



universität
wien

DISSERTATION

Titel der Dissertation

„Neuronale Aspekte der Flexion:
Zwei ERP-Studien zur Deutschen
Pluralmorphologie“

Verfasser

Mag. phil. Sebastian Friedrich

angestrebter akademischer Grad

Doktor der Philosophie (Dr. phil.)

Wien, im November 2009

Studienkennzahl lt. Studienblatt: A 092 298
Dissertationsgebiet lt. Studienblatt: Psychologie
Betreuer: Univ.-Prof. Dr. Herbert Bauer

INHALTSVERZEICHNIS

VORWORT	1
EINLEITUNG	1
I. THEORETISCHER TEIL	
1. LINGUISTIK: Natürliche Morphologie	3
1.1. Systemunabhängige Prinzipien	3
1.2. Phonologische und morphologische Repräsentationsformen	5
1.2.1. Schema	5
1.2.2. Analogie	6
1.2.3. (Regel)Produktivität	7
1.3. Deutsche Pluralmorphologie	8
1.3.1. Signalstärken Deutscher Pluralmarkierungen	9
2. ELEKTROENZEPHALOGRAPHIE: Analyse und Quellenlokalisierung	12
2.1. Arten des EEGs / Anwendungsbereiche	12
2.2. Unterscheidung	12
2.3. Analysetechnik	13
2.3.1. Artefakte	13
2.3.2. Frequenzen	13
2.3.3. Averagen / Mapping	13
2.4. Quellenlokalisierung – sLORETA	14
2.4.1. Forward Solution und Inverse Solution	14
2.4.2. sLORETA – Neuroanatomische Annahmen	15
II. EMPIRISCHER TEIL	
1. STUDIE 1: Lexical Judgement	17
2. STUDIE 2: Active Formation	25
3. ZUSAMMENFASSUNG DER RESULTATE	35
3.1. Verhaltensdaten	35
3.2. ERP-Wellenformen und Topographie	35
3.3. Quellenlokalisierung	37
4. DISKUSSION / VERGLEICH	38
4.1. Aktiv versus Passiv	38
4.2. Plural- versus Singularbildung versus Lesen	39
4.3. Korrekt versus Inkorrekt	39
4.4. Frequent versus Infrequent	40
4.5. Flexion versus Nullflexion	41
LITERATUR	42
APPENDIX A: Stimulusmaterial Studie 1	46
APPENDIX B: Stimulusmaterial Studie 2	49
APPENDIX C: Kurzbeschreibung Deutsch	53
APPENDIX D: Kurzbeschreibung Englisch	54
APPENDIX E: Lebenslauf	56

Vorwort

An dieser Stelle möchte Ich mich herzlich bei Herrn Professor Dr. Herbert Bauer für die Ermöglichung und engagierte Betreuung dieser Arbeit bedanken. Dank gilt natürlich auch jenen Kolleginnen und Kollegen, die mich während der Planung der Studien und vor allem während der Datenerhebung unterstützt haben. Für die hilfreiche Diskussion und Anregungen zur Auswahl der Stimuli bedanke Ich mich bei Herrn Professor Dr. Wolfgang U. Dressler. Insbesondere möchte Ich hier meinen Eltern und meiner Freundin, aber auch meinen Freunden, für ihren kompromisslosen Beistand während der gesamten Dauer dieses Vorhabens meinen aufrichtigen Dank aussprechen. Studie 1 wurde durch ein Forschungsstipendium F-117 B der Universität Wien gefördert.

Einleitung

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit der Untersuchung neuronaler Prozesse, die während der Verarbeitung sprachlicher Aufgaben im Gehirn entstehen. Zu diesem Zweck wurden in zwei Studien ereigniskorrelierte Potentiale von insgesamt fünfunddreißig Versuchspersonen aufgezeichnet, die die Datengrundlage der hier vorgestellten Arbeit bilden. Beide Studien bewegen sich im Kontext der Flexionsmorphologie, die sich grundsätzlich mit der Kombination und Manipulation flexionaler Merkmale beschäftigt. Vorgänge also, die Änderungen der semantischen Merkmale eines Wortes durch Änderungen auf formaler Ebene bewirken. Ziel der Arbeit war, mittels der Erfassung neurophysiologischer Daten, grundlegende Verarbeitungsponenten und -areale der Flexion zu beobachten, um das Wissen über neuronale Korrelate elementarer linguistischer Prozesse zu erweitern.

Im ersten Teil der Arbeit wird auf den theoretischen Hintergrund eingegangen, der sich aus linguistischer Theorie und einer knapp gehaltenen Vorstellung der Elektroenzephalographie (EEG) zusammensetzt. Zuerst werden auf Basis der Natürlichkeitstheorie und Natürlichen Morphologie sprachunabhängige, universale Prinzipien behandelt, die entscheidenden Einfluss auf die Qualität morphologischer Symbolisierungen ausüben bzw. anhand derer Erklärungsgrundlagen für die unterschiedlichen Markiertheitswerte grammatischer Kodierungen formuliert werden können. Wichtig für den hier fokussierten, neurolinguistischen Kontext, ist der Umstand, daß innerhalb der Natürlichkeitstheorie neurobiologische und umweltbedingte Faktoren berücksichtigt werden, und somit eine Verbindung zu neurophysiologischen Konzepten ermöglicht wird. Anschließend werden systemspezifische,

morphologische und phonologische Repräsentationsformen besprochen, die sich mit der mentalen Organisation grammatischer Funktionen auseinandersetzen. Danach werden Annahmen zur Deutschen Pluralmorphologie vorgestellt, die beispielsweise auf Unterschiede in der Signalvalidität Deutscher Pluralmorpheme eingehen, aber auch auf die grundlegenden Konstruktionsmöglichkeiten, mit denen im Deutschen die Funktion Plural ausgedrückt werden kann.

Im Abschnitt zur Elektroenzephalographie, werden eingangs die unterschiedlichen Arten des EEGs angesprochen und im Anschluss die Methode der ereigniskorrelierten Potentiale, die für die vorliegende Arbeit zentral ist, näher behandelt. Zusätzlich wird auf die wichtigsten Analyseschritte und die Thematik der Quellenlokalisierung eingegangen, die für das Verständnis des experimentellen Teils der Arbeit wesentlich sind.

Der empirische Teil der Arbeit, stellt die zwei experimentellen Studien zur Pluralmorphologie vor, wovon sich die erste mit der lexikalischen Beurteilung korrekter und inkorrektur Deutscher Plurale beschäftigt, während die zweite, die aktive Bildung Deutscher Singulare und Plurale untersucht. In beiden Studien werden, nach der jeweiligen Einleitung, die Methoden behandelt, d.h. es werden Versuchspersonen, Stimulusmaterial, Versuchsablauf, Datengewinnung und Datenanalyse vorgestellt. Darauf folgend werden die Resultate der Studien präsentiert, gegliedert in die Punkte Verhaltensdaten, ereigniskorrelierte Potentiale (zeitliche Struktur, Topographie) und Quellenlokalisierung. Den jeweiligen Abschluss bildet die Interpretation und Diskussion der gewonnenen Daten.

Zum Zweck der Übersichtlichkeit folgt auf die Präsentation der beiden Studien, in ihrer zur Publikation gedachten Form, zuerst eine Zusammenfassung aller Resultate und danach eine abschließende Diskussion, die die gesammelten Ergebnisse beider Studien interpretiert und miteinander vergleicht.

I. THEORETISCHER TEIL

1. LINGUISTIK: Natürliche Morphologie

Ziel der Natürlichen Morphologie ist es, aufbauend auf die Natürliche Phonologie, vor dem Hintergrund der perzeptuellen Grundausstattung des Menschen, eine funktionale Präferenztheorie für die Symbolisierung grammatischer Phänomene bereitzustellen. In der Natürlichen Morphologie wird diesbezüglich von allgemeinen Prinzipien ausgegangen, die die Entwicklung solcher Form-Funktions-Relationen beeinflussen:

- Systemunabhängige Prinzipien
- Sprachspezifische Prinzipien

1.1. Systemunabhängige Prinzipien

Grundlegend in der Natürliche Morphologie ist, daß Markiertheitswerte (Präferenzen) extern über das Verhalten (als Reaktionen auf Umwelteinflüsse), sowie die (neuro)biologische Ausstattung des Sprachbenutzers definiert werden. Ausgehend von der perzeptuellen Grundkonstitution des Menschen lassen sich Erklärungsgrundlagen ableiten, beispielsweise warum manche Formen produktiver als andere sind (s. Dressler 1999), d.h. (morphologische) Markiertheit kann als Funktion menschlicher Perzeption dargestellt werden (s. Mayerthaler in Leitmotifs 1987: 50).

Für Sprachsysteme ergibt sich somit ein direkter Funktionszusammenhang, da perzeptuelle Faktoren entscheidend für die Natürlichkeit bestimmter sprachlicher Einheiten sind, wobei Faktoren dieser Art primär auf die Entwicklung der Phonologie wirken, und erst sekundär auf die der Morphologie, Morphonologie.

a) Prinzip der konstruktionellen Ikonizität / Diagrammatizität: Mit großer Frequenzwahrscheinlichkeit ist der Default die unmarkierte Kodierung.

Das Prinzip der konstruktionellen Ikonizität hat biologische Grundlagen, d.h. das Gehirn präferiert ikonische Reize aufgrund neuronaler Faktoren (s. Karpf 1990).

