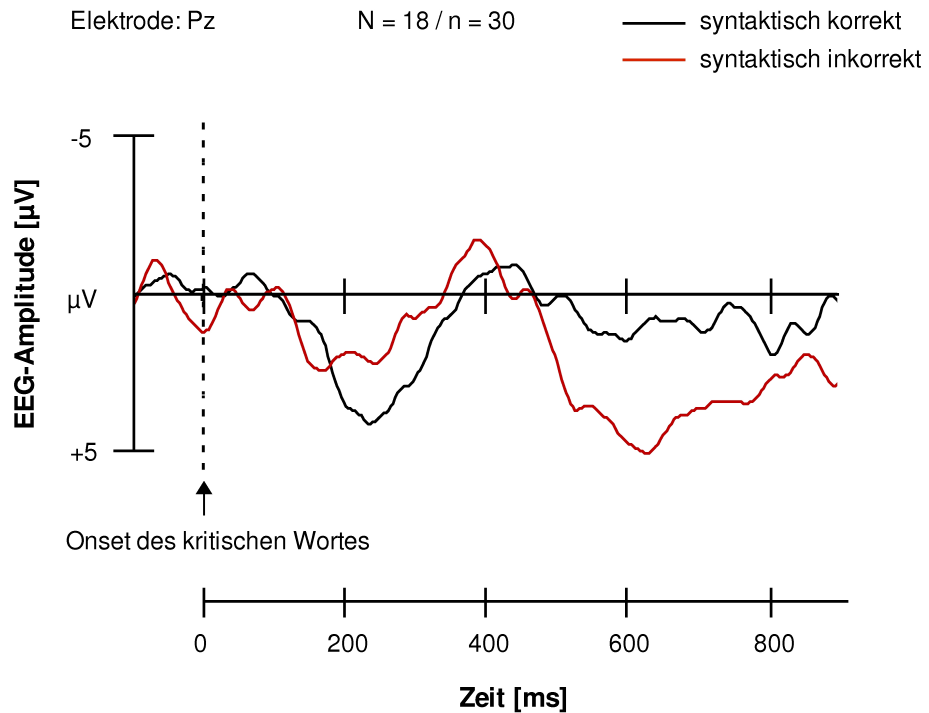
**Abb. 52:** ERP Grand Average der kritischen L2-Wörter (Deutsch) der syntaktisch korrekten und der syntaktisch inkorrekten Bedingung bei den allen Versuchspersonengruppen (N = 31, n = 30) für die Elektrodenposition Pz.



## 5. Ergebnisse



**Abb. 53:** ERP Grand Average der kritischen L1-Wörter (Koreanisch) der syntaktisch korrekten und der syntaktisch inkorrekten Bedingung bei der früh-bilingualen Gruppe (N = 13, n = 30) für die Elektrodenposition Pz.



**Abb. 54:** ERP Grand Average der kritischen L1-Wörter (Koreanisch) der syntaktisch korrekten und der syntaktisch inkorrekten Bedingung bei den beiden spät-bilingualen Gruppen (N = 18, n = 30) für die Elektrodenposition Pz.



## **6. Diskussion**

### **6.1 Experiment-bezogene Diskussion**

#### **6.1.1 Hypothesenprüfung aufgrund der Ergebnisse**

Die Frage, ob das Erwerbssalter einen Einfluss auf den N400- bzw. P600-Effekt in der L2 hat, kann innerhalb der bereits erwähnten Hypothesen (für Details, s. Kapitel 4. Fragestellung und Hypothesen) beantwortet werden. Hinsichtlich des N400-Effekts gibt es keinen Unterschied zwischen den Früh- und den Spät-Bilingualen beim Vergleich a) des Auftretens des N400-Effekts, b) der Intensität des N400-Effekts und c) der N400-Peak-Latenz. Daraus kann geschlossen werden, dass das Erwerbssalter keinen Einfluss auf den N400-Effekt hat.

Hinsichtlich des P600-Effekts zeigt sich ein aufgabenspezifischer Effekt. Bei der Erkennung falscher Phrasenstrukturregeln gibt es keinen Unterschied zwischen den Früh- und den Spät-Bilingualen beim Vergleich a) des Auftretens des P600-Effekts, b) der Intensität des P600-Effekts und c) der P600-Peak-Latenz. Im Gegensatz dazu gibt es bei der Erkennung falscher Kasusregeln einen Unterschied zwischen den Früh- und den Spät-Bilingualen. Dieser Unterschied zwischen den Früh- und den Spät-Bilingualen zeigt sich aber nur beim Vergleich der Intensität des P600-Effekts. Die Intensität des P600-Effekts bei den Früh-Bilingualen unterscheidet sich signifikant von der bei den beiden spät-bilingualen Gruppen mit einem relativ hohen bzw. einem relativ niedrigen Sprachniveau. Beim Vergleich des Auftretens des P600-Effekts sowie der P600-Peak-Latenz zeigt sich kein Unterschied zwischen den Früh- und den Spät-Bilingualen. Somit hat das Erwerbssalter einen Einfluss auf das ERP-Korrelat der syntaktischen Verarbeitung, der allerdings aufgabenspezifisch scheint und der insbesondere beim Vergleich der Intensität des P600-Effekts hervortritt.

Ob das Sprachniveau einen Einfluss auf den N400- bzw. P600-Effekt hat, kann ebenfalls innerhalb der bereits erwähnten Hypothesen (Details, s. Kapitel 4.) beantwortet werden. Hinsichtlich des N400-Effekts gibt es einen Unterschied zwischen

den Früh-Bilingualen, den Spät-Bilingualen mit einem relativ hohen Sprachniveau und den Spät-Bilingualen mit einem relativ niedrigen Sprachniveau beim Vergleich der N400-Peak-Latenz. Die N400-Peak-Latenz von den Spät-Bilingualen mit einem relativ niedrigen Sprachniveau unterscheidet sich signifikant von der der Früh-Bilingualen und der Spät-Bilingualen mit einem relativ hohen Sprachniveau. Beim Vergleich des Auftretens des N400-Effekts bzw. der Intensität des N400-Effekts gibt es jedoch keinen Unterschied zwischen den Früh-Bilingualen, den Spät-Bilingualen mit einem relativ hohen Sprachniveau und den Spät-Bilingualen mit einem relativ niedrigen Sprachniveau. Daraus geht hervor, dass das Sprachniveau einen Einfluss auf den N400-Effekt, insbesondere auf die N400-Peak-Latenz hat.

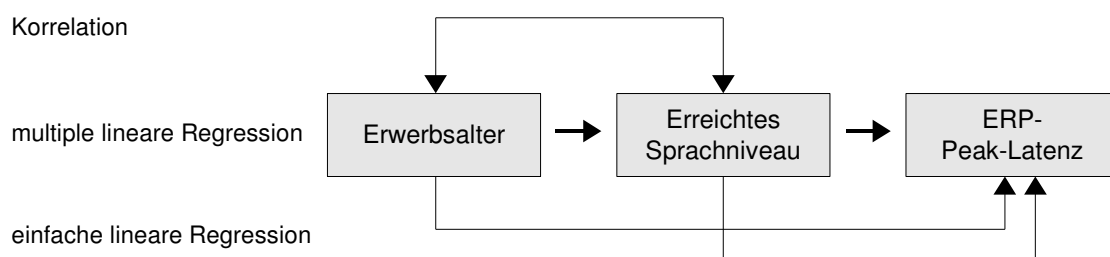
Hinsichtlich des P600-Effekts gibt es einen Unterschied zwischen den Früh-Bilingualen, den Spät-Bilingualen mit einem relativ hohen Sprachniveau und den Spät-Bilingualen mit einem relativ niedrigen Sprachniveau, der aufgabenspezifisch ist. Bei der Erkennung falscher Kasusregeln gibt es einen Unterschied zwischen den Früh-Bilingualen, den Spät-Bilingualen mit einem relativ hohen Sprachniveau und den Spät-Bilingualen mit einem relativ niedrigen Sprachniveau, jedoch nicht bei der Erkennung falscher Phrasenstrukturregeln. Dieser aufgabenspezifische Unterschied ist lediglich beim Auftreten des P600-Effekts zu beobachten. Die Spät-Bilingualen mit einem relativ niedrigen Sprachniveau zeigen den P600-Effekt bei der Erkennung falscher Phrasenstrukturregeln, aber nicht bei der Erkennung falscher Kasusregeln. Im Gegensatz dazu zeigen die Früh-Bilingualen und die Spät-Bilingualen mit einem relativ hohen Sprachniveau den P600-Effekt sowohl bei der Erkennung falscher Phrasenstrukturregeln als auch bei der Erkennung falscher Kasusregeln. Wie bereits erwähnt, unterscheidet sich die Intensität des P600-Effekts bei den Früh-Bilingualen signifikant von der bei den beiden spät-bilingualen Gruppen mit einem relativ hohen bzw. einem relativ niedrigen Sprachniveau. Jedoch gibt es hier keinen Unterschied zwischen den Spät-Bilingualen mit einem relativ hohen Sprachniveau und den Spät-Bilingualen mit einem relativ niedrigen Sprachniveau. Beim Vergleich der P600-Peak-Latenz gibt es einen Unterschied zwischen den Früh-Bilingualen, den Spät-Bilingualen mit einem relativ hohen Sprachniveau und den Spät-Bilingualen mit einem relativ niedrigen

Sprachniveau. Die P600-Peak-Latenz bei den Spät-Bilingualen mit einem relativ niedrigen Sprachniveau ist signifikant verzögert im Vergleich zu den Früh-Bilingualen und den Spät-Bilingualen mit einem relativ hohen Sprachniveau. Schließlich hat das Sprachniveau einen Einfluss auf den P600-Effekt, der aufgabenspezifisch ist und der insbesondere beim Vergleich des Auftretens des P600-Effekts bzw. der P600-Peak-Latenz sichtbar wird.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass das erreichte Sprachniveau einen Einfluss auf den N400-Effekt hat. Im Rahmen des P600-Effekts weist sowohl das Erwerbsalter als auch das erreichte Sprachniveau einen Einfluss auf das ERP-Korrelat der syntaktischen Verarbeitungsprozesse auf.

### 6.1.2 Relation zwischen dem Erwerbsalter und dem Sprachniveau

Die Relation zwischen dem Erwerbsalter und dem erreichten Sprachniveau wird insbesondere durch die Regressionsberechnung der N400- bzw. P600-Peak-Latenz verdeutlicht.



**Abb. 57:** Obwohl die einfache lineare Regressionsanalyse zeigt, dass sowohl das Erwerbsalter als auch das erreichte Sprachniveau einen Einfluss auf die N400- bzw. P600-Peak-Latenz hat, geht aus der multiplen linearen Regression hervor, dass das erreichte Sprachniveau einen Einfluss auf die N400- bzw. P600-Peak-Latenz hat, aber das Erwerbsalter nicht. Das Erwerbsalter kann indirekt die N400-Peak-Latenz beeinflussen, da das Erwerbsalter stark mit dem erreichten Sprachniveau korreliert (für Details, s. Text).

Die schematische Darstellung die Relation zwischen den beiden erklärenden Variablen und der N400- sowie P600-Peak-Latenz (s. Abbildung 57) veranschaulicht, dass sowohl das Erwerbssalter als auch das erreichte Sprachniveau die N400- bzw. P600-Peak-Latenz beeinflusst, wenn man diese erklärenden Variablen getrennt betrachtet (d.h. wenn zwei einzelne einfache lineare Regressionen berechnet werden). Jedoch verschwindet der Effekt des Erwerbssalters, wenn die beiden erklärenden Variablen (Erwerbssalter/Sprachniveau) zusammen betrachtet werden. Der Effekt des Erwerbssalters bei der einfachen linearen Regressionsberechnung lässt sich möglicherweise durch die starke Korrelation zwischen dem Erwerbssalter und dem erreichten Sprachniveau erklären [ $r = 0.828$ ,  $p < 0.001$ ]. Dass der Effekt des Erwerbssalters bei der multiplen Regressionsanalyse nicht nachweisbar ist, könnte damit zusammenhängen, dass das Erwerbssalter nur durch das Sprachniveau einen Einfluss auf die N400- bzw. P600-Peak-Latenz nimmt. So scheint das Sprachniveau einen direkten Einfluss auf die N400- bzw. P600-Peak-Latenz zu haben, das Erwerbssalter aber nur einen indirekten Einfluss.

### 6.1.3 Kritische Phase beim L2-Erwerb

Die vorliegenden EEG-Ergebnisse lassen keine allgemeine eindeutige Aussage über die Existenz der kritischen Phase zu, da dies stark davon abhängt, ob es sich dabei um die zerebrale Repräsentation eines semantischen oder eines syntaktischen Prozesses handelt. Was semantische Prozesse betrifft, so scheint das Sprachniveau einen Einfluss auf das ERP-Korrelat zu haben. Bei den syntaktischen Verarbeitungsprozessen scheint sowohl das Erwerbssalter als auch das Sprachniveau Relevanz für das ERP-Korrelat zu haben. Der Einfluss des Erwerbssalters zeigt sich besonders bei der Intensität des P600-Effekts, der durch den Verstoß der Kasusregel ausgelöst wird. Obwohl die Spät-Bilingualen mit einem relativ hohen Sprachniveau den P600-Effekt bei der Erkennung von Sätzen mit Verstoß gegen den Kasus zeigen, unterscheidet sich die Ausprägungsstärke des P600-Effekts bei den Spät-Bilingualen mit einem relativ hohen Sprachniveau von der Ausprägungsstärke des P600-Effekts bei den Früh-Bilingualen. Jedoch deutet die Tatsache, dass der P600-Effekt, der durch den Verstoß der Kasusregel ausgelöst wird,

bei den Spät-Bilingualen mit einem relativ hohen Sprachniveau beobachtet wird, aber nicht bei den Spät-Bilingualen mit einem relativ niedrigen Sprachniveau, darauf hin, dass das Sprachniveau ebenfalls einen Einfluss auf das ERP-Korrelat der syntaktischen Verarbeitungsprozesse hat. Die weitere modellbezogene Diskussion über die kritische Phase beim L2-Erwerb wird nachfolgend in Kapitel 6.2 erörtert.