- b) Prinzip der uniformen Kodierung: Uniform ist eine Symbolisierung dann, wenn zum Ausdruck einer Funktion nur eine Form gewählt wird, also im optimalen Fall das Ideal einer 1:1 – Relation besteht. Wie (a) durch biologisch gegebene Präferenzen des menschlichen Gehirns begründet, i.e. durch perzeptuelle Aspekte der Objektkonstanz.
- c) Prinzip der Transparenz: *“Eine Form F ist transparent, wenn F das Fregeanische Prinzip der Kompositionalität berücksichtigt, und wenn F morphotaktisch transparent ist, optimalerweise als Zusammenfall von Silben- und Formativgrenze”, bzw. ist ein Paradigma transparent, wenn es sich “durch monofunktionale Operationen konstituiert bzw. nur monofunktionale Flexive / (Derivative) aufweist (Mayerthaler 1981: 35).*

Im Zusammenhang mit der deutschen Pluralmorphologie, ist die Markiertheit der jeweiligen morphologischen Symbolisierung (konstruktionelle Ikonizität) mit diesen Faktoren in Verbindung zu bringen (s. Mayerthaler 1981). Diesbezüglich postuliert Mayerthaler die folgende Ikonizitätshierarchie:

1. Maximal ikonisch, wenn konstruktioneller Ikonismus vorliegt und die Funktion segmental-additiv kodiert ist. (Tag – Tag-e, Frau – Frau-en, Pizza – Pizza-s)
2. Weniger als maximal ikonisch, wenn konstruktioneller Ikonismus vorliegt und die Funktion modulatorisch-additiv kodiert ist. (Schatz – Sch-ä-tz-e, Buch – B-ü-ch-er)
3. Minimal ikonisch, wenn konstruktioneller Ikonismus vorliegt und die Funktion nur modulatorisch kodiert ist. (Bruder – Br-ü-der, Tochter – T-ö-chter)
4. Nicht-ikonisch, wenn sich die Asymmetrie der semantischen Markiertheitswerte nicht auf eine Asymmetrie der Kodierung überträgt. (Kellner – Kellner, Mittel – Mittel)
5. Kontraikonisch, wenn eine Asymmetrie der semantischen Markiertheitswerte auf eine inverse Asymmetrie der Symbolisierung übertragen wird. (fränk. hond – hon, bärk – bär)

1.2. Phonologische und morphologische Repräsentationsformen

“ The main significance of the phoneme in lexicon and grammar is that lexical entries and morphological rules alike are spelled in terms of phonemes. What one does not perceive, one does not represent in memory, or invent a rule for (Stampe 1984: 296).”

Fundament für die Besprechung der unterschiedlichen phonologischen / morphologischen Repräsentationsformen, bildet das in Dressler & Ladanyi (2000) beschriebene Natürlichkeitsmorphologische System, das vor einem graduellen, funktionalen Hintergrund drei Komponenten zur morphologischen Repräsentation / Produktion umfasst (s. Abb. 1).

1.2.1. Schema

Schemata enthalten eine kleine Zahl von Elementen und Relationen, die in einer großen Anzahl von Wortformen repräsentiert sind (Köpcke 1993). Menschliches Verhalten orientiert sich an Mustern, die die Grundlage für Entscheidungen, wie etwa der Klassifikation einer Wortform als Singular / Plural, bilden. Diese Entscheidungen basieren auf perzeptuellen Charakteristika, nämlich die einer gegebenen phonotaktischen Gestalt, sowie auf sprecherbezogene Eigenschaften. Ein Schema definiert sich als ausdrucksseitige Gestalt, die eine Regelmäßigkeit – in Form eines Konzepts, hier das der Mehrzähligkeit – innehat, und diese wiederholt ausdrucksseitig repräsentiert (s. Dressler 2000). Schemata sind demnach dynamische Strukturen, die mit unterschiedlich großer Probabilität informative Schlüsse auf die durch sie signalisierte Funktion bereitstellen.

Zum Ausdruck der Funktion Plural gibt es im Deutschen eine Reihe prototypisch pluraler Gestalten / Schemata, von denen – laut Köpcke – einzig das [die + # __ -(e)n]-Schema völlig zuverlässig diese Funktion signalisiert. Für Köpcke, stellt [die + # __ -(e)n] den Prototyp für die Repräsentation des Plurals dar (s. Punkt 1.3.1.). Um diesen Prototyp sammeln sich mehr oder weniger entfernt andere Schemata / Gestalten, die die Pluralfunktion weniger verlässlich signalisieren.

1.2.2. Analogie

Analogiebildung nach Paul (1880 zit. in Köpcke 1993: 44): *“ Die Wörter und Wortgruppen, die wir in der Rede verwenden, erzeugen sich nur zum Teil durch blosse gedächtnismässige Reproduktion des frühen Aufgenommenen. Ungefähr eben so viel Anteil daran hat eine kombinatorische Tätigkeit. (...) Indem nach dem Muster von schon geläufig gewordenen analogen Proportionen zu einem gleichfalls geläufigen Worte ein zweites Proportionsglied frei geschaffen wird. Diesen Vorgang nennen wir Analogiebildung.”*

Diesbezüglich schätzt Paul (zit. aus Köpcke 1993) eine Verbindung als umso fester ein,

- je mehr Übereinstimmung auf phonologischer und semantischer (bzw. morphologischer und morphosemantischer) Ebene vorzufinden ist;
- je intensiver die Wörter in das Gedächtnis eingepägt sind (~hohe Token-Frequenz);
- je größer die Anzahl möglicher analoger Proportionen ist (~hohe Type-Frequenz).

Stabile und große Proportionsgruppen (vgl. produktive Klassen) können sogartig auf weniger stabile und kleinere Gruppen wirken, was mitunter zu einer Integration letzterer in ersteren führt (s. Köpcke 1993). Integrations- und Reintegrationsprozesse lassen sich an vielen morphologischen Phänomenen veranschaulichen (s. bspw. zur Genuszuweisung Köpcke 1993, Zubin 1984; Bittner 1988 für Verben). Hierbei wirken nicht nur intralinguistische Beziehungseffekte (wie etwa Systemadäquatheit), sondern auch extralinguistische Faktoren, die nach Köpcke durch die Einbindung von Präferenztheorien (aus der Natürlichkeitstheorie) berücksichtigt werden müssen.

“ Nur wenn sich innerhalb eines engeren Verkehrskreises an einer grösseren Anzahl von Individuen spontan die gleiche Neuschöpfung vollzieht, kann sich eine Veränderung des Usus herausbilden. Die Möglichkeit eines solchen spontanen Zusammentreffens beruht auf der überwiegenden Übereinstimmung in der Organisation der auf die Sprache bezüglichen Vorstellungsgruppen (Paul 1880: 115 zit. in Köpcke 1993: 46).”

Der Unterschied Regel – Analogie lässt sich für Becker (1990) auf das Ausmaß der Vorbilder reduzieren. Bei Analogiebildungen hat ein Wort oder eine kleine Anzahl von Wörtern Vorbildfunktion, während für Regeln gilt, daß viele Wörter einem spezifischem Muster folgen und dieses generalisiert wird. Köpcke (1993) schlägt dazu ein Kontinuum vor, zwischen Analogiebildungen auf Basis eines Wortes als einen Endpunkt, und kategorialen Regeln als den anderen. Ziel danach ablaufender (Re-)Organisationsprozesse im sprachlichen System

ist es, ein relatives Gleichgewicht zwischen kognitiver Anforderung bezüglich der Speicherung, der Sprachproduktion und –rezeption zu schaffen, sowie eine semantische Differenzierbarkeit in Kommunikationsprozessen zu gewährleisten. Die Anforderungen an den Sprachbenutzer sind somit also am geringsten, wenn die morphologische Verarbeitung (Bearbeitung) nach einer expliziten, transparenten Regel abläuft.

1.2.3. (Regel)Produktivität

“Productivity is a prototypical property of rules (such as in phonology, inflection and syntax) (Dressler & Ladanyi 2000: 128).”

Für die Bestimmung der Produktivität einer gewissen Form sind die Faktoren Transparenz, Uniformität und Ikonizität zentral. Mit zunehmender Transparenz, Uniformität und Ikonizität / Diagrammatizität einer Form, nimmt auch ihre Produktivität zu. Produktivität korreliert mit der Systemangemessenheit, so daß häufiger auftretendes systemadäquater erscheint (Token-Frequenz), wobei gemäß Stampe (1984: 296) die Perzeption lexikalischer Identität eine morphonematische ist, weil sich lexikalische Repräsentationen morphonematisch einprägen.

Für die deutsche Pluralmorphologie kann anhand dieser Überlegungen von unterschiedlichen Uniformitäts- und Transparenzgraden ausgegangen werden, die aus Paradigmenstrukturbedingungen und Type- / Token-Frequenzen hervorgehen, wobei zur Bestimmung der relativen Validität einer Pluralmarkierung (-morphems) ihre Einordnung auf der Ikonizitätsskala zu berücksichtigen wäre. Die Natürliche Phonologie/ Morphologie geht davon aus, daß sich die dominantesten Symbolisierungsmuster, sofern sie den Bedingungen der konstruktionalen Ikonizität entsprechen (plus weitere Subbedingungen), in einem gegebenen Sprachsystem durchsetzen werden. Vor dem Hintergrund des konstruktionalen Ikonismus haben die Pluralmorpheme -(e)n, -er, -e, und -s gleichen Status, da es sich um suffigierende, also transparente Markierungen handelt, die verhältnismäßig leicht und schnell zu segmentieren sind. Im Bezug auf die Häufigkeit von Zuweisungen von Pluralmarkierungen bei Entlehnungen, haben Untersuchungen ergeben, daß Suffixe unterschiedlichen, systemspezifischen Status haben, d.h. -e, -(e)n und -s eindeutig bei der Pluralbildung neuer Wörter bevorzugt werden (s. dazu auch Köpcke 1988, 1993).

Zur Produktivität deutscher Pluralbildungen beschreibt Dressler (in Dressler et al. 1999) folgende Regeln als produktiv: Suffigierung mit -s sei als schwacher Default zu beschreiben, Suffigierung mit -(e)n als produktiv bei Feminina (vor allem bei Nomina mit finalem Schwa;

Anm. Dressler) und belebten, auf Schwa auslautenden Maskulina, -e-Suffigierung als produktiv bei Maskulina und Neutra (vor allem bei Nomina mit finalem Sibilant; Anm. Dressler). Schwach produktiv sind Bildungen mit Null-Plural bei nicht-femininen, auf Schwa und -n/r/l auslautenden Nomina, während Umlaut und Bildungen mit -er unproduktiv sind.

Das hier besprochene Modell, enthält als optionale Elemente diese drei, nach Art ihrer zugrundeliegenden Repräsentation differenzierbare Replikationsvorgänge, die in der folgenden Abbildung zusammengefasst sind (nach Dressler & Ladanyi 2000: 109ff).

- 1) Oberflächenanalogie = Es besteht die Notwendigkeit einer unmittelbar zugänglichen, der etwaigen Zielform üblicherweise sehr ähnlichen Vorlage.
- 2) Regelproduktivität = Bedarf keiner Vorlage im obigen Sinn, sondern ist von einem präzisen, abstrakten Muster abhängig.
- 3) Schema-Analogie = Benötigt Prototypen, die als tatsächliche Wörter identifizierbar sind (s. Köpcke 1993).

Abb. 1: Übersicht 3-fach System (nach Dressler & Ladanyi 2000)

1.3. Deutsche Pluralmorphologie

Zum Ausdruck der Funktion Plural weist das Deutsche acht Allomorphe auf (s. *Abb.2*). Diese plurale Funktion wird an verschiedenen Stellen der Nominalphrase markiert, wobei [+Pl.] durch Perlokation, ausgehend vom Kopf auf alle anderen Phrasenkonstituenten übertragen wird. Zusätzliches Unterscheidungsmerkmal der Funktion Singular / Plural im Deutschen, ist die Möglichkeit der Artikelzuweisung, die bei Maskulina und Neutra mit Ø-Plural eine distinktive Stellung einnehmen kann.

Plural- Allomorph	Genus		
	Maskulinum	Femininum	Neutrum
– e	Fisch / Fische	Kenntnis / -nisse	Jahr / Jahre
– (e)n	Bauer / Bauern	Tür / Türen	Auge / Augen
– er	Geist / Geister	–	Kind / Kinder
– s	Park / Parks	Mutti / Muttis	Auto / Autos
– ø	Adler / Adler	–	Fenster / Fenster
Umlaut	Bruder / Brüder	Tochter / Töchter	Kloster / Klöster
Umlaut + – e	Sohn / Söhne	Kuh / Kühe	Floß / Flöße
Umlaut + – er	Wald / Wälder	–	Volk / Völker

Abb. 2: Deutsche Pluralallomorphe (nach Köpcke 1993: 36)

1.3.1. Signalstärken Deutscher Pluralmarkierungen

Das Konzept der Signalstärke geht davon aus, daß je größer die Validität eines Signals ist, desto früher wird es erworben. D.h. im Spracherwerb werden effiziente Signantia, im Sinne effizienter Signansgröße, Distinktivität und Perzipierbarkeit (s. Dressler 1984, §3.3.), präferiert und schneller ins entstehende Sprachsystem integriert. Die Signalstärke ist durch universale perzeptuelle Charakteristika vorgegeben, die extralinguistisch fundiert und daher kompatibel mit neuro- oder psycholinguistischen Erklärungen, als natürliche Kategorisierungsprinzipien funktionieren und jegliche Präferenzen mitbegründen. Der Begriff der Signalstärke beschreibt also eine Art Gesamteffekt perzeptueller Faktoren, der die perzipierbare, akustisch wahrnehmbare Salienz, die Frequenz (sowohl Type wie Token), und die Validität des Signals (bezüglich der Markierungsverlässlichkeit einer bestimmten Form) einschliesst:

- a) Salienz: Morphonologische Identifizierbarkeit einer Markierung seitens des Hörers, die akustische Prominenz. Suffigierende Pluralmarkierungen sind durch wortfinale Position sowohl salienter als auch segmentierbarer, etwa verglichen mit der Umlautung. Entscheidend ist auch der ikonische Status im Natürlichkeitsmorphologischen Sinn: -e, -(e)n und -er sind, -s gegenüber, silbenbildend.
- b) Type-Frequenz: Beschreibt die Anzahl lexikalischer Einträge, die gemeinsam definierte Merkmale aufweisen. Pluralmorphologisch gesehen, geht es um die Zahl der Nomina, die gemeinsam bestimmte Markierungen wählen. Die Type-frequenteste

Pluralmarkierung im Deutschen ist -(e)n, gefolgt von -e, während -s, -er sowie Umlaut eine relativ niedere Type-Frequenz aufweisen.

- c) Token-Frequenz: Steht für die Häufigkeit mit der bestimmte Merkmale in der gesprochenen / geschriebenen Sprache erscheinen, wobei nicht spezifische Types ausschlaggebend sind, sondern nur die Frequenz mit der diese Merkmale in einem bestimmten Text / Diskurs auftreten.
- d) Signalvalidität: Die Auftretts-Frequenz eines bestimmten Merkmals (Bsp. -s) in einer Kategorie (Gen.Sg.), die sich kontrastiv zur Zielkategorie (Nom.Pl.) verhält.
- e) Ikonizität / Diagrammatizität: Berücksichtigt, ob eine Pluralmarkierung silbenkonstituierend wirkt oder nicht. Additive Markierungen haben, gegenüber modifizierenden Markierungen (i.e. Umlaut), einen höheren Attraktivitätsgrad, insbesondere potentiell silbenbildende Marker [-e,-(e)n,-er].

In der Pluralmorphologie des Deutschen besitzt -(e)n besonders hohe Validität, da die Zahl der nominalen Einträge mit -(e)n im Singular relativ klein ist, was für ebenso -s gilt (Köpcke 1993: 83).

Markierung	Salienz	Type-Frequenz	Token-Frequenz	Validität	silbenbildend
-(e)n	+	+	+	+	+ / -
-s	+	-	-	+	-
-e	+	+ / -	-	-	+
-er	+	-	-	-	+
Umlaut	-	-	-	+ / -	-

Abb. 3: Signalstärken dt. Pluralmarkierungen (nach Köpcke 1993: 85)

Köpcke argumentiert für die Annahme eines Kontinuums zwischen prototypisch-singularen und prototypisch-pluralen Schemata/ Gestalten. So würde bspw. eine prototypisch-singulare Form eines Nomens durch Einsilbigkeit, Zugehörigkeit zur *der-* oder *das-*Klasse signalisierbar sein, wobei zu berücksichtigen wäre, daß gewisse Markierungen einen ambigen Status haben, da sie ebenso als Hinweis auf eine Pluralfunktion deutbar sind (z.B. Zugehörigkeit zur *die-*Klasse, Stammendungen -(e)n, -er, -e, und -s, *Mehrsilbigkeit*, sowie *umgelauteter Stammvokal*).

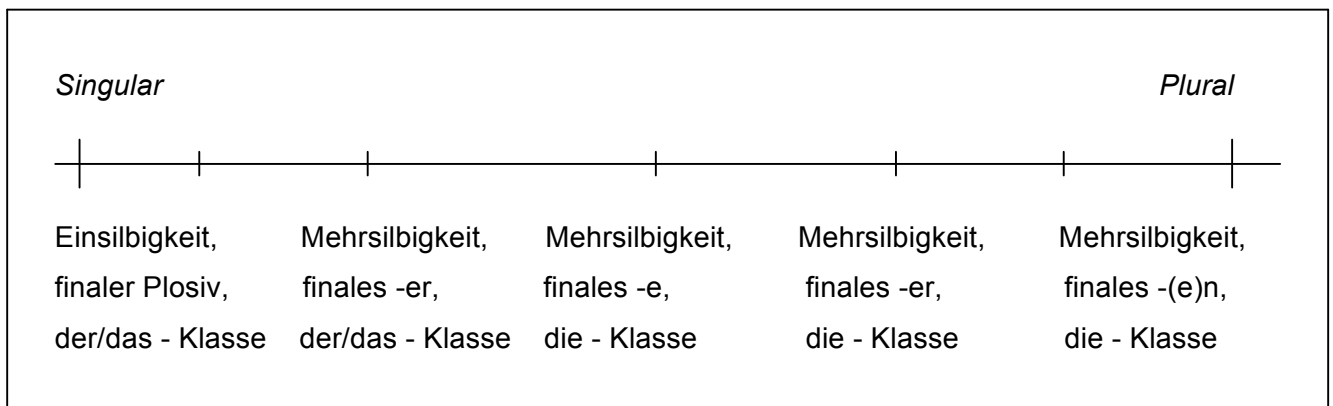


Abb. 4: Singular- und Pluralschemata (nach Köpcke 1993: 88)

2. ELEKTROENZEPHALOGRAPHIE (EEG): Analyse und Quellenlokalisierung

2.1. Arten des EEGs / Anwendungsbereiche

- (a) klinisches EEG (Überprüfung von Hirnfunktionen, Schlaf-EEG)
- (b) ERP (*event related potentials*; ereigniskorrelierte Potentiale EKP)
- (c) DC-Potentiale (langsame Potentiale), lange bis unendliche Zeitkonstante
- (d) Frequenz-/ Kohärenzanalysen (Untersuchung spezif. Frequenzen, Binding-Phänomene)

Ad (b) Ereigniskorrelierte Potentiale

Ereigniskorrelierte Potentiale sind Spannungsschwankungen im EEG, die synchron zu sensorischen (auditiv, visuell oder somatosensibel), kognitiven und motorischen Prozessen auftreten. Diese Amplitudenveränderungen des EEG sind jedoch im Vergleich zu Spontan-EEG so klein (5- bis 20fache kleiner), daß sie im EEG-Kurvenverlauf nicht ohne weiteres zu erkennen sind. Um diese Potentiale sichtbar zu machen wendet man die Summations- bzw. Mittelungstechnik (*Averaging*) an, um relevante Potentialanteile (*signal*) vom Hintergrund (*noise*) trennen zu können, d.h. man summiert die Reaktionen auf viele aufeinanderfolgende Reize und bildet anschließend das arithmetische Mittel (über alle Versuchsdurchläufe einer Versuchsperson). In weiterer Folge kann der Mittelwert über alle Personen gebildet werden, das sogenannte *Grand-Average*.