### **6.1.4 Aufgabenspezifität in der syntaktischen Bedingung**

Wie aus den Ergebnissen hervorgeht, gibt es eine Interaktion zwischen dem Aufgabentyp (Phrasenstruktur/Kasus), dem Stimulustyp (korrekt/inkorrekt) und der Gruppe (Früh-, Spät- Bilinguale mit einem relativ hohen Sprachniveau und mit einem relativ niedrigen Sprachniveau). Dabei lässt sich beobachten, dass nur bei der Erkennung der Sätze mit einem Kasusfehler der P600-Effekt nicht auftritt. Außerdem ist die P600-Peak-Latenz bei der Erkennung der Sätze mit einem Verstoß gegen die Kasusregel signifikant verzögert im Gegensatz zur Satzerkennung mit falscher Phrasenstruktur. Hierbei stellt sich die Frage, ob die zeitliche Verzögerung sowie das Fehlen des P600-Effekts bei der Erkennung der Sätze mit dem Kasusfehler als Folge der syntaktischen Komplexität innerhalb der syntaktischen Analyse verstanden werden könnte. Der Erkennungsprozess bei den Sätzen mit einem Verstoß gegen die Kasusregel könnte komplizierter sein als der Erkennungsprozess bei den Sätzen mit einem Verstoß gegen die Phrasenstrukturregel. Gemäß dieser Vermutung wäre der Einfluss des Sprachniveaus auf das ERP-Korrelat des Reanalyseprozesses bei den Sätzen mit einem Verstoß gegen die Kasusregel wiederum stärker als beim Verstoß gegen die Phrasenstrukturregel. Zudem ist bekannt, dass die Analyse der komplexen syntaktischen Struktur generell länger dauert. Im Folgenden wird aufgrund dieser Annahme versucht, die aufgabenspezifischen ERP-Ergebnisse zu erklären.

### *(a) Aufgabenspezifische Verzögerung der P600-Peak-Latenz*

Die P600-Peak-Latenz tritt beim Aufgabentyp „Verstoß gegen die Kasusregel“ im Vergleich zum Aufgabentyp „Verstoß gegen die Phrasenstruktur verzögerter auf [ $F(1,28) = 27.181, p < 0.001$ ]. Diese zeitliche Verzögerung des P600-Effekts könnte im Zusammenhang mit der Komplexität der Aufgaben erklärt werden. Es ist anzunehmen, dass der Reanalyseprozess der Sätze mit dem Kasusfehler anders verläuft als der Reanalyseprozess der Sätze mit der falschen Phrasenstruktur. Je nach Art des syntaktischen Regelverstoßes könnten zur Reanalyse der syntaktisch inkorrekten Sätze unterschiedliche grammatische Verarbeitungsprozesse benötigt werden. Bei der Erkennung der Sätze mit dem Kasusfehler werden mindestens zwei unterschiedliche Arten des grammatischen Wissens benötigt: (a) Regel der Kasusmarkierung (z.B. vier Kasusmarkierungen im Deutschen: nominativ, genitiv, dativ und akkusativ) und (b) Verb-Valenz (z.B. Verb „anrufen“ benötigt ein Akkusativobjekt). Dagegen benötigt man zur Erkennung des Phrasenstrukturfehlers sprachliches Wissen über die Regel der Phrasenstrukturkonstruktion (z.B. eine Präpositionalphrase besteht aus einer Präposition und einer Nominalphrase, die wiederum aus Determina und Nomen besteht).

Aufgrund dieser unterschiedlichen grammatischen Verarbeitungsprozesse ist anzunehmen, dass die syntaktische Reanalyse des Kasusfehlers im Satz generell (unabhängig vom Erwerbsalter bzw. Sprachniveau) zeitlich etwas länger andauert als die Reanalyse des Phrasenstrukturfehlers. Diese Aufgabenspezifität könnte besonders die Spät-Bilingualen betreffen, denn sie benutzen nur sehr begrenzt die implizite Route. Sie benutzen die explizite Route, welche eine höhere Anforderung für das Arbeitsgedächtnis bedeuten. Somit scheint die grammatische Beurteilung des Kasusfehlers einen höheren und komplexen mentalen Prozess im Vergleich zur Beurteilung des Phrasenstrukturfehlers zu benötigen. Diese Schlussfolgerung bezieht sich ausschließlich auf die vorliegenden Aufgabenstellungen bzw. die vorliegenden EEG-Ergebnisse.



*(b) Aufgabenspezifisches Fehlen des P600-Effekts*

Das Fehlen des P600-Effekts wird in der Literatur (z.B. Friederici, 2003) als Zeichen der Abwesenheit der syntaktischen Re-Analyse und Korrekturprozesse verstanden. Aus diesem Grund könnte das Fehlen des P600-Effekts bei den Spät-Bilingualen mit einem relativ niedrigen Sprachniveau dahingehend interpretiert werden, dass bei den Spät-Bilingualen mit einem relativ niedrigen Sprachniveau die Re-Analyse des grammatisch inkorrekten Satzes bzw. die Korrektur der falschen Kasusmarkierung nicht stattfindet. Weiterhin lässt sich vermuten, dass das Sprachniveau einen stärkeren Einfluss auf den Reanalyseprozess der falschen Kasusmarkierung hat als auf die Reanalyse der falschen Phrasenstruktur. Diese Annahme liegt darin begründet, dass die Spät-Bilingualen mit einem relativ niedrigen Sprachniveau den P600-Effekt beim Verstoß gegen die Phrasenstruktur, jedoch nicht beim Verstoß gegen die Kasusregel zeigen. Diese Dissoziation zwischen zwei Arten des grammatischen Verarbeitungsprozesses (Kasus/Phrasenstruktur), wie es die Spät-Bilingualen mit einem relativ niedrigen Sprachniveau zeigen, deutet sicherlich darauf hin, dass die Reanalyse der falschen Kasusmarkierung den Spät-Bilingualen mit einem relativ niedrigen Sprachniveau schwerer fällt als die Reanalyse der falschen Konstruktion der Phrasenstruktur.

Es kann angenommen werden, dass der Grund für diese Dissoziation darin zu suchen ist, dass bei der Erkennung des Kasusfehlers im Satz nicht nur die Reanalyse der syntaktischen Struktur sondern auch Korrekturprozesse stattfinden. Die Reanalyse der syntaktischen Struktur begleitet in diesem Fall automatisch den Korrekturprozess, denn auf die thematische Struktur (das Verb „anrufen“ benötigt ein Akkusativobjekt) wird zugegriffen, bevor der Kasusfehler korrigiert wird. Die Korrektur findet fast zeitgleich statt, da der Zugriff auf das Wissen über die Verb-Valenz bereits die richtige Kasusmarkierung aktiviert. Dagegen findet bei der Erkennung der Phrasenstrukturfehler nicht unbedingt eine Korrektur statt. Zum Beispiel fehlt beim Satz „Der Anzug wurde zum gebracht“ nicht nur ein Nomen in der Präpositionalphrase (PP [P, NP [Det, N]]) sondern auch die semantische Information (eine semantische Lücke). Bei der Reanalyse wird erkannt, dass ein Nomen in der Präpositionalphrase fehlt. Man versucht aber nicht

explizit zu korrigieren, denn es fehlt für die Korrektur die semantische Information. Somit wird nur auf das Wissen über die Phrasenstrukturregeln zurückgegriffen.

Es wäre also denkbar, dass bei der Erkennung der Sätze mit einem Kasusfehler sowohl eine Reanalyse (z.B. Abruf der Kasusregel) als auch eine Korrektur stattfindet, wohingegen bei der Erkennung der Sätze mit einem Phrasenstrukturfehler nur eine Reanalyse (Abruf der Phrasenstrukturregel) stattfindet. Wenn die Analyse der Sätze mit einem Kasusfehler tatsächlich komplexer als die Analyse der Sätze mit einem Phrasenstrukturfehler sein sollte, beeinflusst das Sprachniveau die Reanalyse der Sätze mit einem Kasusfehler stärker als die Reanalyse der Phrasenstrukturfehler. Dies könnte vielleicht erklären, wieso die Spät-Bilingualen mit einem relativ niedrigen Sprachniveau bei der Erkennung der Sätze mit einem Verstoß gegen die Phrasenstrukturregel den P600-Effekt zeigen, jedoch nicht bei der Erkennung der Sätze mit einem Verstoß gegen die Kasusregel.

Abschließend scheint aufgrund der vorliegenden ERP-Ergebnisse (Aufgabenspezifität beim P600-Effekt) das Sprachniveau das ERP-Korrelat in der syntaktischen Verarbeitung unterschiedlich stark zu beeinflussen, in Abhängigkeit davon, welches grammatische Wissen abgerufen wird, und wie groß die Ansprüche der Aufgaben bei der syntaktischen Analyse sind. Einige Forschungsergebnisse über den möglichen Einfluss der Komplexität der syntaktischen Struktur werden im Kapitel 6.3 nochmal aufgenommen und genauer erläutert.

## 6.2 Eigene Modellvorstellungen

In diesem Kapitel werden zwei Modelle vorgestellt. Zunächst wird ein psycholinguistisches Modell über den grammatischen Erwerb sowie die grammatischen Verarbeitungsprozesse in der Zweitsprache (L2) beschrieben. Diese Modellvorstellung basiert auf den bisherigen neurophysiologischen Befunden bzw. Theorien über die L2-Sprachverarbeitung (für Details, s. Kapitel 2). Danach wird ein neurolinguistisches Modell (Kim & Müller, in Vorbereitung) vorgestellt, das die zwei Faktoren Erwerbssalter und Sprachniveau im Zusammenhang mit der neuronalen Kooperation der Zweitsprache erklärt.

### 6.2.1 Psycholinguistisches Modell des L2-Erwerbs/L2-Sprachprozesses

Die meisten bilingualen Modelle beschäftigen sich mit der lexikalisch-semantischen Verarbeitung in der L2. Es gibt nur wenig Literatur über den grammatischen Prozess bei der bilingualen Sprachverarbeitung (s. Kapitel 2). Eine theoretische Überlegung über die grammatische Verarbeitung bei bilingualen Sprechern findet sich bei Ullman (2005). Nach seiner Annahme wird das grammatische Wissen im späteren Erwerbssalter vorwiegend<sup>1</sup> mit Hilfe des deklarativen Gedächtnissystems, das mit dem mentalen Lexikon assoziiert ist, gespeichert, wohingegen das grammatische Wissen im früheren Erwerbssalter mit Hilfe des prozeduralen Gedächtnissystems, das ebenfalls mit der mentalen Grammatik assoziiert ist, gespeichert wird. Dies bedeutet, dass in Abhängigkeit vom Erwerbssalter das grammatische Wissen unterschiedlich gespeichert wird. Der Grund für diese Annahme wird jedoch im Ullmans Modell nicht näher erläutert. Ein Hinweis auf die Frage findet sich bei Paradis, der postuliert, dass das gelernte Wissen implizit gespeichert wird, wenn die Sprache implizit gelernt wird. Wenn die Sprache explizit gelernt wird, wird dagegen das gelernte Wissen explizit

---

<sup>1</sup> „Vorwiegend“, deswegen, weil Ullman die Möglichkeit nicht ausschließt, dass sehr fließende bilinguale Sprecher das grammatische Wissen im prozeduralen Gedächtnis speichern.

gespeichert und die Sprecher benutzen das explizite System. Dies gilt nach Paradis eben auch für das L2-Lernen bzw. für den L2-Prozess. Die Benutzung des impliziten und expliziten Systems hängt davon ab, wie die Zweitsprache (L2) gelernt wird, ob die L2 implizit oder explizit gelernt wird. Dabei unterscheidet Paradis grammatisches Wissen von grammatischer Kompetenz (d.h. Konstruktionsfähigkeit des grammatischen Wissens). Er vermutet, dass das grammatische Wissen selbst nicht die implizite linguistische Kompetenz sondern das metalinguistische Wissen ist, wohingegen die Konstruktionsfähigkeit des grammatischen Wissens die implizite linguistische Kompetenz ist. Diese Ansicht stimmt auch mit der Theorie von Tschirner (2001) überein, innerhalb derer angenommen wird, dass das grammatische Wissen dem Weltwissen zugeordnet werden kann. Deswegen ist die Fähigkeit, grammatisch korrekte Sätze zu konstruieren, qualitativ anders als das grammatische Wissen selbst. Gemäß dieser Ansicht vermutet Paradis, dass die grammatische Kompetenz durch implizites Lernen erworben wird, im Gegensatz zum grammatischen Wissen (für ihn ein metalinguistisches Wissen), welches durch explizites Lernen erworben wird. Die Annahme von Paradis deutet auf einen linearen Zusammenhang zwischen der Art des Lernens und der Art der Speicherung des gelernten grammatischen Wissens hin. Das grammatische Wissen wird im prozeduralen Gedächtnis gespeichert, wenn es implizit gelernt wird, und wird im deklarativen Gedächtnis gespeichert, wenn es explizit gelernt wird.