2.2. Unterscheidung

- (i) exogene Potentiale = innerhalb der ersten 100ms nach Stimulusdarbietung; modalitätsspezifisch (differenzierbar ob visuell, akustisch,...); Exogene Potentiale reflektieren Funktionen peripherer sensorischer Organe, subkortikaler Leitungssysteme im Hirnstamm und thalamischer Strukturen (Bsp.: SEP = sensorisch evoziertes Potential, durch Stimulus am Handgelenk → N14 auf Nackenwirbelhöhe).
- (ii) endogene Potentiale = zw. 100 u. 300 – 500ms; weniger abhängig von physikalischen Reizparametern, sondern mehr von psychologischen (Bsp. N400; P300).

(iii) langsame Potentiale = längerfristig konstante Potentiale, die kognitive Leistungen indizieren (Bsp.: CNV = *contingent negative variation*, Vorbereitung/ Erwartung).

Unterschieden werden die einzelnen Komponenten der EKP meist hinsichtlich ihrer Polarität, der Amplitude und des zeitlichen Abstands ihrer Gipfellatenz zum auslösenden Ereignis (z.B. N400, negative Komponente, deren Gipfellatenz 400ms nach der Reizpräsentation auftritt).

2.3. Analysetechnik

2.3.1. Artefakte

Muskelartefakte (Kiefer, Lidschlag), Bewegungsartefakte, Elektrodenartefakte (bspw. Drifts), werden in der Regel visuell inspiziert und manuell ausgeschlossen (Artefaktkodierung).

2.3.2. Frequenzen

Unterteilung Frequenzbänder: Beta 14-30Hz, Alpha 8-13Hz, Theta 4-7Hz, Delta und Sub-Delta unter 4Hz

2.3.3. Averagen / Mapping

Durch die Bildung des Mittelwerts über alle Versuchsdurchläufe einer Versuchsperson (= Average) oder aller Versuchspersonen (= Grand-Average), wird das Signal-Rausch-Verhältnis zugunsten des interessierenden Signals verändert und geglättet. Averages und Grand-Averages können anschließend mittels entsprechender Software als *Brain-Maps* dargestellt werden bzw. in SPSS oder sLORETA eingelesen werden.

2.4. Quellenlokalisierung - sLORETA (standardized Low Resolution Electromagnetic Tomography)

Die Frage nach dem Ursprung der hirnelektrischen Aktivität ist von beträchtlichem wissenschaftlichem Interesse, da im Gehirn vielen Gebieten spezifische Funktionen zugeordnet werden können. Der Entstehungsort der hirnelektrischen Aktivität lässt sich aber nicht direkt von den Messungen auf der Kopfoberfläche ablesen, sondern nur mit erheblichem rechnerischem Aufwand und mit gewissen Grundannahmen berechnen (sog. inverses Problem). Aufgrund der elektrophysiologisch begründbaren Annahme, daß direkt benachbarte neuronale Elemente auch ähnlich aktiv und orientiert sind und anhand neurophysiologischer Informationen, welche Hirngebiete überhaupt elektrisch aktiv sein können (*Talairach Hirnatlas*) lässt sich die Verteilung der elektrischen Aktivität im Hirn direkt berechnen und in tomographischen Hirnschnitten darstellen, wobei allerdings die räumliche Auflösung beschränkt ist.

2.4.1. Forward Solution und Inverse Solution

Bei der *Forward Solution* geht man davon aus, daß eine bestimmte Aktivität im Gehirn zu einer bestimmten Ausrichtung und Stärke eines Dipols im Inneren des Gehirns und somit ein bestimmtes Aktivierungsmuster an der Oberfläche des Gehirns bewirkt. Lässt man das Rauschen und die besonderen Umstände der Gehirnanatomie unberücksichtigt, so kann man mit dieser Vorgehensweise eine eindeutige Lösung errechnen. Das heißt, daß eine bestimmte Ausrichtung eines Dipols im Gehirn nur mit einer bestimmten Aktivierungsausbreitung an der Gehirnoberfläche einhergehen kann.

Bei EEG Untersuchungen kann die *Forward Solution* jedoch keine Anwendung finden, da hier nur die Aktivität an der Oberfläche, aber nicht in tieferen Regionen des Gehirns, gemessen wird. Man muss also von der Aktivierungsausbreitung an der Oberfläche auf die Aktivierung im Inneren des Gehirns schließen. Diese Vorgehensweise nennt man *Inverse Solution*. In diesem Fall ist keine eindeutige Lösung möglich, da an der Gehirnoberfläche registrierte Aktivierungsmuster eine unbegrenzte Menge möglicher Quellkonfigurationen reflektieren, deren ursprüngliche Dipolausrichtungen, -lagen und -stärken anhand des Oberflächenpotentials nicht bestimmt werden können (s. Pascual-Marqui 1994).

Dadurch entsteht folglich das Problem, daß Messungen an der Gehirnoberfläche nicht genügend Informationen über den Generator innerhalb des Gehirns beinhalten. Weil dieser

Umstand zu mehreren möglichen Lösungen führt, stellt sich die Frage, welcher von ihnen der Vorzug zu geben ist.

Bei sLORETA wird die verteilte Aktivität über vordefinierte, anatomisch plausible Anteile der Hirnmasse berechnet, wobei die Lage elektrischer Quellen in einem engen 3D-Gitter lokalisiert wird (s. 2.4.2.). Die Stärke und Ausrichtung der Aktivität jedes einzelnen Gitterpunktes bestimmt die elektrische Aktivierungsausbreitung, die an der Oberfläche gemessen wird. Eine der Grundannahmen von sLORETA, die in der Literatur ausreichend Bestätigung findet, ist, daß benachbarte Gitterpunkte in ähnlicher Stärke und Ausrichtung aktiviert sind [beruht auf der Annahme, daß benachbarte Neuronen zur simultanen und/oder synchronen Impulstätigkeit neigen, d.h. einerseits zeitlich kohärente Aktivierungsmuster, die über relativ entfernte Hirnareale etabliert werden können (s. bspw. Engel et al. 1990), andererseits können wenig voneinander entfernte Neuronen über phasengebundene Oszillationen synchron agieren (s. Steriade et al. 1990; Murthy & Tetz 1991)]. Auf Basis dieser Voraussetzungen wird nun eine Berechnung aus der Signalverarbeitungstheorie durchgeführt. Dabei wird versucht, die Lösung zu finden, bei der ein Maximum an Glätte oder *smoothness* gegeben ist. Diese Lösung gilt dann als die optimale dreidimensionale Aktivitätsverteilung im Gehirn.

Das mathematische Verfahren der glattesten Lösung, wirkt sich direkt auf das entstandene Bild aus. Es ist charakteristisch für dieses Verfahren, daß ein Bild mit geringer räumlicher Auflösung entsteht (*blurred-localized image*, s. Pascual-Marqui 1994), mit einer Genauigkeit von 7 mm, die Größe eines Voxels, welche sich aus dem *Talairach Atlas* ergibt. Somit kann sLORETA dreidimensionale Gehirnaktivität mit hoher zeitlicher, aber geringer räumlicher Auflösung berechnen.

2.4.2. sLORETA – Neuroanatomische Annahmen

Bei den anfänglichen mathematischen Berechnungen ging man davon aus, daß der Kopf einer Kugel gleicht. Da dies aber beim menschlichen Kopf nicht der Fall ist, werden bei den Berechnungen mit sLORETA Informationen über das menschliche Gehirn mit einbezogen. Dazu wird das Talairach-Hirn verwendet, das vom *Brain Imaging Centre* in Montreal durch die genaue fMRI-Vermessung von zehn Gehirnen entwickelt wurde und ein dreidimensionales Bild eines Durchschnittsgehirns in digitalisierter Form verfügbar macht. Die Lokalisation der grauen Masse ist dabei von entscheidender Bedeutung, da weder weiße Masse noch Cerebrospinalflüssigkeit für die Generierung eines Dipols in Frage kommen.

Für die Analyse mit sLORETA werden nur sogenannte Voxels (dreidimensionale Punkte) der grauen Masse der kortikalen oder hippokampalen Region herangezogen. Das sind 2394 Voxels mit 7mm räumlicher Auflösung. Durch das Miteinbeziehen des Talairach-Hirns kann sLORETA anatomisch plausible Lösungen ermitteln.

II. EMPIRISCHER TEIL

1. STUDIE 1: Brain Potentials Linked to the Lexical Judgement of Correct and Incorrect German Plurals

Abstract

Event-related potentials (ERP) were used to explore neural processes during the lexical judgement of German plural nouns. The items were visually presented to twenty participants, either in correct (condition 1) or incorrect form (condition 2). The subjects had to decide if the presented item was a properly inflected noun or not and were asked to give a response after each item by pressing one of two buttons (1 = correct, 2 = incorrect). Three categories of plurals – (A) high-frequency, (B) zero-marked and (C) low-frequency plurals – were chosen as stimulus material in order to investigate the effects of word frequency and inflectional type. Behavioral data showed for both conditions, that word frequency and transparency have a direct influence on the inflectional processing speed (B>A>C).

The collected waveforms were similar across categories and conditions, consisting of four event-related components (N100; P200; N400; P600). In condition 2 (incorrect plural) word frequency was found to influence the degree of electrophysiological activation, manifested in a lowered P600 component for low-frequency items. Variation of the inflectional type had no significant effect on the general appearance of the electrocortical potentials and their topography. Correct zero-marked items (B) had slightly greater P200 and P600 peaks, compared to correct items of category A. ERP-maps and generator localizations were in accordance with comparable, neuroscientific studies, for instance activation of central and left anterior areas around 400msec which indicates processes of lexical integration, semantic memory activation as well as morphosyntactic violations (Palolahti et al., 2005; Weyerts et al., 1997).

1. Introduction

As morphology provides a good possibility for observing minimal, grammatical processes, it reduces the need for additional working memory capacity, which is automatically elicited by presenting more complex phrases like in syntax-oriented tasks. In contrast, studies focusing on inflectional morphology benefit from the ability to use more compact stimuli (even single words if possible), facilitating the isolation of task-specific-activity from general neural processes. It is clear, that even those designs where single words are presented visually, evoke a set of automatic processes (e.g. primary visual areas; low-level word recognition; decoding orthographic information into phonological units), but the temporal structure of their appearance allows to a certain degree the distinction from inflectional, cognitive activations.

In German pluralmorphology, two principles accomplish the assignment of eight potential plural allomorphs. The first is segmental-additive coding, where the respective plural morpheme is suffixed to the word stem [-e, -(e)n, -s, -er, -Ø] (Sg. Auto, Pl. Auto-s; engl. car – cars). The second is segmental-modulatoric coding, which is either realized by the sole change of the vowel quality [Umlaut](Sg. Vater, Pl. V-ä-ter; engl. father – fathers) or by the combination of vowel mutation and suffixation [Uml., Uml. + -e, -er] (Sg. Baum, Pl. B-ä-um-e; engl. tree – trees). Zero-inflection represents a special case of segmental-additive coding, where singular and plural have identical forms, i.e. the change of number is only marked by a so called zero-morpheme (-Ø) (Sg. Lehrer, Pl. Lehrer; engl. teacher – teachers) and optionally by using the definite plural article (Pl. die Lehrer; engl. the teachers).

Having the neural correlates of inflection in view, two factors that influence the cognitive processing effort have to be taken into account. Word frequency on the one hand and transparency on the other. High frequency strengthens mental representations and favors the receptive and productive accessibility, while transparency refers to the degree of segmentability of a grammatical construction. Transparent codings (e.g. Sg. Schaf, Pl. Schaf-e; engl. sheep – sheep-s) are easier to identify / reproduce, which make them preferred in language acquisition and novel word treatment. This preference can even lead to over-regularizations, as seen in first language acquisition. Experimental evidence for the relevance of both factors comes from previous studies on morphology. Opaque inflections have been found to evoke stronger brain activations without topographical changes (Desai et al., 2006) and items that combined low frequency with weak transparency led to higher activity in cortical areas involved in inflectional processing (BA 44/45, BA 47)(Sahin et al., 2005).

Studies on the influence of word frequency have shown, that low-frequency items evoked more activity in left, inferior frontal regions indicating enhanced processing needs (Chee et al., 2002; Fiebach et al., 2002; cf. Sahin et al., 2005).

2. Methods

2.1. Participants

Twenty male, native German speakers (right-handed, mean 30 years) gave written consent to participate. All subjects had normal or corrected-to-normal vision and reported no history of neurological or psychiatric disorders.

2.2. Materials

The stimulus material consisted of 180 substantives either in correct (condition 1) or incorrect plural (condition 2), divided into three categories (A-C). Each category included 60 words, which were selected by the criteria of inflection type and frequency. Category A represented high-frequency plurals, using segmental-additive, segmental-modulatoric or modulatoric codings for signaling the function plural. Category B consisted of high-frequency items with zero-inflection and category C of words that either have plurals with low frequency or a generally rare appearance. Eight simple, two-word phrase contexts were used, preceding the actual stimuli (e.g. Das sind...; engl. That are...).

2.3. Procedure

After electrode application, subjects were sat in a sound-attenuated room in front of a computer screen and a response box with two buttons. Beside task-relevant instructions, all subjects were asked to avoid body movements and direct their gaze to the center of the screen during the experiment. Each trial (Fig.1D) consisted of a baseline-phase (1000msec), where a fixation-cross appeared in the middle of the screen, followed by the phrase context and the actual stimulus (correct / incorrect plural). The presentation of phrase contexts and

stimuli was performed word-by-word with a duration of 400msec for each word and 600msec between the words. A question mark immediately appeared as plural presentation ended, which indicated a request for subject's response. Having pressed the corresponding button (button 1 = correct plural, button 2 = incorrect plural), the question mark switched back to the fixation-cross and after a variable inter-stimulus-interval (1000-1500msec), the next trial was started. The presentation of the items was randomized across conditions, categories and subjects.

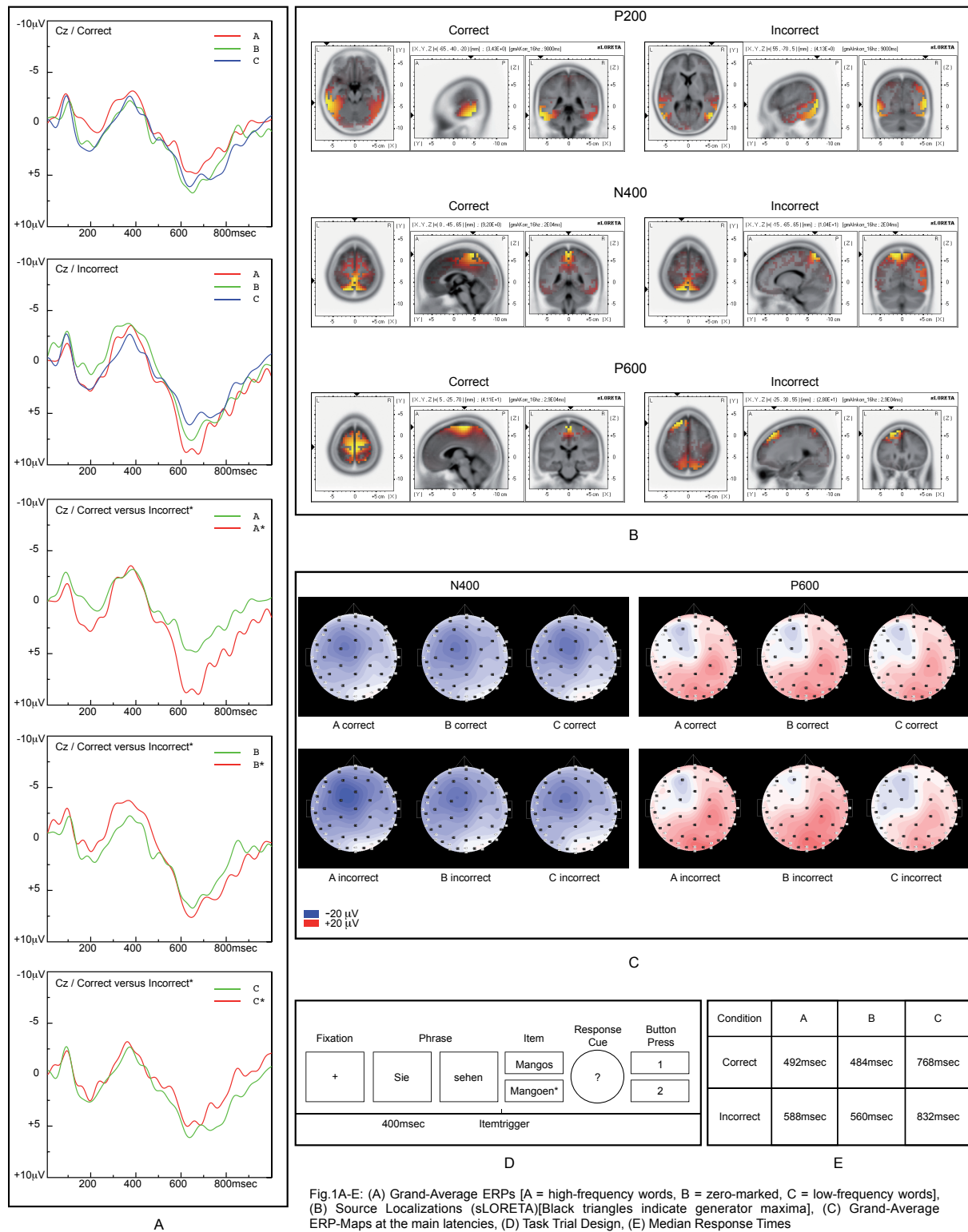
2.4. Data Recording

EEG-signals were recorded using elastic electrode caps (Easycap) equipped with 57 Ag/AgCl scalp-electrodes and seven additional electrodes. Four were used to record eye movements (two horizontal, two vertical; bipolar). As a sterno-vertebral reference one electrode was placed at the medial end of the collarbone and one at the seventh cervical vertebra. A ground electrode was placed on the subject's forehead. In order to keep the impedance of all electrodes below 2k Ω , skin-scratching was used (Bauer, 1998). EEG-data were obtained by a PC-controlled 64-channel DC-amplifier (Zickler Ges.m.b.H.) and stored on disk, while a second PC controlled the stimulus presentation. Prior to the actual experimental run, voluntary vertical and horizontal eye movement signals (VEOG, HEOG) were recorded for off-line use to compensate artifacts in the EEG-signals related to eye movements.