Meine Vermutung ist, dass dieser lineare Zusammenhang bei wiederholten Lernvorgängen verschwindet. Die Art der Speicherung könnte sich mit zunehmenden Lernvorgängen ändern. Das explizit gelernte grammatische Wissen könnte bei der wiederholten Reenkodierung (d.h. beim wiederholten Abrufprozess des bereits abgelagerten grammatischen Wissens) nicht mehr mit Hilfe des ursprünglich benutzten Gedächtnissystems sondern mit Hilfe des anderen Gedächtnissystems gespeichert werden. Nach dieser Annahme ist der Vorgang der Speicherung des gelernten grammatischen Wissens mit zunehmender Wiederholung der Reenkodierung des abgelagerten grammatischen Wissens so automatisiert, dass das reenkodierte Wissen im prozeduralen Gedächtnissystem gespeichert wird. Das Entscheidende könnte dabei sein,

wie man beim wiederholten Abruf mit dem bereits gelernten Wissen umgeht. Hierbei könnten die Häufigkeit sowie die Intensität des Abrufprozesses eine wichtige Rolle spielen. Somit könnte der Wechsel von einem zum anderen Gedächtnissystem davon abhängen, wie häufig und intensiv das abgespeicherte Wissen abgerufen wird. Es wäre denkbar, dass bei den Spät-Bilingualen mit einem relativ hohen Sprachniveau durch den Automatisierungsprozess mit der Zeit nicht mehr den expliziten Charakter der Speicherung aufweist. Der Abruf des grammatischen Wissens ist so automatisiert, dass zum Teil grammatisches Wissen mit Hilfe des prozeduralen Gedächtnisses gespeichert werden kann. Jedoch wird das nicht automatisierte grammatische Wissen mit Hilfe des deklarativen Gedächtnisses bzw. des mentalen Lexikons gespeichert.

Schließlich kann man annehmen, dass die Art des Lernens (explizit/implizit) nur bei der ersten Speicherung (prozedural/deklarativ) des gelernten grammatischen Wissens eine wichtige Rolle spielen kann. Der Abruf des gelernten grammatischen Wissens bzw. der Vorgang für die weitere Speicherung des reenkodierten grammatischen Wissens, der üblicherweise bei intensiven Übungen bzw. Wiederholungen stattfindet, ist aber letztlich entscheidend für die endgültige Speicherungsart des reenkodierten grammatischen Wissens. Das heißt, dass die Art des Lernens (explizites/implizites Lernen) vielleicht nur bei der initialen Lernphase wichtig für die Art der Speicherung (prozedural/deklarativ) ist. Bei der späteren Lernphase spielt der Lernvorgang (der Vorgang von der Reenkodierung des gelernten bzw. abgelagerten Wissens zur Speicherung des reenkodierten Wissens) eine entscheidende Rolle dafür, ob das grammatische Wissen im prozeduralen oder deklarativen Gedächtnissystem gespeichert bzw. mit der mentalen Grammatik oder mit dem mentalen Lexikon verknüpft wird.

Im Folgenden wird aufgrund der bisherigen theoretischen Grundlagen über den L2-Erwerb bzw. L2-Prozess (z.B. Tschirner, 2001; Paradis, 2001; Ullman, 2004) sowie der oben beschriebenen Überlegung ein Modell über den Erwerb des grammatischen Wissens in der L2 sowie über die grammatische Verarbeitung in der L2 grafisch<sup>1</sup>

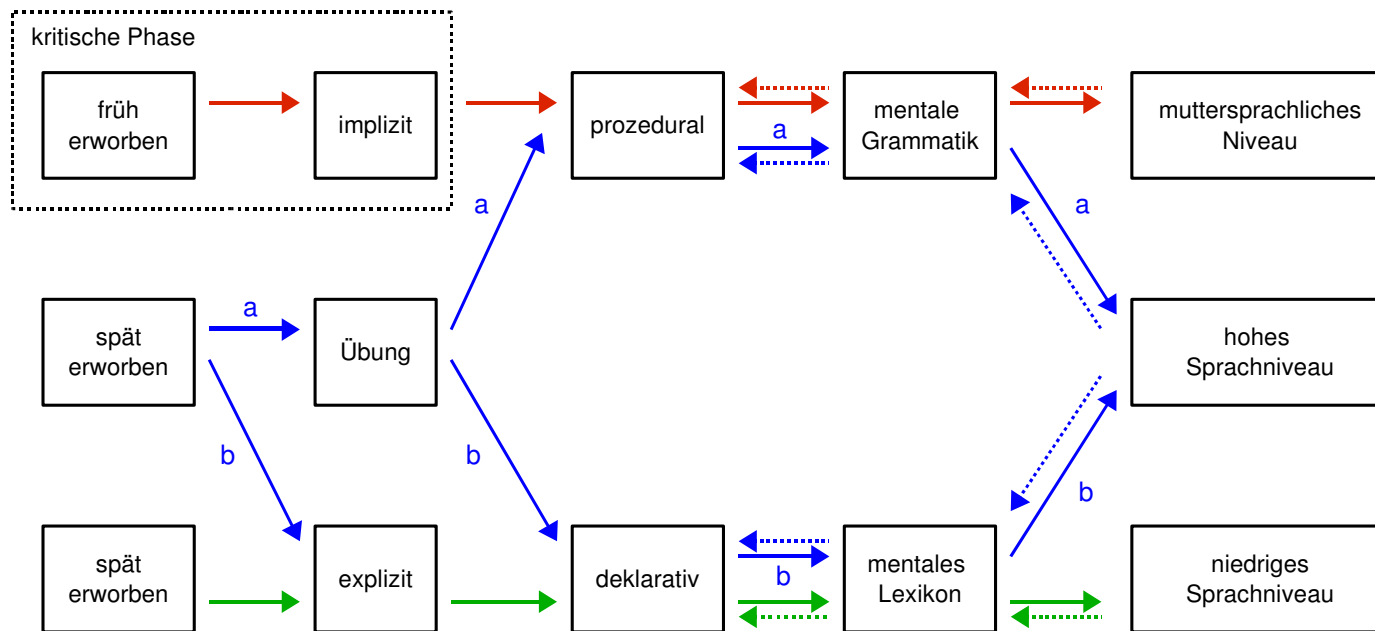
---

<sup>1</sup> Nach meinen Kenntnissen gibt es keine grafische Darstellung der Theorien von Ullman und Paradis.

dargestellt (s. Abbildung 58). Das vorliegende Modell geht von drei Mechanismen aus: Lernmechanismen (Art des Lernens), Sprachmechanismen (Art des linguistischen Speichers) und Gedächtnismechanismen (Art des Gedächtnisses). Die Lernmechanismen lassen sich in zwei Kategorien gliedern: implizites und explizites Lernen. Die Sprachmechanismen werden ebenfalls in zwei Kategorien eingeteilt: mentale Grammatik und mentales Lexikon. Die mentale Grammatik enthält die ganzheitlich gespeicherten Phrasen und Sätze, die durch das implizite Lernen erworben werden und weitgehend im prozeduralen Gedächtnis gespeichert sind (Tschirner, 2001; Ullman, 2004). Das mentale Lexikon enthält explizit gelerntes grammatisches Wissen (d.h. syntaktische Information der Wörter) und Wortbedeutung (für Details, s. Levelt, 1989; Levelt, Roelofs & Meyer, 1999). Neben diesen drei Mechanismen finden sich zwei weitere Faktoren im Modell: das Erwerbssalter und das erreichte Sprachniveau. Das Erwerbssalter lässt sich in zwei Kategorien, früh und spät, einteilen. Das Sprachniveau wird in vier Kategorien gegliedert: a) muttersprachlich, b) hoch, c) niedrig und d) L2-Anfängerniveau.

Das vorliegende Modell (s. Abbildung 58) kann erklären, wie das grammatische Wissen erworben bzw. verarbeitet wird, indem es mit Hilfe der oben genannten Mechanismen und Komponenten den Lernvorgang sowie den Zugriff/Abruf des grammatischen Wissens darstellt. Außerdem beschreibt das vorliegende Modell, wie die zwei Faktoren (Erwerbssalter/Sprachniveau) die Interaktion zwischen den drei Mechanismen (Lern-, Sprach- und Gedächtnismechanismen) beeinflussen. Es gibt unterschiedliche Routen, die am Lernvorgang und am Zugriff/Abruf beteiligt sind. Diese unterschiedlichen Routen sind in Abhängigkeit von den Faktoren Erwerbssalter und Sprachniveau wiederum unterschiedlich miteinander verknüpft. Innerhalb des vorliegenden Modells wird versucht, herauszufinden, bei welchen Ebenen, Komponenten und Verbindungsrouten sich Unterschiede zwischen Früh- und Spät-Bilingualen finden lassen. Weiterhin wird versucht die so genannte „Kritische Phase“ beim L2-Erwerb zu erklären, und die vorliegenden ERP-Ergebnisse in das Modell einzuordnen.

## 6. Diskussion



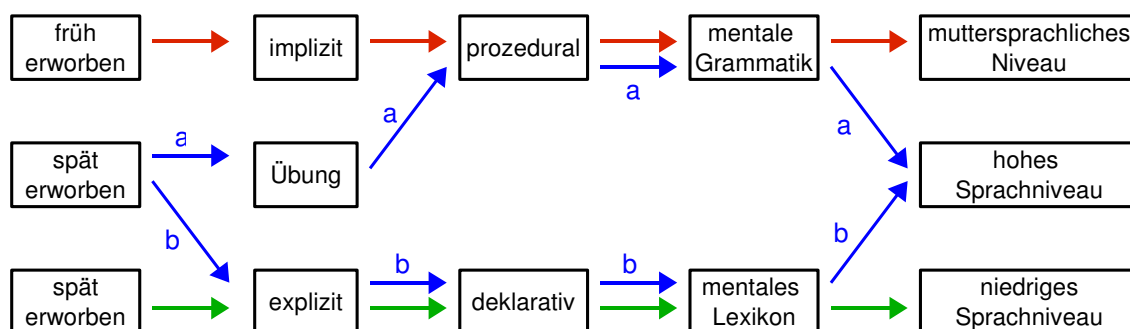
**Abb. 58:** Schematische Darstellung der Prozesse beim Erwerb des grammatischen Wissens (durchgängige Linie) sowie des Zugriffsprozesses beim Abruf des grammatischen Wissens (gepunktete Linie). Beim Erwerb des grammatischen Wissens benutzen die Früh-Bilingualen die implizite Route (rote durchgängige Linie), wohingegen die Spät-Bilingualen die expliziten Route benutzen (grüne durchgängige Linie und blaue durchgängige Linie mit der Kennzeichnung „b“). Bei den Spät-Bilingualen gelingt es, das grammatische Wissen prozedural zu speichern, wenn das grammatische Wissen durch Übung automatisiert wird (blaue durchgängige Linie mit der Kennzeichnung „a“). Beim Abruf des grammatischen Wissens benutzen die Früh-Bilingualen die prozedurale Route (Zugriff auf die mentale Grammatik, rote gepunktete Linie), wohingegen die Spät-Bilingualen die deklarative Route benutzen (Zugriff auf das mentale Lexikon, grüne gepunktete Linie und blaue gepunktete Linie mit der Kennzeichnung „b“). Zum Teil benutzen die Spät-Bilingualen die prozedurale Route, wenn das grammatische Wissen, das bereits in der mentalen Grammatik gespeichert ist, abgerufen wird (blaue gepunktete Linie mit der Kennzeichnung „a“).

### 6.2.1.1 Lernvorgänge des grammatischen Wissenserwerbs in der L2

Nach vorliegender Modellvorstellung (s. Abbildung 58) finden sich zwei Möglichkeiten des Lernvorgangs in Abhängigkeit vom Erwerbssalter: impliziter und expliziter Lernvorgang.

Die Früh-Bilingualen erwerben das grammatische Wissen über die implizite Route, d.h. das grammatische Wissen wird implizit gelernt und der gelernte Inhalt wird in der mentalen Grammatik innerhalb des prozeduralen Gedächtnisses gespeichert (s. Abbildung 59, rote Linie).

Dagegen erlernen die Spät-Bilingualen das grammatische Wissen zunächst über die explizite Lernroute. Hierbei wird das grammatische Wissen explizit gelernt und der gelernte Inhalt wird im mentalen Lexikon innerhalb des deklarativen Gedächtnisses gespeichert (s. Abbildung 59, grüne Linie und blaue Linie b).



**Abb. 59:** Drei Routen für den Erwerb des grammatischen Wissens. Das grammatische Wissen in der L2 wird implizit erworben und prozedural in der mentalen Grammatik gespeichert, wenn das grammatische Wissen in der L2 im früheren Lebensalter (vor der kritischen Phase) erworben wird (rote Linie). Dagegen wird das grammatische Wissen in der L2 explizit erworben und deklarativ im mentalen Lexikon gespeichert, wenn das grammatische Wissen in der L2 im späteren Lebensalter (nach der Pubertät) gelernt wird (grüne Linie und blaue Linie b). Ein Teil des grammatischen Wissens in der L2 lässt sich aber durch Übung (d.h. durch den Automatisierungsprozess) prozedural in der mentalen Grammatik speichern, obwohl es im späteren Lebensalter gelernt wird (blaue Linie a).

Intensive Übung ermöglicht gelerntes grammatisches Wissen sowohl in der mentalen Grammatik zu speichern als auch innerhalb des prozeduralen Gedächtnisses (s. Abbildung 59, blaue Linie a). Das heißt, das grammatische Wissen, das mit Hilfe des



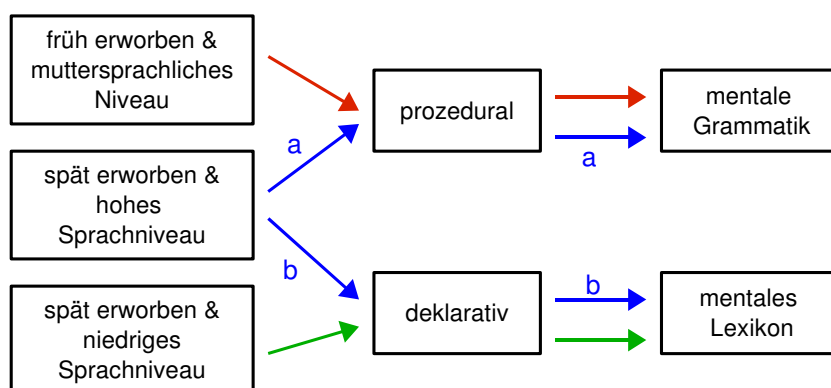
deklarativen Gedächtnissystems im mentalen Lexikon bereits gespeichert ist, kann bei wiederholter Reenkodierung, die durch den wiederholten Abrufprozess erfolgt, mit Hilfe des prozeduralen Gedächtnisses in der mentalen Grammatik gespeichert werden. Allerdings ist es nicht möglich, dass das gesamte grammatische Wissen durch Übung prozedural gespeichert wird. Ein Teil davon kann aber durch Übung in der mentalen Grammatik gespeichert werden (vgl. Ullman 2004). In diesem Fall sind einige grammatische Strukturen bereits aktiviert, bevor die bewusste Zusammenstellung einzelner Teile des grammatischen Wissens stattfindet.

Aus diesem Grund benutzen die Spät-Bilingualen mit einem hohen Sprachniveau sowohl die explizite als auch die implizite Route (s. Abbildung 59, blaue Linie b bzw. a). Sie benutzen die explizite Route zum Speichern des gelernten grammatischen Wissens, das noch nicht ausreichend automatisiert ist. Jedoch ist es denkbar, dass das automatisierte grammatische Wissen im prozeduralen Gedächtnis gespeichert werden kann.

Anders als bei den Spät-Bilingualen mit hohem Sprachniveau steht bei Spät-Bilingualen mit niedrigem Sprachniveau nur die explizite Lernroute zur Verfügung. Das grammatische Wissen wird überwiegend explizit gelernt und im mentalen Lexikon gespeichert. Die L2-Anfänger benutzen ebenfalls die explizite Route zum Lernen des grammatischen Wissens. Das gelernte grammatische Wissen wird im mentalen Lexikon gespeichert. Es gibt möglicherweise einen Unterschied zwischen den Spät-Bilingualen mit einem relativ niedrigen Sprachniveau und den L2-Anfängern hinsichtlich der Größe des mentalen Lexikons. Zum Beispiel könnte das mentale Lexikon bei den Spät-Bilingualen mit einem relativ niedrigen Sprachniveau eine größere Kapazität aufweisen als bei den L2-Anfängern.

### 6.2.1.2 Zugriff-und Abrufvorgänge des grammatischen Wissens in der L2

Es finden sich drei Routen für den Zugriffsprozess auf das grammatische Wissen. Beim Zugriff bzw. Abruf des grammatischen Wissens benutzen die Früh-Bilingualen die prozedurale Route und greifen somit mit Hilfe des prozeduralen Gedächtnissystems auf die mentale Grammatik zu (s. Abbildung 60, rote Linie). Anders als die Früh-Bilingualen benutzen die Spät-Bilingualen mit einem relativ hohen Sprachniveau sowohl die explizite als auch die implizite Route zum Abruf bzw. Zugriff auf das grammatische Wissen. Beim Abruf des grammatischen Wissens wird zu einem großen Teil mit Hilfe des deklarativen Speichers auf das mentale Lexikon zugegriffen (s. Abbildung 60, blaue Linie b). Teilweise kann direkt auf die mentale Grammatik zugegriffen werden, um die syntaktische Struktur zu konstruieren (s. Abbildung 60, blaue Linie a). In diesem Fall kann der Abruf des grammatischen Wissens, das bereits während des Lernens durch Übung (d.h. durch den Automatisierungsprozess) in der mentalen Grammatik gespeichert ist, über die prozedurale Route erfolgen. Die Spät-Bilingualen mit einem niedrigen Sprachniveau benutzen nur die implizite Route. Somit wird beim Abruf des grammatischen Wissens mit Hilfe des deklarativen Speichers auf das mentale Lexikon zugegriffen (s. Abbildung 60, grüne Linie).



**Abb. 60:** Drei Routen für den Abruf des grammatischen Wissens. Die Früh-Bilingualen benutzen die prozedurale Route (rote Linie). Die Spät-Bilingualen mit einem relativ hohen Sprachniveau benutzen sowohl die prozedurale als auch die deklarative Route (blaue Linie a bzw. b). Die Spät-Bilingualen mit einem relativ niedrigen Sprachniveau benutzen die deklarative Route (grüne Linie).

### **6.2.1.3 Erklärungsmöglichkeit der kritischen Phase**

In diesem Kapitel soll versucht werden, anhand des vorliegenden Modells die Existenz der kritischen Phase zu erklären. Das Modell weist darauf hin, dass es theoretisch zwei Möglichkeiten für den impliziten Lernvorgang, den Zugriff auf die mentale Grammatik und den Abruf des grammatischen Wissens innerhalb des prozeduralen Gedächtnisses gibt.

Innerhalb der kritischen Phase wird das grammatische Wissen durch den impliziten Lernvorgang erworben. Wenn man die L2 im Kindesalter (d.h. innerhalb der kritischen Phase) erwirbt, wird das grammatische Wissen implizit erworben, prozedural gespeichert und beim Abruf des grammatischen Wissens auf die mentale Grammatik zugegriffen. Obwohl das grammatische Wissen im späteren Alter in der Schule explizit vermittelt wird, werden die grammatischen Regeln nicht explizit abgerufen, um einen grammatisch korrekten Satz zu generieren. Vielmehr werden bei der Satzgenerierung die grammatischen Regeln implizit abgerufen.

Nach Ablauf der kritischen Phase läuft der Vorgang des Erlernens des grammatischen Wissens nicht implizit. Man lernt zunächst die grammatische Regel explizit und erweitert die Kapazität des mentalen Lexikons. Das implizite Lernen von grammatischem Wissen erfolgt nach Ablauf der kritischen Phase nicht automatisch. Hierbei spielt die Kapazität des mentalen Lexikons eine wichtige Rolle, weil das Lernen der grammatischen Regeln bei denjenigen, die nach der kritischen Phase die Zweitsprache erwerben, vom mentalen Lexikon abhängt. Die prozedurale Speicherung bzw. der Zugriff auf die mentale Grammatik ist durch die Automatisierung des grammatischen Wissens möglich. Obwohl der explizite Erwerb des grammatischen Wissens bei den Spät-Bilingualen den impliziten Lernvorgang voraussetzt, ermöglicht die Automatisierung der grammatischen Regeln, beim Abruf des grammatischen Wissens auf die mentale Grammatik zuzugreifen.

Zusammenfassend wird vor der kritischen Phase das grammatische Wissen implizit erworben und das gelernte Wissen prozedural gespeichert (s. Abbildung 58, rote Linie).

Im Gegensatz dazu wird nach der kritischen Phase das grammatische Wissen explizit erworben und deklarativ gespeichert, wobei die Möglichkeit nicht ausgeschlossen ist, durch den automatisierten Prozess das grammatische Wissen prozedural zu speichern. Somit stehen den Spät-Bilingualen theoretisch zwei Routen zur Speicherung zur Verfügung: prozedural und deklarativ (s. Abbildung 58, blaue durchgängige Linie a und b). In Abhängigkeit von der Benutzung der beiden Speicherungsarten (deklarativ/prozedural) wird das endgültige Sprachniveau unterschiedlich erreicht (s. Abbildung 58, blaue vs. grüne durchgängige Linie). Beim Abruf des grammatischen Wissens wird bei denjenigen mit einem muttersprachlichen Niveau auf die mentale Grammatik zugegriffen (s. Abbildung 58, rote gepunktete Linie), wohingegen diejenigen mit einem niedrigen L2-Niveau beim Abruf des grammatischen Wissens die Zugriffsrouten auf das mentale Lexikon benutzen (s. Abbildung 58, grüne gepunktete Linie). Denjenigen, die ein hohes L2-Niveau erreicht haben, stehen beim Abruf des grammatischen Wissens zwei Zugriffsrouten (mentale Grammatik und mentales Lexikon) zur Verfügung.

Schließlich dient die kritische Phase grundsätzlich als Indikator für den impliziten Lernprozess bzw. den impliziten Abrufprozess. Die Möglichkeit, nach der kritischen Phase das grammatische Wissen prozedural zu speichern bzw. auf die mentale Grammatik zuzugreifen, ist im vorliegenden Modell nicht ausgeschlossen. Vielleicht ist die Kapazität der mentalen Grammatik vor allem nach der kritischen Phase begrenzt. Das ist möglicherweise auch der Grund, weshalb das Erreichen eines muttersprachlichen Niveaus besonders in Bezug auf die Syntax in der L2 nach der kritischen Phase sehr selten oder kaum möglich ist.

#### **6.2.1.4 Erklärungsmöglichkeit der Ergebnisse in der syntaktischen Bedingung**

Wie in Kapitel 6.1.3. erwähnt, scheint es, dass besonders den spät-bilingualen Gruppen die Reanalyse der Sätze, die einen Verstoß gegen die Kasusregel enthalten, schwerer fällt als die Reanalyse der Sätze, die einen Verstoß gegen die Phrasenstrukturregel enthalten. Als Evidenz für diese Annahme könnte man die folgenden ERP-Ergebnisse nennen: a) die verlangsamte P600-Peak-Latenz beim Verstoß gegen die Kasusregel im Vergleich zum Verstoß gegen die Phrasenstrukturregel und die b) Aufgabenspezifität des P600-Effekts, die die Spät-Bilingualen mit einem relativ niedrigen Sprachniveau zeigten. Im Folgenden wird versucht die ERP-Ergebnisse in der syntaktischen Bedingung anhand des vorliegenden Modells zu erklären. Dabei wird auf die folgenden Fragen eingegangen: (a) Wie erklärt das vorliegende Modell den sprachniveaubedingten Unterschied zwischen den beiden spät-bilingualen Gruppen? (b) Wie erklärt das Modell den Grund für die dissoziativen Ergebnisse, bei denen die Spät-Bilingualen mit einem relativ niedrigen Sprachniveau beim Verstoß gegen die Phrasenstrukturregel den P600-Effekt zeigen aber nicht beim Verstoß gegen die Kasusregel? und letztlich c) Wie erklärt das Modell grundsätzlich den Unterschied zwischen den Früh- und den Spät-Bilingualen mit einem relativ hohen Sprachniveau bei der P600-Peak-Latenz (insbesondere beim Verstoß der Phrasenstruktur)?

Zunächst werde ich auf den Grund des sprachniveaubedingten Unterschieds zwischen den beiden spät-bilingualen Gruppen eingehen, der anhand des vorliegenden Modells folgendermaßen erklärt werden kann: a) Es besteht ein Unterschied in der Kapazität des mentalen Lexikons zwischen den beiden spät-bilingualen Gruppen und b) Bilinguale mit einem relativ hohen Sprachniveau greifen auf die mentale Grammatik zu. Es ist denkbar, dass für die Erkennung des Verstoßes gegen die Phrasenstrukturregel der Zugriff auf das mentale Lexikon ausreichend ist. Dies könnte erklären, warum die bilingualen Gruppen sowohl mit einem relativen hohen Sprachniveau als auch mit einem relativ niedrigen Sprachniveau den P600-Effekt bei der Erkennung der Sätze mit einem Phrasenstrukturfehler zeigten. Im Gegensatz dazu findet bei der Erkennung des Verstoßes gegen die Kasusregel eine Reparatur der Sätze mit dem Kasusfehler statt und

für diesen Reparaturprozess könnte der Zugriff auf das mentale Lexikon allein vielleicht nicht ausreichend sein, oder falls der Zugriff auf das mentale Lexikon dafür ausreichend ist, spielt die Kapazität des mentalen Lexikons eine Rolle. Die Spät-Bilingualen mit einem relativ niedrigen Sprachniveau zeigten vielleicht deswegen keinen P600-Effekt bei der Erkennung der Sätze mit dem Verstoß gegen die Kasusregel, weil die Kapazität des mentalen Lexikons nicht ausreichend war, oder weil die Verbindung mit der mentalen Grammatik fehlte. Die Spät-Bilingualen mit einem relativ hohen Sprachniveau zeigten dagegen den P600-Effekt bei der Erkennung der Sätze mit einem Verstoß gegen die Kasusregel, weil sie die Möglichkeit hatten, direkt auf die mentale Grammatik zuzugreifen oder weil die Kapazität des mentalen Lexikons dafür ausreichend war.