2.5. Data Analysis

EEG data were pre-processed subject-wise including eye movement artifact correction, low-pass filtering (30Hz) and sorting processing epochs (items) according to stimulus categories and experimental conditions. Additional filtering (low-pass, 16Hz) further refined signal quality providing an adequate basis for visual inspection and manual artifact coding. Four subjects have been excluded from further analysis because of too many artifacts in the EEG signal. Artifact-free epochs were first averaged to ERPs separated for subjects, conditions and categories. Subsequently, grand-average ERPs (per conditions and categories) were calculated. Averages as well as grand-averages included signals between item onset and button-press using a baseline of 250msec immediately prior to item presentation. Based on the stimulus-locked grand-average ERPs, scalp potential maps were calculated for each condition and interesting latencies in order to obtain topographic information from the ERP-signal. Topographic analysis, i.e. the localization of generators of the ERP-components,

was done using sLORETA (Pascual-Marqui, 2002). Comparisons of scalp potential topographies at various latencies were done by means of three-factorial (conditions, categories and electrodes), repeated measures ANOVAs.



3. Results

3.1. Behavioral Data

As expected, low-frequent items from category C have been found for both conditions to take the longest reaction times (measured from item presentation to button-press). Incorrect plurals (condition 2) were generally processed slower compared to condition 1, while having the smallest difference between the two conditions for low-frequent items of category C (64msec). In both conditions, category A and B distinguish least, showing the influence of word frequency on inflection. Comparing condition 1 and 2 with respect to frequency, made obvious that inflectional processing of low-frequent and less transparent plurals (correct and incorrect) requires higher temporal effort and remarkably increases reaction time (~270msec) (Fig.1E).

3.2. Waveforms & ERP Maps

The temporal course of the recorded waveforms, showed a prototypical sequence for all conditions and categories (Fig.1A). It started with a negative going deflection at around 100msec after item presentation (N100) followed by a positive component between 180 and 200msec post stimulus (P200), reflecting primary and higher visual processing. Thereafter followed a negative deflection between 320-430msec after stimulus presentation (N400, peak ~380msec), succeeded by a positivity between 550-700msec post stimulus (P600, peak ~650msec). Amplitude differences between the conditions revealed a greater P200 and P600 for items of category A in condition 2 (incorrect frequent plurals). Zero-marked, incorrect items (category B, condition 2) produced a slightly greater N400 amplitude together with a minimally lowered P200 component. Comparing correct and incorrect, low-frequent items of category C did not show any differences concerning their waveforms. Within condition 1 correct, zero-marked plurals evoked more positive P200 and P600 peaks than correct, overtly inflected plurals. P600 was remarkably lower with incorrect, low-frequent plurals as compared to incorrect plurals of category A.

The topographical distribution of the relevant components (Fig.1B) corresponded with the findings from the waveform analysis, supporting the overall pattern of activation. N100 had a parieto-occipital expression, while P200 was most active over parietal and occipito-temporal electrode sites. The succeeding N400 elicited anterior left and central negativity, somewhat higher for category A, condition 2. P600 showed a centered parieto-occipital as

well as a right hemispheric, centro-parietal activation that was decreased in condition 2, category C.

Three-factorial ANOVAs for repeated measurements (condition, category, electrode) were performed for all relevant timeframes, in order to study interactions between these factors. Within-subject-effects ($n=16$) involving all factors (cond. x cat. x elctr.) have failed to reach the level of significance. Interaction between inflectional type and condition (cat. x cond.) were significant for P200 (180-200msec p.s., $p < .022$).

3.3. Source Localization

Using sLORETA (Pascual-Marqui, 2002) topographies of ERP components at the main latencies were transformed into voxel-wise, three-dimensional representations (Fig.1C), indicating the best matching localization (Brodmann areas, BA) for each component. Generators of the P200 were localized for all conditions and categories in the visual, parietal and occipito-temporal areas (precuneus, middle temporal gyrus and middle occipital gyrus; BA 7, 19, 39), that are involved in word recognition, phonological and orthographic processing (DiRusso et al., 2003; Barnea & Breznitz, 1998; Liu et al., 2003). Source localization of the period 320-430msec after plural presentation, revealed centered activation of the superior parietal lobulus and partly of the gyrus angularis and paracentralis (BA 7, 39), but failed to retrieve the anterior left and central activity that was observed in the ERP maps of N400. Generators of P600 were localized for both conditions of category A and C in superior and medial frontal gyrii (BA 6, 8). P600 of category B was generated in the superior parietal lobulus (BA 7).

4. Discussion

Current data showed solid congruences with previous findings on language processing, especially with those focused on morphological processing. By taking advantage of the excellent temporal resolution inherent to the ERP technique, processes emerging from the lexical judgement of German plurals could be observed. Occipital, low-level visual activation (N100) is rapidly followed by an early, word-specific processing in form of a positive parietal to occipito-temporal component (P200), indicating word recognition, phonological and orthographic processing (precuneus, middle and occipital temporal gyrus) (DiRusso et al.,

2003; Barnea & Breznitz, 1998; Liu et al., 2003). The fronto-central expression of the succeeding N400, matches with reports of an anterior, central negativity between 320-430msec post stimulus which is supposed to be referring to lexical integration and semantic memory activation (Palolahti et al., 2005), but also to the detection of morphosyntactic violations (Weyerts et al., 1997). Considering the similarity of activations that were found in the present study, with nearly equal N400 amplitudes across all categories and conditions, the presentation of semantically poor phrase contexts probably evoked a constant need for semantic reanalysis not purely relatable to morphological incorrectness. The final centro-parietal positivity between 550 and 700msec was observed across all categories and conditions, but was significantly lower for infrequent, incorrect plurals of category C.

The highest P600 amplitude was found for frequent, incorrect plurals (category A). P600 components have been previously interpreted as a sign for syntactic reanalysis or repair triggered by violations of the phrase structure, morphosyntactic and / or morphosemantic violations (Friederici, 2002; Hahne et al., 2002; Palolahti, 2005). Therefore, the more pronounced P600 expression in category A could indicate that incorrect but frequent plurals are easier to trace back to their underlying form and evoke stronger mechanisms of reanalysis / repair. On the other hand, less frequent plurals have clearly diminished the P600 amplitude due to greater overall cognitive effort. As cognitive demand in the context of ERP is known to be tieable to negative cortical activation (e.g. Lamm et al., 2005), this concurring activity might be responsible for the reduced P600 amplitude. In sum, waveform analysis has shown very similar ERPs for both conditions (correct / incorrect plural).

No consistent evidence was found, that different inflectional types may be processed in distinctive neural areas. Change of inflectional type did not alter the principal processing areas but modulated the overall level of electrocortical activation and reaction time which are both influenced by frequency (Chee et al., 2002; Fiebach et al., 2002; Desai et al., 2006).

Response times confirmed that frequency affects the length of processing in a way that frequent codings were processed remarkably faster in both conditions (condition 1 & 2: B>A>C). The small differences between category A and B in terms of response time, can possibly be explained by the fact that the uniform codings of zero-marked plurals (-er / *-eren) were easier to perceive than the varying forms of category A.

In summary, the study has shown that an ERP based, morphologically focused experimental design is an adequate instrument to widen the temporal and partly the spatial understanding of German inflectional processing in the context of lexical judgement.

2. STUDIE 2: Active Formation

Abstract

The present study used event-related potentials (ERP) to explore neural processes during the active inflection of German substantives. These substantives were visually presented to fifteen participants, either in nominative singular (Sg., condition 1) or plural (Pl., condition 2). The subjects had to produce the corresponding plural / singular form and were asked to give a verbal response to each item. Three different categories of plurals – (A) high-frequency, (B) zero-marked and (C) low-frequency plurals – were chosen as stimulus material, in order to investigate the effects of both word frequency and inflectional type. The obtained behavioral data showed that the factor word frequency had a direct influence on the processing speed (A>B>C), regardless of the two experimental conditions. In condition one (singular to plural) word frequency was found to influence the degree of brain activation manifested by an enhanced frontal negativity 200-300msec before voice-onset. The analysis of the factor inflectional type showed no effects on the general characteristics of the ERPs and their topography or tomography - only minimal changes in reaction time have been observed. The temporal course of the ERP waveforms was homogenous for all categories and conditions, consisting of three rapidly changing components (80-120msec, peak ~100msec: occipital positivity P100; 150-250msec, peak ~200msec: occipito-temporal negativity N200; 220-350msec, peak ~280msec: occipital positivity P300), followed by a slowly emerging frontal negativity starting around 300-350msec after stimulus onset (slow cortical potential, peak ~800msec). Generator localizations at the relevant latencies showed solid congruencies with comparable studies, e.g. activity in temporal visual and left frontal areas.

1. Introduction

Despite the fact that morphology in general and inflectional morphology in particular have recently been an attractive field for neurocognitive investigations, there is only limited knowledge about active formation, where the manipulation of inflectional features is not executed purely mentally but followed by an actual verbal utterance. As morphology provides a good possibility for observing minimal grammatical processes, it reduces the need for

additional working memory capacity which is automatically elicited by presenting more complex phrases like in syntax-oriented tasks. In contrast, studies focusing on inflectional morphology benefit from the use of more compact stimuli (even single words if possible) facilitating the isolation of task-specific activity from general neural processes. It is clear that even those designs where single words are presented visually evoke a set of automatic processes (e.g. primary visual areas), but their temporal appearance allows to a certain degree the distinction from inflectional cognitive activations. Previous studies on inflection were able to identify a neural network for inflection that was more active during the manipulation of inflectional features like tense or number, while being inactive during the control condition (reading words)(Sahin et al., 2005).