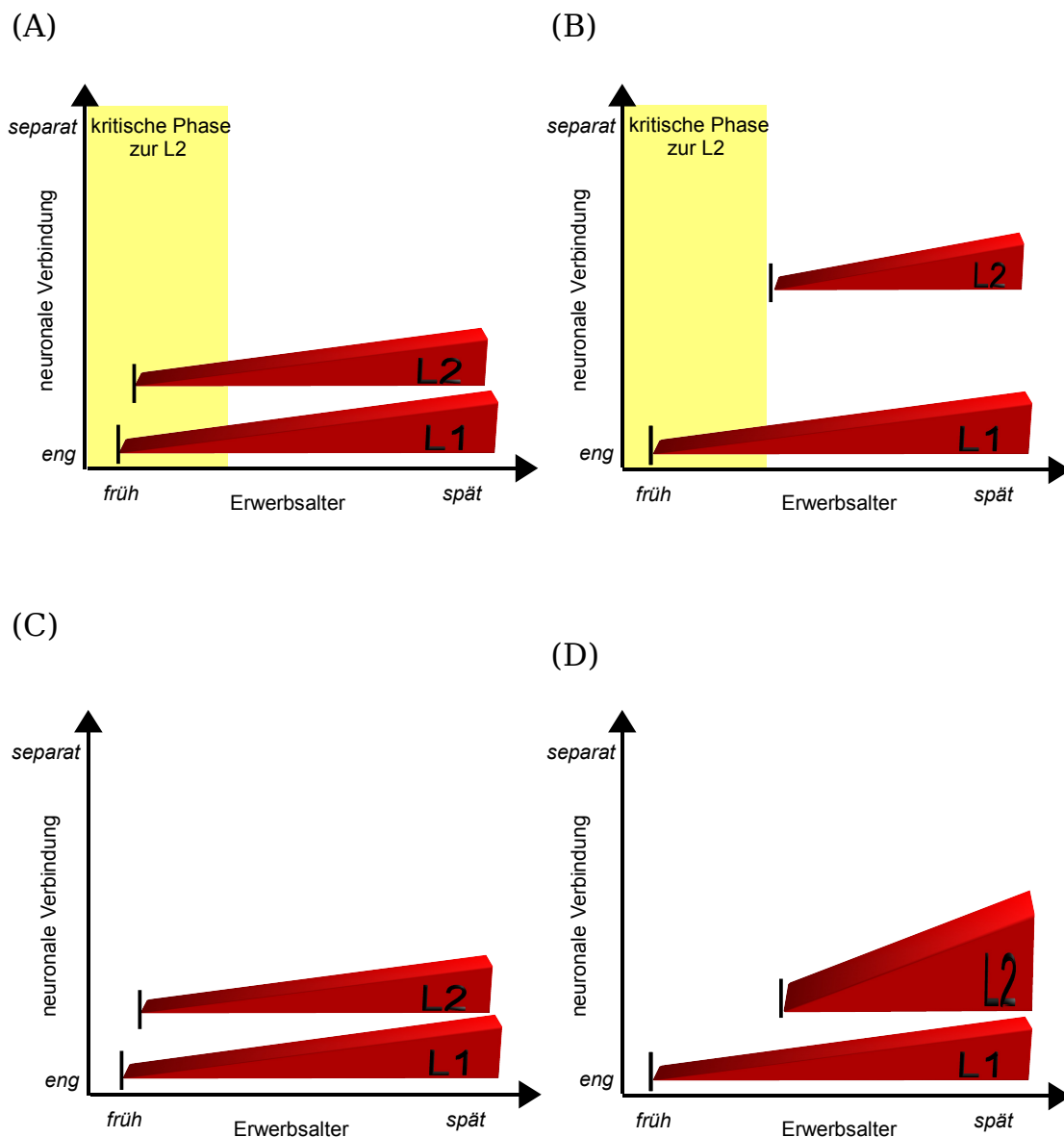
Warum die Spät-Bilingualen mit einem relativ niedrigen Sprachniveau das aufgabenbedingte Dissoziationsmuster beim P600-Effekt aufweisen, könnte dadurch erklärt werden, dass die beiden Bedingungen bzw. Aufgaben (Phrasenstruktur/Kasus) eine unterschiedliche Komplexität des grammatischen Wissens beinhalten. Wie bereits oben erwähnt, reicht der Zugriff auf das mentale Lexikon (d.h. Zugriff auf das explizit gelernte grammatische Wissen) vielleicht für die Erkennung der Sätze mit einem Phrasenstrukturfehler, aber nicht immer dafür aus, die Sätze zu reparieren bzw. automatisch neu zu konstruieren. Bei der Erkennung des Kasusfehlers findet der Korrekturprozess automatisch statt, weil man erkennt, dass zum Beispiel der Akkusativ durch den Dativ ersetzt werden soll. Dagegen ist es bei der Erkennung des Phrasenstrukturfehlers nicht unbedingt nötig, den Fehler zu korrigieren, weil man bereits aufgrund des Fehlens des Wortes erkennt, dass die Sätze grammatisch falsch sind. Aus demselben Grund scheint es, dass die Reanalyse der Sätze mit einem Verstoß gegen die Kasusregel den Spät-Bilingualen mit einem relativ niedrigen Sprachniveau schwerer fällt als die Reanalyse der Sätze mit einem Verstoß gegen die Phrasenstruktur.

### **6.2.2 Neurolinguistisches Modell beim L2-Erwerb**

In diesem Kapitel wird ein neurolinguistisches Modell vorgestellt, das die neuronale Verbindung der L1 und L2 durch die zwei Faktoren Erwerbsalter und erreichtes Sprachniveau) erklärt. Aufgrund der bisherigen neurophysiologischen Studien könnten theoretisch vier Möglichkeiten angenommen werden (s. Abbildung 61).

Bei den ersten beiden Fällen ist vorausgesetzt, dass die kritische Phase existiert. Der erste Fall (A) gilt vor allem für die balancierten bilingualen Sprecher sowie die L2-Sprecher, die die L2 vor der kritischen Phase erworben haben und ein sehr hohes L2-Niveau aufweisen. Hier sind die Hirnregionen, die an der L1- und L2-Verarbeitung beteiligt sind, eng miteinander verbunden. Im zweiten Fall (B) ist die L1 vor der kritischen Phase erworben, aber nicht die L2. Dieser Fall gilt für die spät-bilingualen Sprecher, die die L2 nach der kritischen Phase erworben haben. Hierbei werden zusätzliche Hirnregionen aktiviert, die speziell an der L2-Verarbeitung beteiligt sind. Die zwei letzten Fälle (C & D) sind von der Annahme geleitet, es gäbe keine kritische Phase. Hierbei spielt das erreichte Sprachniveau eine entscheidende Rolle. Der dritte Fall (C) gibt die Möglichkeit wieder, dass unabhängig von der Existenz der kritischen Phase die L1 und L2 im früheren Alter erworben werden und sich ein hohes Sprachniveau sowohl der L1 als auch der L2 zeigt. Wie beim Fall (A) liegen die Hirnregionen, die an der L1- und L2-Verarbeitung beteiligt sind, eng zusammen. Der vierte Fall (D) geht davon aus, dass obwohl die L2 im späteren Erwerbsalter erworben wird, das erreichte Sprachniveau so hoch ist, dass es keine zusätzliche Aktivierung in den Hirnregionen gibt, die nur L2 spezifisch sind. Vielmehr teilen sich die L1 und L2 das neuronale Substrat.

6. Diskussion



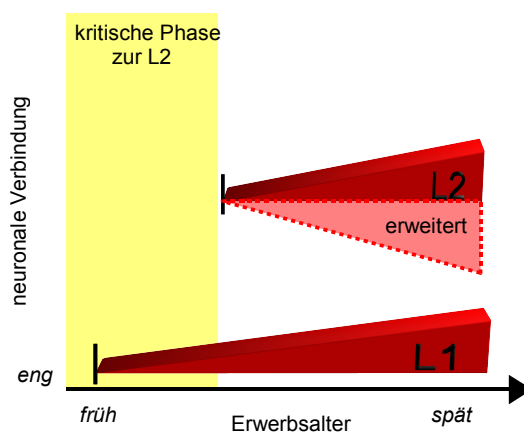
**Abb. 61:** Möglichkeit einer theoretischen Aufteilung in Abhängigkeit von der Existenz der kritischen Phase sowie der Rolle des L2-Sprachniveaus. Das rote Dreieck markiert die Kapazität (Größe) des L2-Sprachniveaus (Kim & Müller, in Vorbereitung).

Aufgrund der vorliegenden ERP-Ergebnisse ist davon auszugehen, dass die kritische Phase existiert, weil sich der Einfluss des Erwerbsalters insbesondere bei der syntaktischen Verarbeitung zeigte. Jedoch scheint das Sprachniveau ebenfalls einen Einfluss auf das ERP-Korrelat der bilingualen Sprachverarbeitung zu haben. Dies wird



## 6. Diskussion

vor allem bei der semantischen Verarbeitung deutlich, aber auch zum Teil bei der syntaktischen Verarbeitung (für Details, s. Kapitel 6.1). Diese Ergebnisse könnten innerhalb dieser Modellvorstellung folgendermaßen interpretiert werden: Einerseits scheint die kritische Phase zu existieren (d.h. das Erwerbsalter beeinflusst die neuronale Netzwerk). Andererseits beeinflusst das Sprachniveau ebenfalls das neuronale Netzwerk. Wenn das Sprachniveau z.B. höher wird (s. Abbildung 62 „erweitert“), gibt es scheinbar mehr gemeinsame neuronale Substrate für die L1 und L2. In diesem Fall koordinieren die gemeinsamen bzw. benachbarten Regionen enger miteinander (s. die Richtung der Erweiterung des erreichten Sprachniveaus) als im Vergleich mit einem niedrigen L2-Niveau.



**Abb. 62:** Die Modifikation der ursprünglichen Schemata aufgrund der vorliegenden ERP-Ergebnisse. Die Erweiterung des erreichten Sprachniveaus ist rosa markiert. Wie die Richtung der Erweiterung des L2-Sprachniveaus zeigt, wird die neuronale Verbindung der L1 und L2 durch die Erweiterung des L2-Sprachniveaus enger (vgl. Fall (B) in der Abbildung 61, für Details, s. Text).

Diese Annahme, dass die enge neuronale Zusammenarbeit bzw. die engen neuronalen Verbindungen der L1 und L2, die durch zunehmende L2-Sprachkenntnisse ausgebildet werden, stimmt auch damit überein, dass neuronale Veränderungen in Abhängigkeit von den L2-Kenntnissen stattfinden (z.B. Mechelli, 2003; Osterhout, 2006).

### 6.3 Zusammenfassung

Anhand der vorliegenden ERP-Ergebnisse sowie der bisherigen neurophysiologischen Befunde wurden im vorherigen Kapitel die zwei wichtigen Faktoren (Erwerbsalter/Sprachniveau) und ihre Bedeutung in der neuronalen Organisation der Erst- und Zweitsprache erörtert. Im Folgenden werden wichtige Schlussfolgerungen in Bezug auf die vorliegenden Ergebnisse bzw. aktuellen Studien zusammenfassend diskutiert.

#### *a) Einflussfaktoren bei der Organisation des bilingualen Gehirns: Erwerbsalter oder Sprachniveau?*

Die vorliegenden ERP-Ergebnisse lassen die Schlussfolgerung zu, dass sowohl das Erwerbsalter als auch das Sprachniveau mit der neuronalen Veränderung, die durch den L2-Erwerb verursacht wird, eng verbunden sind. Meiner Meinung nach kann man diese beiden Faktoren nicht separat betrachten, weil sich die beiden Faktoren stark gegenseitig beeinflussen. Die Relation zwischen der neuronalen Änderung und dem L2-Erwerbsalter scheint anders als die Relation zwischen der neuronalen Änderung und dem L2-Sprachniveau zu sein.

Die Ergebnisse des Experiments deuten an, dass das Erwerbsalter mit der N400- bzw. der P600-Peak-Latenz negativ korreliert (d.h. je später die L2 erworben wird, desto niedriger wird die Verarbeitungsgeschwindigkeit), und das L2-Sprachniveau mit der N400-bzw. der P600-Latenz positiv korreliert (d.h. je früher das L2-Sprachniveau erreicht wird, desto höher wird die Verarbeitungsgeschwindigkeit).

Ähnliche Korrelationen finden sich bei den MRI-Ergebnissen von Mechelli et al. (2004). Sie fanden heraus, dass bei bilingualen Sprechern die Dichte der grauen Substanz in dem linken inferioren Parietalkortex erhöht ist im Vergleich zu monolingualen Sprechern, wobei diese Zunahme der Dichte der grauen Substanz bei den früh-bilingualen Sprechern charakteristischer war als bei den spät-bilingualen Sprechern. Bei einer weiteren Studie von Mechelli et al. (2004) zeigte sich, dass die Dichte der grauen Substanz im linken inferioren Parietalkortex mit dem Erwerbsalter

negativ, aber mit dem Sprachniveau positiv korrelierte. Je höher das Sprachniveau ist, desto mehr nimmt die Dichte der grauen Substanzen zu, je niedriger das L2-Erwerbsalter ist, desto mehr nimmt die Dichte der grauen Substanzen zu. Mechelli et al. nehmen an, dass die Spracherfahrung mit der Umwelt die neuronale Organisation der L2 beeinflusst. Sie vermuten, dass die erhöhte Dichte der grauen Substanzen die Folge der Erfahrung bzw. des Lernens in der Zweitsprache ist, und dass das Maß der strukturellen Reorganisation des bilingualen Gehirns mit dem L2-Sprachniveau (d.h. mit der L2-Spracherfahrung) stark korreliert. Die Rolle der Spracherfahrung in der L2 findet sich auch bei Perani et al. (2003), die herausfanden, dass die Art und Weise des L2-Lernens bzw. die Intensität der L2-Erfahrung während des L2-Erwerbs eine wichtige Rolle spielt. Perani et al. berichten, dass die zwei früh-bilingualen Gruppen mit einem sehr hohen Sprachniveau einen zerebralen Aktivierungsunterschied zwischen der L1 und L2 zeigten, der sich auf die Intensität der L2-Erfahrung bzw. Benutzung zurückführen lässt.

Welche Schlüsse kann man nun aus den vorliegenden ERP-Ergebnissen ziehen? Wie in Kapitel 6.1 erwähnt, deuten die vorliegenden ERP-Ergebnisse an, dass das L2-Sprachniveau die funktionelle neuronale Veränderung beeinflusst, wenn man das Erwerbsalter und das L2-Sprachniveau nicht separat voneinander betrachtet (s. Abbildung 57). Anders gesagt, wenn das Sprachniveau kontrolliert ist, beeinflusst das Erwerbsalter nicht die zerebrale Organisation der L2.

*b) Treten funktionelle neuronale Änderungen unterschiedlich auf, je nach linguistischen Subkategorien?*

Es finden sich einige Ergebnisse, die darauf hinweisen, dass die beiden Faktoren Erwerbsalter und Sprachniveau auf unterschiedliche Weise die neuronale Änderung des Gehirns der bilingualen Sprecher beeinflussen. Sowohl die bisherigen neurophysiologischen Ergebnisse (z.B. Weber-Fox & Neville, 1996; Wartenburger et al., 2003) als auch die vorliegenden ERP-Ergebnisse weisen darauf hin, dass das Erwerbsalter einen stärkeren Einfluss auf das ERP-Korrelat der syntaktischen Verarbeitung als auf das ERP-Korrelat der semantischen Verarbeitung hat. Dies könnte dadurch erklärt werden, dass das Lernen syntaktischen Wissens den Spät-Bilingualen

schwerer fällt als das Lernen lexikalisch-semantischen Wissens, so dass das Erwerbsalter die syntaktische Verarbeitung stärker als die semantische Verarbeitung beeinflusst. Im Gegensatz dazu beeinflusst das Sprachniveau beinahe gleichermaßen sowohl die semantische Verarbeitung (z.B. Chee et al., 2001; Wartenburger et al., 2003) als auch die syntaktische Verarbeitung (z.B. Wartenburger et al., 2003; Golestani et al., 2006). Dies könnte dadurch erklärt werden, dass es einen Unterschied zwischen den Spät-Bilingualen sowohl beim Lernen lexikalisch-semantischen Wissens als auch beim Lernen syntaktischen Wissens geben könnte.

*c) Gibt es einen aufgabenspezifischen Einfluss auf das neuronale Korrelat der L2, aber nur im Zusammenhang mit dem Sprachniveau?*

Bei den vorliegenden ERP-Ergebnissen wurde der aufgabenspezifische Einfluss auf das ERP-Korrelat beobachtet, der sich insbesondere bei der syntaktischen Verarbeitung findet. Da der aufgabenspezifische Einfluss bei der syntaktischen Verarbeitung im Zusammenhang mit dem Einfluss des Sprachniveaus auftritt, nehme ich an, dass der aufgabenspezifische Einfluss mit dem Schweregrad der Aufgaben (z.B. der Komplexität der syntaktischen Struktur) zu tun haben könnte.

Eine aktuelle fMRI-Studie von Yokoyama et al. (2006) behandelt dieses Thema mit dem Titel „die Rolle der Komplexität der syntaktischen Struktur“. Die Autoren untersuchten die syntaktische Verarbeitung bei Spät-Bilingualen und fanden heraus, dass es eine größere Aktivierung bei der Analyse von Passivsätzen im Vergleich zur Analyse von Aktivsätzen gab. Die größere Aktivierung bei der Analyse von Passivsätzen wurde aber nur in der L1 beobachtet. Das heißt, der zerebrale Aktivierungsunterschied zwischen den passiven und den aktiven Sätzen zeigte sich in der L1, aber nicht in der L2. Dieser Unterschied verschwindet, wenn man den Effekt der Aufgaben-Komplexität herausnimmt. In diesem Fall gab es keinen zerebralen Aktivierungsunterschied zwischen der L1 und der L2. Dies deutet an, dass die Spät-Bilingualen im Prinzip eine ähnliche neuronale Basis bei der Analyse der L1 und L2 aufweisen. Die Komplexität der Aufgaben scheint aber die zerebrale Repräsentation der L2 zu beeinflussen, wobei die Komplexität der Aufgaben auch eng mit dem L2-

Sprachniveau sowie dem Kontrast zwischen der L1 und L2 zusammenhängt.

Dieser aufgabenspezifische Effekt findet sich aber nicht nur bei der syntaktischen Verarbeitung sondern auch bei der semantischen. Chee et al. (2001) berichten, dass sich in Abhängigkeit vom Niveau der Aufgabenschwierigkeit ein unterschiedliches Aktivierungsmuster in den linken anterioren frontalen Hirnregionen beobachten ließ. Zum Beispiel zeigte sich bei der Erkennung von semantisch eng verbundenen Paaren ein größeres BOLD-Signal als bei semantisch nicht-eng verbundenen Paaren. Hierbei scheint ebenfalls die Komplexität der Aufgaben mit dem Sprachniveau in einem engen Zusammenhang zu stehen.

Wie bereits diskutiert, deuten die vorliegenden ERP-Ergebnisse ebenfalls an, dass die Komplexität der syntaktischen Aufgaben (d.h. der syntaktische Aufgabentyp) mit dem erreichten Sprachniveau assoziiert sein könnte. Die Tatsache, dass die Spät-Bilingualen mit einem relativ niedrigen Sprachniveau bei der Erkennung von Sätzen, die einen Verstoß gegen Kasusregeln enthielten, keinen P600-Effekt gezeigt haben, könnte damit zusammenhängen, dass die Sätze mit einem Kasusfehler für die Spät-Bilingualen mit einem relativ niedrigen Sprachniveau eine komplexere Analyse erfordern als die Sätze mit falscher Phrasenstruktur. Die Unterschiede in den ERP-Kurven, die sich auf die Komplexität des Satzes beim Sprachverständnis zurückführen lassen, finden sich bereits in der Studie von Müller, King und Kutas (1997). Die Autoren vermuten, dass der Grund für diese Unterschiede bei den ERP-Kurven (z.B. ein langsames negatives Potential) die Belastung des Arbeitsgedächtnisses beim Verstehen der komplexeren Sätze sein könnte. Darüber hinaus könnte man annehmen, dass das Arbeitsgedächtnis der Spät-Bilingualen mit einem relativ niedrigen Sprachniveau bei der Analyse der komplexeren Sätze (z.B. in der Kasusbedingung) mehr belastet wird. Dies spiegelt wiederum das Fehlen des P600-Effekts in der Kasusbedingung und könnte der Grund für die Abwesenheit der Reanalyse der komplexeren Sätze bei den Spät-Bilingualen mit einem relativ niedrigen Sprachniveau sein.

Letztlich weisen die bisherigen neurophysiologischen Studien sowie die vorliegenden ERP-Ergebnisse darauf hin, dass die Komplexität der Aufgabe die zerebrale

Repräsentation sowie die Hirnaktivität beim Sprachverständnis beeinflusst. Dieser Einfluss der Komplexität der Aufgaben hängt vor allem mit dem Sprachniveau zusammen.

### *d) Setzt der implizite Prozess implizites Lernen voraus?*

Mit Hilfe des vorliegenden psycholinguistischen Modells (vgl. Kapitel 6.2.1) habe ich versucht zu erklären, welche Rolle die beiden Faktoren (Erwerbsalter/Sprachniveau) beim Lernvorgang sowie beim Zugriffsprozess auf das linguistische System (mentales Lexikon/mentale Grammatik) spielen. Die Annahme, dass bei den Spät-Bilingualen die syntaktische Analyse mit Hilfe des deklarativen Systems erfolgt (z.B. Ullman, 2005), scheint nach der Meta-Analyse der neurophysiologischen Forschungsergebnisse im Gebiet der erworbenen Aphasie, der spezifischen Sprachentwicklungsstörungen (SSES) sowie der monolingualen bzw. bilingualen Sprachverarbeitung (Ullman 2004, 2005) überzeugend zu sein (für Details, s. Kapitel 2).

Linguistisch gesehen könnte die Rolle des mentalen Lexikons beim initialen L2-Erwerb notwendig sein. Einen Hinweis darauf liefert die Studie von Osterhout et al. (2006). Sie fanden heraus, dass der P600-Effekt im initialen Stadium des L2-Erwerbs nicht auftrat. Statt des P600-Effekts ließ sich der N400-Effekt bei der syntaktischen Analyse beobachten. Das heißt, dass im Anfangsstadium des L2-Erwerbs bei der Analyse der syntaktischen Analyse nur der N400-Effekt auftritt, wohingegen im etwas fortgeschrittenen Stadium des L2-Erwerbs der N400-Effekt verschwindet, dafür aber der P600-Effekt auftritt. Ich vermute, dass diese Ergebnisse nicht nur die Bedeutung des mentalen Lexikons bei den L2-Anfängern herausstellen, sondern auch die Möglichkeit der Benutzung der mentalen Grammatik bei den fortgeschrittenen L2-Lernern andeuten könnte.

In diesem Zusammenhang nehme ich an, dass auf die L2 durch die Automatisierung bzw. durch das Erreichen des Sprachniveaus implizit zugegriffen wird (s. Abbildung 58). Das heißt, obwohl die L2 nicht am Anfang implizit gelernt wird, ändert sich während des wiederholten Lernvorgangs die Art der Speicherung sowie der

Zugriffsvorgang. Wie im Kapitel 6.2.1 ausführlich diskutiert, könnte sich die Art der Speicherung mit zunehmenden Lernvorgängen ändern. Es besteht die Möglichkeit, dass der Vorgang der Speicherung des gelernten grammatischen Wissens mit zunehmender Wiederholung der Reenkodierung des abgelagerten grammatischen Wissens so automatisiert ist, dass das reenkodierte Wissen im prozeduralen Gedächtnissystem gespeichert wird.

Zum Beispiel spiegelt der N400-Effekt bei der syntaktischen Verarbeitung (Osterhout, 2006) wider, dass das grammatische Wissen explizit gelernt worden ist und im mentalen Lexikon gespeichert wurde. Das spätere Auftreten des P600-Effekts deutet aber darauf hin, dass das grammatische Wissen nicht mehr in voller Abhängigkeit vom mentalen Lexikon abrufbar ist sondern zum Teil von der mentalen Grammatik. Daraus schließe ich, dass der implizite Prozess nicht unbedingt implizites Lernen voraussetzt.

Ein Hinweis über diese Annahme findet sich bei der fMRI-Studie von Rose et al. (2007). Ihre Ergebnisse deuten darauf hin, dass das implizite Lernen sowohl mit dem prozeduralen als auch mit dem deklarativen Gedächtnissystem zu tun haben könnte. Weiterhin geht aus der Studie hervor, dass während des impliziten Lernens (z.B. Zahlenreduktionsspiel mit implementierter bzw. versteckter Regel) sowohl die Basalganglien bzw. das Cerebellum als auch der mittlere Temporallappen (d.h. lobus temporalis medius) aktiviert war, wohingegen während des prozeduralen Lernens (z.B. Zahlenreduktionsspiel ohne die versteckte Regel) nur die Basalganglien bzw. das Cerebellum aktiviert war. Diese Dissoziation zwischen dem prozeduralen Lernen und dem impliziten Lernen deutet an, dass am impliziten Lernen der lobus temporalis medius beteiligt ist, wobei diese Hirnregion (lobus temporalis medius) normalerweise mit dem expliziten bzw. deklarativen Gedächtnis assoziiert ist (Rose, 2007; eine ausführliche anatomische Aufteilung des Gedächtnissystems im Gehirn, s. Thompson & Kim, 1996). Dies könnte andeuten, dass das Wissen, das durch das implizite Lernen gewonnen wird, nicht automatisch im prozeduralen Gedächtnis bzw. in der mentalen Grammatik gespeichert ist. Vielmehr scheint es, dass solches durch das implizite Lernen erworbene Wissen sowohl in der mentalen Grammatik als auch im mentalen Lexikon

gespeichert sein könnte. Aufgrund dieser Annahme könnte es zumindest eine Verbindung zwischen der mentalen Grammatik und dem mentalen Lexikon geben.