Two types of processing are observable within inflectional morphology. Firstly, rule-based (regular) processing (word stem + suffix) and secondly, lexical-based (irregular) processing. Regarding German pluralmorphology all possible plural formations depend on two fundamental rule-based principles, which guide the assignment of the eight potential plural allomorphs in German. One is called segmental-additive coding, where the respective plural morpheme is suffixed to the word stem [-e, -(e)n, -s, -er, -Ø] (Sg. *Auto*, Pl. *Auto-s*; engl. car – cars) and the other is referred to as segmental-modulatoric coding, which is either realized by the sole change of the vowel quality [Umlaut](Sg. *Vater*, Pl. *V-ä-ter*; engl. father – fathers) or by the combination of vowel mutation and suffixation [Uml., Uml. + -e, -er] (Sg. *Baum*, Pl. *B-ä-um-e*; engl. tree – trees). A special case of segmental-additive coding is zero-inflection, where singular and plural are identical, i.e. the change of number is only marked by a so called zero-morpheme (-Ø) (Sg. *Lehrer*, Pl. *Lehrer*; engl. teacher – teachers) and optionally by using the definite plural article (Pl. *die Lehrer*; engl. the teachers). Almost all lexical-based inflections are applied to foreign words or loanwords with language specific, morphological rules, which are – due to their low word or plural frequency – stored and retrieved as whole forms. Otherwise, known morphological rules are used for new lexemes by applying productive plural types to neologisms or foreign words (for morphological productivity see Dressler, 1998; for a neurolinguistic approach to productivity see Friedrich, 2001).

With the focus on neural aspects of inflection and potential processing differences of the plural types mentioned above two factors that seriously influence the cognitive processing effort have to be considered: word frequency and transparency. Transparency indicates the degree of segmentability of a grammatical construction. High frequency fosters the strength of mental representations and eases the receptive and productive accessibility. Transparent codings (e. g. Sg. *Schaf*, Pl. *Schaf-e*; engl. sheep – sheep-s) support identification / reproduction, which make them preferred in language acquisition and novel word treatment. The greater attractiveness and efficiency of transparent codings can lead to

over-regularizations, especially in first language acquisition. Experimental evidence for the relevance of both factors can be found in previous studies on morphology. Ambiguous inflections compared to more transparent ones evoked stronger brain activations without topographical changes (Desai et al., 2006) and items that combined low frequency with weak transparency also led to higher activity in cortical areas involved in inflectional processing (BA 44/45, BA 47)(Sahin et al., 2005). Similar effects have been observed in studies that focused on the influence of word frequency, where low-frequency items evoked more activity in left inferior frontal regions indicating enhanced processing needs (Chee et al., 2002; Fiebach et al., 2002; cf. Sahin et al., 2005).

2. Methods

2.1. Participants

Fifteen female native German speakers (right-handed, age 27-36, mean 30 years) gave written consent to participate. All subjects had normal or corrected-to-normal vision and reported no history of neurological or psychiatric disorders.

2.2. Materials

The stimulus material consisted of 180 substantives presented either in nominative singular (condition 1, singular to plural) or in plural (condition 2, plural to singular), and were divided into three categories (A-C). Each category included 60 words, which were selected by the criteria inflection type and frequency. Category A included high-frequency plurals, using segmental-additive, segmental-modulatoric or modulatoric codings for signaling the function plural. Category B consisted of high-frequency items with zero-inflection and category C of words that either had plurals with low frequency or a generally rare appearance. Additionally, 60 verbs in the infinitive were used in a reading condition. This means that each subject had to process a total of 420 items. In order to avoid potential ambiguities in category B (identical plural and singular) all items in condition one and two were presented with their definite article (Sg. masc. *der* / Sg. fem. *die* / Sg. neutr. *das*, Pl. *die*; engl. the).

2.3. Procedure

After electrode application subjects were sat in front of a computer screen and two microphones in a sound-attenuated room. Beside task-relevant instructions, all subjects were asked to avoid body movements and to direct their gaze to the center of the screen during the experiment. Each trial (Fig.2D) consisted of a baseline-phase (1000msec), where a fixation-cross appeared in the middle of the screen, followed by the actual stimulus, i.e. a singular noun, plural noun or a verb for a period of maximally 5000 milliseconds. Triggered by the voice-onset of the subject's response, the presentation immediately switched back to the fixation-cross. After a variable inter-stimulus-interval (1000-1500msec) included in this second fixation phase, the next trial started. The presentation of the items was randomized across conditions, categories and subjects.

2.4. Data Recording

EEG-signals were recorded using elastic electrode caps (Easycap) equipped with 57 Ag/AgCl scalp-electrodes and seven additional electrodes. Four were used to record eye movements (two horizontal, two vertical; bipolar). As a sterno-vertebral reference one electrode was placed at the medial end of the collarbone and one at the seventh cervical vertebra. A ground electrode was placed on the subject's forehead. In order to keep the impedance of all electrodes below 2k Ω , skin-scratching was used (Bauer, 1998). EEG-data were collected by a PC-controlled 64-channel DC-amplifier (Zickler Ges.m.b.H.) and stored on disk, while a second PC controlled the stimulus presentation (using ePrime). One of the two microphones was connected to a voice key (gtec) to trigger item switching via voice-onset, and the other was directly connected to the audio input of the second PC. Prior to the actual experimental run, voluntary vertical and horizontal eye movement-signals (VEOG, HEOG) were recorded for off-line use to compensate artifacts in the EEG-signals related to eye movements.

2.5. Data Analysis

EEG data were pre-processed subject-wise including eye movement artifact correction, low-pass filtering (30Hz) and sorting processing epochs (items) according to stimulus categories and experimental conditions. Additional filtering (low-pass, 16Hz) further refined signal quality providing an adequate basis for visual inspection and manual artifact coding. One subject has been excluded from further analysis because of too many artifacts in the EEG

signal. Artifact-free epochs were first averaged to ERPs separated for subjects, conditions and categories. Subsequently, grand-average ERPs (per conditions and categories) were calculated. Averages as well as grand-averages included signals between item onset and voice-onset-trigger using a baseline of 300msec immediately prior to item presentation. Based on the stimulus-locked grand-average ERPs, scalp potential maps were calculated for each condition and interesting latencies in order to obtain topographic information from the ERP-signal. Comparisons of scalp potential topographies at various latencies have been done by means of three-factorial (conditions, categories and electrodes), repeated measures ANOVAs. Tomographic analysis, i.e. the localization of generators of the ERP-components, was done using sLORETA (Pascual-Marqui, 2002).

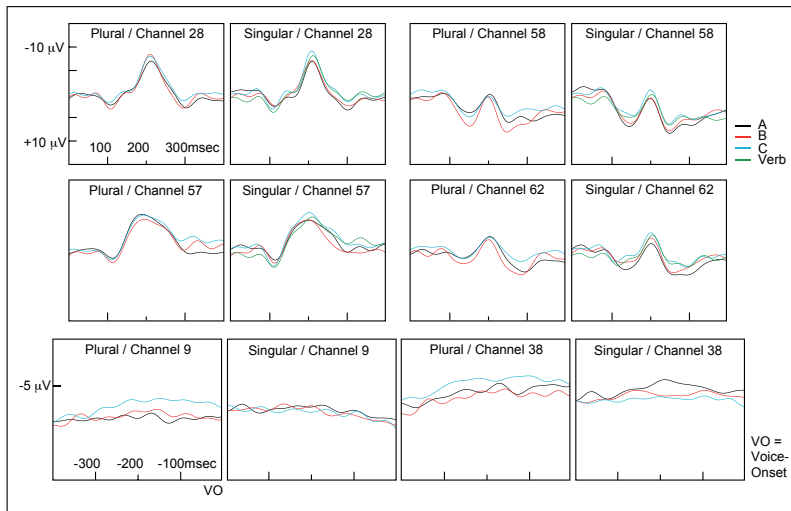
3. Results

3.1. Behavioral Data

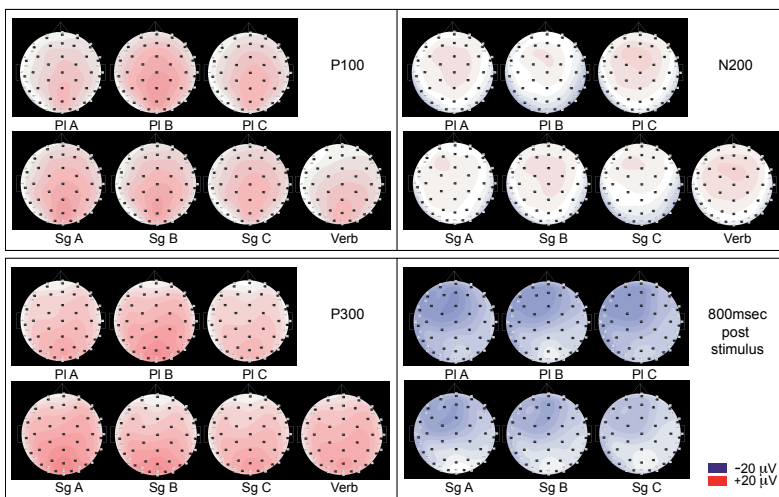
As expected, infrequent plurals from category C were found to have the longest reaction times (measured from item presentation to voice-onset) in both conditions (Fig.2E). Formations of singulars out of plurals (condition 2) were generally processed about 200-300msec faster compared to condition 1, while having the smallest difference between the two conditions with zero-marked items of category B (184msec). In the verb-reading task reaction time was remarkably shorter (600-1200msec).