### *e) Existiert die kritische Phase beim L2-Erwerb?*

Es wurde im Kapitel 6.2 versucht, einen neuen Ansatz zu formulieren, wie die beiden Faktoren (Erwerbsalter/Sprachniveau) anhand des neurolinguistischen Modells dargestellt werden können. Es scheint eine kritische Phase beim L2-Erwerb zu existieren, obwohl einige widersprüchliche Befunde hinsichtlich der kritischen Phase vorliegen und die vorliegenden ERP-Ergebnisse ebenfalls andeuten, dass sowohl das Erwerbsalter als auch das L2-Sprachniveau einen Einfluss auf das ERP-Korrelat der bilingualen Sprachverarbeitung haben. Vielleicht sollte man den Einfluss des Sprachniveaus auf die kortikale Organisation in der L2 nicht unbedingt als Gegenbeweis für die Existenz der kritischen Phase beim L2-Erwerb verstehen. Vielmehr sollte der Einfluss des Sprachniveaus auf die kortikale Organisation in der L2 unabhängig vom Erwerbsalter betrachtet werden. In der Tat kann man den Einfluss des Erwerbsalters auf die kortikale Organisation der L2 unabhängig vom Sprachniveau betrachten, da das Erwerbsalter gewöhnlicherweise mit dem Sprachniveau korreliert. Die Tatsache, dass der Einfluss des erreichten Sprachniveaus auf die kortikale Organisation der L2 unabhängig vom Erwerbsalter beobachtet werden kann, deutet an, dass letztlich das Sprachniveau eine entscheidende Rolle bei der kortikalen Organisation hat. Nicht nur die funktionelle Reorganisation (z.B. Studie von Chee et al. 1999, 2001) sondern auch die strukturelle Reorganisation (z.B. Studie von Mechelli et al, 2004) beim bilingualen Gehirn scheint durch die Erfahrung mit der L2 und somit auch durch das erreichte L2-Sprachniveau Veränderung zu erfahren.



## 6.4 Ausblick

Obwohl inzwischen zahlreiche Befunde darüber vorliegen, wie die L1 und L2 im Gehirn repräsentiert sind, bleiben viele Fragen offen, nicht nur deswegen, weil viele bisherige Befunde widersprüchlich erscheinen, sondern auch deswegen, weil die linguistische Forschung noch viele Fragen zu klären hat. Zum Beispiel, in welcher Weise ruft das Lernen einer Zweitsprache die zerebrale Repräsentation der Syntax in der Zweitsprache hervor? Oder erscheint die durch das Lernen der Zweitsprache verursachte neuronale Änderung je nach syntaktischer Kategorie unterschiedlich? Da gerade bei der syntaktischen Verarbeitung häufig der Unterschied zwischen der L1 und der L2 beobachtet wird, unabhängig davon, ob sich der Unterschied auf das Erwerbssalter oder das erreichte Sprachniveau zurückführen lässt, sollte man den syntaktischen Prozess noch ausführlicher untersuchen. Man könnte die syntaktische Aufgabe systematisch manipulieren, je nach der Komplexität der Aufgaben (z.B. der syntaktischen Struktur) und dem Kontrast zwischen der L1- und L2-Syntax, usw.

Darüber hinaus wäre eine Längsschnittstudie über die Entwicklung von bilingualen Kindern, die unmittelbar an der Grenze der kritischen Phase liegen, sicherlich aufschlussreich. Es wäre denkbar, mit Hilfe von EEG-Untersuchungen die Entwicklung der Grammatik in beiden Sprachen (L1/L2) zu beobachten. Dabei wäre von Interesse, ob sich die Syntax in der L1 und der L2 unterschiedlich entwickelt. Wenn unterschiedliche grammatische Entwicklungen zwischen der L1 und L2 beobachtet würden, könnte man z.B. anhand der kontrastiven Grammatik in der L1 und der L2 weiter herausfinden, in welchen syntaktischen Subkategorien sich die unterschiedlichen grammatischen Entwicklungen feststellen lassen und weshalb dieser Unterschied aufgetreten ist.

Die Frage, ob der Lernvorgang bzw. Lernprozess die zerebrale Repräsentation der L1 und L2 beeinflusst, könnte dabei ein interessantes Forschungsthema werden. Die theoretischen Überlegungen zu dieser Frage habe ich anhand des Modells bereits behandelt. Nach meiner Auffassung sind die ERP-Ergebnisse von Osterhout (2005, 2006) im Zusammenhang mit dieser Frage gut interpretierbar. Die ERP-Ergebnisse von Osterhout (2006) weisen darauf hin, dass bereits das einmonatige Lernen einer

Fremdsprache, die vorher nie gelernt wurde, zu einer neuronalen Änderung führt. In dieser Studie zeigten die Spät-Bilingualen (in diesem Fall L2-Anfänger) ein interessantes Entwicklungsmuster beim Lernen der Syntax. Dieses Muster reflektiert die neuronale Änderung, die vom Lernprozess abhängt. Es wurde in der Studie deutlich, dass die syntaktische Analyse durch die lexikalisch-semantiche Analyse erfolgte. Dies änderte sich aber mit zunehmendem Lernprozess bzw. erhöhtem Sprachniveau. Vielleicht wäre es für die zukünftige Forschung interessant zu untersuchen, ob sich bei bilingualen Kindern dasselbe Entwicklungsmuster (d.h. N400 --> P600) beim Lernen der Syntax zeigt wie bei den L2-Anfängern. Gemäß des vorgestellten psycholinguistischen Modells wäre zu erwarten, dass bei bilingualen Kindern von Anfang an die P600 vorkommen könnte, weil sie das grammatische Wissen implizit erwerben und dieses direkt in der mentalen Grammatik speichern.

Über die Untersuchung der Hirnregionen hinaus, die der bilingualen Sprachentwicklung (sowohl im Kindes- als auch Erwachsenenalter) zugrunde liegen, könnte man mit der EEG-Kohärenzanalyse die Entwicklung des neuronalen Netzwerks untersuchen. Dabei müsste untersucht werden, ob sich das neuronale Netzwerk unterschiedlich entwickelt, je nach Lernerfahrung bzw. Lernprozess. Zum Beispiel wäre es interessant zu überprüfen, ob das Erreichen eines hohen L2-Sprachniveaus die Zusammenarbeit der verschiedenen Hirnregionen beeinflusst.

Wünschenswert ist es, neben elektrophysiologischen Untersuchungen mit Hilfe bildgebender Verfahren die funktionelle Änderung der zerebralen Repräsentation in der L1 und L2 während des syntaktischen Lernens und während der Entwicklung des grammatischen Wissens zu untersuchen. Ebenso wären Forschungsarbeiten von Bedeutung, die nicht nur das bilinguale Gehirn während der Entwicklung der L2 (sowohl bei bilingualen Kindern als auch bilingualen Erwachsenen), sondern auch die bereits entwickelten sprachlich relevanten neuronalen Netzwerke des bilingualen Gehirns untersuchen. Neben den normalen bilingualen Sprechern bzw. L2-Lernern könnte die Untersuchung der Hirnrepräsentation von bilingualen Aphasikern ebenfalls wichtig sein, da die bisherigen neurophysiologischen Daten über bilinguale Aphasiker

## 6. Diskussion

(z.B. Fabbro, 2001a) bereits vermuten lassen, wie unterschiedlich in Abhängigkeit vom Erwerbssalter, Sprachniveau oder Kontrast der beiden Sprachen (L1/L2) die Erst- und Zweitsprache beeinträchtigt wird.

## 7. Literaturverzeichnis

- Abutalebi, J., Cappa, S.F., Perani, D. (2001). The bilingual brain as revealed by functional neuroimaging. *Bilingualism: Language and Cognition*, 4: 179-190.
- Bille, J. & Schlegel, W. (1999). *Medizinische Physik: Grundlagen*. Berlin: Springer-Verlag.
- Birbaumer, N. & Schmidt, R.F. (1999). *Biologische Psychologie*. Berlin: Springer-Verlag.
- Birdsong, D. (1999, Hrsg.). *Second language acquisition and the critical period hypothesis*. Mahwah: Lawrence Erlbaum Associates.
- Birdsong, D. (2006). Age and second language acquisition and processing: A selective Overview. *Language Learning*, 56: 9-38.
- Bortz, J. (2005). *Statistik*. Berlin: Springer.
- Brown, C.M. & Hagoort, P. (2000, Hrsg.). *The neurocognition of language*. Oxford: Oxford University Press.
- Bußman, H. (1990). *Lexikon der Sprachwissenschaft*. Stuttgart: Alfred Kroner Verlag.
- Chee, M.W.L., Tan, E.W.L. & Thiel, T. (1999). Mandarin and English single word processing studied with functional magnetic resonance imaging. *The Journal of Neuroscience*, 15: 3050-3056.
- Chee, M.W.L., Hon, N., Lee, H.L. & Soon C.S. (2001). Relative language proficiency modulates BOLD signal change when bilinguals perform semantic judgments. *NeuroImage*, 13: 1155-1163.
- Chee, M.W.L., Soon, C.S., Lee, H.L. & Pallier C. (2004). Left insula activation: a marker for language attainment in bilinguals. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA (PNAS)*, 19: 15265-15270.
- Cooper, R., Osselson, J.W. & Shaw, J.C. (1984). *Elektroenzephalographie: Technik und Methoden*. Stuttgart: Gustav Fischer Verlag.
- Dehaene, S., Dupoux, E., Mehler, J., Cohen, L., Paulesu, E., Perani, D., De Moortele, P-F., Lehericy, S & LeBihan, D. (1997). Anatomical Variability in the cortical representation of language. *NeuroReport*, 8: 3890-3815.
- Dijkstra, T. & Van Heuven, W.J.B. (1998). The BIA-model and bilingual word recognition. In: J. Grainger & A.M. Jacobs (Hrsg.). *Localist connection approaches to human cognition*. Hove: LEA, pp. 189-225.
- Dijkstra, T. & Van Heuven, W.J.B. (2002). The architecture of the bilingual word recognition system: From identification to decision. *Bilingualism: Language and Cognition*, 5: 175-197.

- Dodel, S., Golestani, N., Pallier, C., Elkouby, V., De Bihan, L., Poline, J-B. (2005). Condition-dependent functional connectivity: syntax network in bilinguals. *Philosophical transactions of the royal society*, 360: 921-935.
- Fabbro, F. (1999). *The neurolinguistics of bilingualism*. Hove: Psychology Press.
- Fabbro, F. (2001a). The bilingual brain: Bilingual aphasia. *Brain and Language*, 79: 201-210.
- Fabbro, F. (2001b). The bilingual brain: Cerebral representation of language. *Brain and Language*, 79: 211-222.
- Faust, B. (1984). *Manuskript zur Sprachlehrforschung: Der C-Test. Theoretische Überlegungen und Analysen zu einem neuen Testverfahren*. Heidelberg: Julius Groos Verlag.
- Federmeier, K. D., Klunder R. & Kutas, M. (2003). Aligning linguistic and brain views on language comprehension. In: A. Zani & A.M. Proverbio (Hrsg.). *The cognitive electrophysiology of mind and brain*. San Diego: Academic Press.
- French, R.M. & Jacquet, M. (2004). Understanding bilingual memory: models and data. *Trends in Cognitive Sciences*, 8: 87-93.
- Friederici, A.D., Hahne, A. & Saddy, D. (2002). Distinct neurophysiological patterns reflection aspects of syntactic complexity and syntactic repair. *Journal of psycholinguistic research*, 31: 45-63.
- Friederici, A.D., Steinhauer, K. & Pfeifer, E. (2002). Brain signatures of artificial language processing: Evidence challenging the critical period hypothesis. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA (PNAS)*, 8: 529-534.
- Friederici A. (2003). Towards a neural basis of auditory sentence processing. *Trends in Cognitive Sciences*, 6: 78-84.
- Fromkin, V., Krashen, S., Curtiss, S., Rigler, D., & Rigler, M. (1974). The development of language in Genie: a case of language acquisition beyond the „critical period“. *Brain and Language*, 1: 81-107.
- Golestani, N., Alario, F.-X., Meriaux, S., Bihan, D.L., Dehaene, S., Pallier, C. (2006). Syntax production in bilinguals. *Neuropsychologia*, 44: 1029-1040.
- Hagemann, D. (1999). *Tonische Asymmetrien corticaler Aktiviertheit und affektive Dispositionen: eine empirische Untersuchung latenter State- und Traitvariablen*. Berlin: Logos-Verlag.
- Hahne, A. & Friederici, A.D. (2001). Processing a second language: late learner's comprehension mechanism as revealed by event-related brain potentials. *Bilingualism: Language and Cognition*, 4: 123-141.
- Hahne, A. (2001). What's different in second language processing? Evidence from event-related brain potentials. *Journal of Psycholinguistic Research*, 30: 251-266.

- Hernandez, A.E., Martinez, A. & Kohnert, K. (2000). In search of the language switch: An fMRI Study of picture naming in Spanish-English Bilinguals. *Brain and language*, 73: 421-431.
- Hernandez, A.E., Dapretto, M., Mazziotta, J. & Bookheimer, S. (2001). Language Switching and language representation in Spanish-English Bilinguals: An fMRI study. *NeuroImage*, 14: 510-520.
- Hoppe, W., Lohmann, W., Markl, H. & Ziegler H. (1982). *Biophysics*. Berlin: Springer-Verlag.
- Hyltenstam, K. & Abrahamson, N. (2003). Maturational Constraints in SLA. In: C.J. Doughty & M.H. Long (Hrsg.), *The handbook of second language acquisition*. Oxford: Blackwell Publishing, pp. 539-599.
- Illes, J., Francis, W.S., Desmond, J.E., Gabrieli, J.D.E., Glover, G.H., Podrack, R. & Lee, C.J. (1999). Convergent cortical representation of semantic processing in bilinguals. *Brain and Language*, 70: 347-363.
- Indefrey, P. (2006). A Meta-analysis of hemodynamic studies on first and second language processing: which suggested differences can we trust and what they mean? *Language Learning*, 56: 279-304.
- Jasper, H.H. (1958). The ten twenty electrode system of the international federation. *Electroencephalography and clinical neurophysiology*, 10: 371-375.
- Johnson, J.S. & Newport, E.L. (1989). Critical period effects in second language acquisition: The influence of maturational state in the acquisition of English as a second language. *Cognitive Psychology*, 21: 60-99.
- Kandel, E.R., Schwartz, J.H. & Jessel, T.M. (2000). *Principles of neural science*. 4. Aufl. New York: McGraw-Hill.
- Kim, K.H.S., Relkin, N.R., Lee, K-M & Hirsch, J. (1997). Distinct cortical areas associated with native and second language. *Nature*, 388: 171-174.
- Kim, S.K. (2003) *Neurolinguistische Aspekte des Bilingualismus*. Unveröffentlichte Magisterarbeit im Fach Klinische Linguistik an der Fakultät für Linguistik und Literaturwissenschaft der Universität Bielefeld.
- Kim, S.K. & Müller, H.M. (2007). Factors for bilingual brain organization: an ERP study with Korean-German bilinguals. *Neuro-Visionen*, 4: 219-221. Paderborn: Ferdinand Schöningh.
- Klein, E., Milner, B., Zatorre, R.J., Meyer, E. & Evans, A. (1995). The neural substrates underlying word generation: A bilingual functional imaging study. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA (PNAS)*, 92: 2899-2903.
- Klein, D, Milner, B., Zatorre, R.J., Zhao, V. & Nikelski, J. (1999). Cerebral organization in bilinguals: A PET study of Chinese-English verb generation. *NeuroReport*, 10:

2841-2846.

- Krashen, S. (1973). Lateralization, language learning and the critical period: some new evidence. *Language Learning*, 23: 63-74.
- Kroll, J.F. & Stewart, E. (1994). Category interference in translation and picture naming: Evidence for asymmetric connections between bilingual memory representations. *Journal of memory and language*, 33: 149-174.
- Kutas, M. & Hillyard, S.A. (1984). Reading senseless sentences: Brain potentials reflect semantic anomaly. *Science*, 207: 203-205.
- Lenneberg, E.H. (1967). *The biological foundation of language*. New York: John Wiley & Sons.
- Levelt, W.J.M. (1989). *Speaking: From intention to articulation*. Cambridge: MIT Press
- Levelt, W.J.M., Roelofs, A. & Meyer, A. S. (1999). A theory of lexical access in speech production. *Behavioral and Brain Science*, 22: 1-38.
- Luck, S. J. (2005). *An Introduction to the event-related potential technique*. Cambridge: MIT Press.
- Long, D. (1990). Maturation constraints on language development. *Studies of the Second Language Acquisition*, 12: 251-285.
- Marian, V., Spivey, M. & Hirsch, J. (2003). Shared and separate system in bilingual language processing: Converging evidence from eyetracking and brain imaging. *Brain and Language*, 86: 70-82.
- Mechelli, A., Crinion, J.T., Noppeney, J., Frackowiak, R.S. & Price, C.J. (2004). Structural plasticity in the bilingual brain. *Nature*, 431: 757.
- McLaughlin, J. Osterhout, L. & Kim A. (2004). Neural correlates of second-language word meaning: Minimal instruction process rapid change. *Nature Neuroscience*, 7: 703-704.
- Moreno, E.M. & Kutas, M (2005). Processing semantic anomalies in two languages: an electrophysiological exploration in both languages of Spanish-English bilinguals. *Cognitive Brain Research*, 22: 205-220.
- Müller, H.M., King, J.W. & Kutas, M. (1997). Event-related potentials elicited by spoken relative clauses. *Cognitive Brain Research*, 5: 193-203.
- Müller, H.M. & Weiss, S. (2002). Neurobiologie der Sprache: Experimentelle Neurolinguistik. In: H.M. Müller (Hrsg.). *Arbeitsbuch Linguistik*. Stuttgart: Uni-Taschenbuch, pp. 406-422.
- Müller, H.M. (2003a). Neurobiologische Aspekte des Fremdsprachenlernens. *Fremdsprachen Lehren und Lernen*, 32: 167-177.
- Müller, H.M. (2003b). Neurobiologische Grundlagen der Sprachfähigkeit. In: G. Rickheit, T. Herrmann, & W. Deutsch (Hrsg.). *Psycholinguistik: Ein internationales*

- Handbuch*. Berlin: Walter de Gruyter, pp. 57-80.
- Neville, H.J., Bavelier, D., Corina, D. Rauschecker, J., Karni, A., Lalwani, A., Braun, A., Clark, V., Jezzard, P. & Turner, R. (1998). Cerebral organization for language in deaf and hearing subjects: Biological constraints and effects of experience. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA (PNAS)*, 95: 922-929.
- Newmann, A.J. & Bavelier D., Corina, D. Jezzard, P. & Neville, H.J. (2001). A critical period for right hemisphere recruitment in American Sign Language processing. *Nature Neuroscience*, 5: 76-80.
- Newport, E.L. (1990). Maturation constraints on language learning. *Cognitive Science*, 14: 11-28.
- Niedermeyer, E. & Da Silva. F. L. (2005). *Electroencephalography: Basic principles, clinical application, and related fields*. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins.
- Oldfield, R.C. (1971). The assessment and analysis of handedness: the Edinburgh inventory. *Neuropsychologia*, 9: 97-113.
- Osterhout, L. & Holcomb, P.J. (1982). Event-related brain potentials elicited by syntactic anomaly. *Journal of Memory and Language*, 31: 785-806.
- Osterhout, L., McLaughlin, J., Kim, A., Geenwald, R., Inoue, K (2004). Sentences in the brain: Event-related potentials as real-time reflections of sentence comprehension and language learning. In: M. Carreiras & C.E. Jr. Clifton (Hrsg.), *The on-line study of sentence comprehension: Eyetracking, ERP, and beyond*. New York: Psychology Press, pp. 271-308.
- Osterhout, L. (2005). What the brain's electrical activity can tell us about language processing and language learning. Kongresspaper, *International Symposium of Communication skills of Intention*. Kyushu University.
- Osterhout, L. McLaughlin, J. & Pitkänen, I. (2006). Novice Learners, Longitudinal Designs, and Event-Related Potentials: Means for exploring the neurocognition of second language acquisition. *Language Learning*, 56: 199-230.
- Oyama (1982). A sensitive period for the acquisition of a nonnative phonological system. In: S.D. Krashen (Hrsg.). *Child-adult differences in second language acquisition*. Rowley, Mass.: Newbury House, pp. 20-38.
- Paradis M. (2004). Implicit and explicit language processes. In: M. Paradis (Hrsg.). *A neurolinguistic theory of bilingualism*. Amsterdam: John Benjamins B.V., pp. 33-61.
- Penfield, W. & Roberts, L. (1959). *Speech and Brain-Mechanisms*. Princeton: Princeton University Press
- Perani, D., Dehaene, S., Grassi, F., Cohen, L., Cappa, S.F., Dupoux, E., Fazio, F. & Mehler J. (1996). Brain processing of native and foreign languages. *NeuroReport*, 7: 2439-2444.



## 7. Literaturverzeichnis

- Perani, D., Paulesu, E., Galles, N.S., Dupoux E., Dehaene, S., Bettinardi, V., Cappa, S.F., Fazio, F. & Mehler J. (1998). The bilingual brain: Proficiency and age acquisition of the second language. *Brain*, 121: 1841-1852.
- Perani, D., Abutalebi, J., Paulesu, E. Brambati, S., Scifo, P., Cappa, S.F. & Fazio, F. (2003). The role of age of acquisition and language usage in early, high-proficient bilinguals: An fMRI study during verbal fluency. *Human Brain Mapping*, 19: 170-182.
- Pinker. S. (2000). *The language instinct: How the mind creates language*. New York: Harper Collins Publishers.
- Pritzel, M., Brand, M., & Markowitsch, H.J. (2003). *Gehirn und Verhalten*. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag.
- Proverbio, A.M. & Zani, A. (2003). Electromagnetic manifestations of mind and brain. In: A. Zani & A.M. Proverbio (Hrsg.). *The cognitive electrophysiology of mind and brain*. San Diego: Academic Press.
- Rickheit, G. & Strohner, H. (1993). *Grundlagen der kognitiven Sprachverarbeitung*. Tübingen: Francke Verlag.
- Rose, M., Haider, H., Weiller, C. & Büchel, C. (2007). The relevance of the nature of learned associations for the differentiation of human memory systems. *Learning and Memory*, 31, 145-152.
- Rösler, F. (1982). *Hirnelektrische Korrelate kognitiver Prozesse*. Berlin: Springer.
- Rösler, F., Röder, B & Streb, J. (2004). Psychophysiologie semantischer und syntaktischer Verarbeitungsprozesse. In: H.M. Müller & G. Rickheit (Hrsg.). *Neurokognition der Sprache*. Tübingen: Stauffenburg Verlag, pp. 7-29.
- Rugg, M.D. & Coles, M.G.H. (1995). *Electrophysiology of mind*. Oxford: Oxford Psychology Series No. 25.
- Sakai, K.L., Miura, K, Narafu, N. & Muraishi, Y. (2004). Correlated functional changes of the prefrontal cortex in twins induced by classroom education of second language. *Cerebral Cortex*, 14: 1233-1239.
- Schandy, R. (2003). *Lehrbuch Psychophysiologie*. Weinheim: Beltz-Verlag.
- Schmidt, R.F. & Schaible, H-G. (2001). *Neuro- und Sinnesphysiologie*. Heidelberg: Springer-Verlag.
- Schmidt, R.F., Lang, F., Thews, G. (2005). *Physiologie des Menschen*. Heidelberg: Springer-Verlag.
- Singelton, D. & Ryan, L. (2004). *Language acquisition: The age factor*. Clevedon: Multilingual Matters.
- Speckmann, E-J. (1981). *Einführung in die Neurophysiologie*. Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft.

- Tatsumo, Y. & Sakai, K.L. (2005). Language-related activations in the left prefrontal regions are differentially modulated by age, proficiency, and task demands. *The Journal of Neuroscience*, 16: 1637-1644.
- Thompson, R.F. & Kim, J.J. (1996). Memory systems in the brain and localization of a memory. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA (PNAS)*, 93: 13438-13444.
- Tschirner, E. (2001). Kompetenz, Wissen, mentale Prozesse: Zur Rolle der Grammatik im Fremdsprachenunterricht. In: H. Funk & M. Koenig (Hrsg.). *Kommunikative Fremdsprachendidaktik: Theorie und Praxis in Deutsch als Fremdsprache*. München: Iudicium, pp. 106-125.
- Ullman M. T. (2001). The neural basis of lexicon and grammar in first and second language: The declarative/procedural model. *Bilingualism: Language and Cognition*, 4: 105-122.
- Ullman M. T. (2004). Contributions of memory circuits to language: the declarative/procedural model. *Cognition*, 92: 231-270.
- Ullman M. T. (2005). A Cognitive Neuroscience Perspective on Second Language Acquisition: The Declarative/Procedural Model. In: C. Sanz (Hrsg.). *Mind and context in Adult SLA: Methods, Theory, and Practice*. Washington: Georgetown University Press, pp. 141-178.
- Van Petten, C. & Luka, B.J. (2006). Neural localization of semantic context effects in electromagnetic and hemodynamic studies. *Brain and Language*, 97: 279-293.
- Vingerhoets, G., Borsel, J., Tesink, C., Noort, M., Deblaere, K., Seurinck, R., Vandemaele, P. & Achten, E. (2003). Multilingualism: an fMRI study. *NeuroImage*, 20: 2181-2196.
- Wartenburger, I., Heekeren, H.R., Abutalebi, J., Cappa, S.F., Villringer, A. & Perani, D. (2003). Early setting of grammatical processing in the bilingual brain. *Neuron*, 37: 159-170.
- Weber-Fox, C.M. & Neville, H.J. (1996). Maturational constraints on functional specializations for language processing: ERP and Behavioral Evidence in Bilingual Speakers, *Journal of Cognitive Neuroscience*, 8: 231-256.
- Weiss, S. & Müller, H.M. (2003). The contribution of EEG coherence to the investigation of language. *Brain and Language*, 85: 325-343.
- Yeni-Komshian, G.H., Flege, J.E. & Liu, S. (2000). Pronunciation proficiency in the first and second languages of Korean-English bilinguals. *Bilingualism: Language and Cognition*, 3: 131-149.
- Yetkin, O., Yetkin, F.Z., Haughton, V.M. & Cox, R.W. (1996). Use of functional MR to map language in multilingual volunteers. *American Journal of Neuroradiology*, 17: 473-477.

## 7. Literaturverzeichnis

Yokoyama, S., Okamoto, H., Miyamoto, T., Yoshimoto, K., Kim, J., Iwata, K., Jeong, H., Uchida, S., Ikuta, N., Sassa, Y., Nakamura, W., Hoire, K., Sato, S. & Kawashima, R. (2006). Cortical activation in the processing of passive sentences in L1 and L2: An fMRI study. *NeuroImage*, 30: 570-579.

Zschocke, S. (2002). *Klinische Elektroenzephalographie*. Berlin: Springer-Verlag.