3.2. ERP Waveforms & Maps

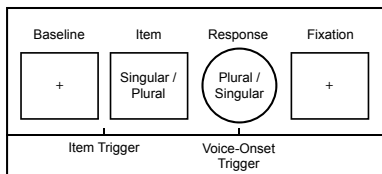
The temporal course of the ERPs, showed a prototypical sequence in all conditions and categories (Fig.2A). It started with a positive going deflection at 80-120msec after item presentation (occipital P100, peak ~100msec) followed by a negative component in the latency range of 150 and 250msec (occipito-temporal N200, peak ~200msec). Thereafter a positive component followed between 220-350msec (parieto-occipital P300, peak ~280msec), succeeded by a gradually emerging negative going shift, which started about 300-350msec post stimulus (late anterior component, peak ~800msec).



A



B

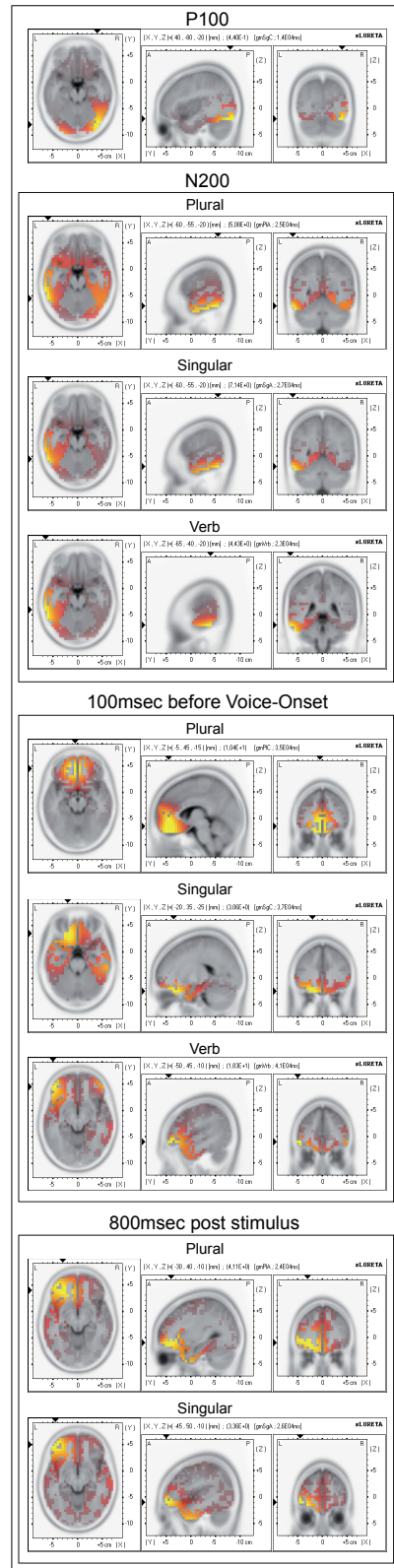


D

Condition	A	B	C	Verbs
Plural	1676msec	1688msec	2220msec	1020msec
Singular	1344msec	1504msec	1936msec	

E

Fig.2A-E: (A) Grand-Average ERPs [Channel 57 / 28 = left / right occipito-temporal electrodes; Channel 58 = centro-parietal electrode; Channel 62 = centro-occipital electrode; Channel 38 / 9 = left / right fronto-temporal electrodes; Plural = Singular to Plural; Singular = Plural to Singular; Verb = Reading Task; A = high frequency words, B = zero-marked, C = low frequency words], (B) Grand-Average ERP-Maps at the main latencies [PI = Singular to Plural; Sg = Plural to Singular], (C) Source Localizations (sLORETA) [Black triangles indicate generator maxima; Plural = Singular to Plural; Singular = Plural to Singular; Verb = Reading Task] (as generators of P100 did not differ across conditions and categories, only one exemplary localization is shown; the remaining generator localizations differed across conditions but not across categories, therefore one exemplary localization per condition is depicted here), (D) Task Trial Design, (E) Median Response Times



C

The topographical distribution of all components (Fig.2B) corresponded with the findings from the waveform analysis, supporting the overall pattern of activation. P100 was most active over central-occipital electrode sites, the succeeding N200 elicited bilateral activation of occipito-temporal areas, minimally higher for category B, condition 1 and category C, condition 2. P300 showed a centered parieto-occipital activation, the final negativity was distributed over anterior left frontal areas which were found to be more respectively broader activated in condition 1.

Three-factorial ANOVAs (Condition, Category, Electrode) for repeated measures were performed for the relevant latencies. Significant within-subject-effects ($n=14$) involving all factors (Cond. x Cat. x Electr.) were obtained for the sections P100 (80-120msec post stimulus, $p < .001$), P300 (220-350msec p.s., $p < .008$) as well as for the anterior negativity (averaged epoch 1000msec prior to voice-onset, $p < .000$; averaged epoch 350-800msec p.s., $p < .028$). Interaction between inflectional type and electrode position (Cat. x Electr.) was significant for N200 (150-250msec p.s., $p < .000$), P300 (220-350msec p.s., $p < .057$) and for the negative deflection between 350 and 800msec after item presentation ($p < .032$).

3.3. Source Localizations

Using sLORETA (Pascual-Marqui, 2002) topographies of ERP components at various latencies were transformed into voxel-wise, three-dimensional representations (Fig.2C), indicating the best matching localization (Brodmann areas, BA) for each component. Generators of the low-level visual P100 were localized across conditions and categories in the inferior occipital gyrus (BA 18). Generators of N200 were localized for all conditions and categories in the visual, occipito-temporal areas (inferior and middle temporal gyrus, fusiform gyrus; BA 20, 21, 37). Generators of the late component between 350-800msec after item presentation and 100msec before voice-onset, were localized in the anterior parts of the left and middle frontal gyrii, and also of the inferior, medial, middle, orbital and superior frontal gyrii (BA 10, 11, 47), directly neighboring Broca's Area. A comparison of frequent and infrequent inflections, i.e. contrasting categories A and C of condition 1 using snPM (statistical non-parametric mapping), showed a significantly higher activation of Broca's Area (BA 45) in category A. A second comparison between category B (frequent, zero-marked items) and category C (low-frequency items) in condition 1, resulted in significantly less activity for category B in the right lateral region of BA 11 (middle frontal gyrus).

4. Discussion

Present data showed solid congruences with previous findings on language processing, especially with those focused on morphological processing. By taking advantage of the excellent temporal resolution of the ERP technique further information on active plural and singular formation could be obtained. Low-level visual activation (P100) is rapidly followed by early word-specific processing indicated by a negative occipito-temporal component (N200), accompanying word recognition (activity in the medial temporal gyrus) and word-semantic processes (activity in the inferior temporal gyrus) (Dehaene et al., 2002; Desai et al., 2006). The occipital dominance of the P100 component reflects the expected activation of sensory visual areas, while the bilateral, occipito-temporal maximum of the N200 (N2p) has also been reported to indicate segmental processes, as well as stimulus identification / differentiation (Patel & Azzam, 2005). The following P300, which is one of the most frequently examined ERP component but still vaguely defined as a sign for cognitive routine, is supposed to reflect general not exclusively task-relevant demand for working memory. The specific parieto-occipital distribution (P3b) found in the present study was previously interpreted as a link between stimulus quality and attentional aspects (Patel & Azzam, 2005). The final enhanced negativity is in line with previous studies that identified slow potential components to be correlates of increased cognitive processing effort in a variety of tasks (e.g. mental rotation of 3D objects) (Lamm et al., 2005). The involvement of inferior frontal regions including Broca's Area and surrounding premotor areas clearly supports the assumption of a frontal network for inflection (Sahin et al., 2005) indicated by the left anterior negativity. Anterior parts of the frontal cortex are generally known to have cognition-specific functions, while inferior frontal regions are assumed to play a major role in planning articulations, phonological manipulations and abstract grammatical processing (Sahin et al., 2005). The observed negativity seems to reflect language-related cognitive effort not only on a morphological level but also on the level of phonological processing. This would probably explain the similar activation pattern in the verb-reading task (grapheme to phoneme mapping).

No evidence was found for processing of different inflectional types in distinct cortical areas. All three categories of items evoked similar topographies and tomographies, only varying in amplitude. The ERP waveforms were nearly identical for both conditions (singular to plural or plural to singular formation), even a change of word category (noun / verb) or the absence of inflection (reading task) did not change the processing areas involved. It modulated the overall level of electrocortical activation and reaction time which were both influenced by word frequency (Chee et al., 2002; Fiebach et al., 2002; Desai et al., 2006).

Amplitude differences between conditions revealed a larger P100 for items of condition 2 (Pl. → Sg.). Within this condition the P100 component was largest in category C, possibly indicating that plurals of infrequent items are more perceptible or easier to distinguish from the remaining plural types due to their rareness and unique inflectional codings. Condition 1 (Sg. → Pl.) had equal P100 amplitudes for all categories. However, the amplitudes were generally lower than those in condition 2. This indicates that the plural forms – in a situation where singulars and plurals did constantly change – were preferred, i.e. they might have been recognized and processed more efficiently (Fig. 2E). The N200 appeared nearly identical in both conditions and all categories, while the P300 was more pronounced in condition 2, again in all categories.

A significantly higher activation of Broca's Area in category A was found by contrasting frequent and infrequent inflections (category A versus C / condition 1). This might indicate that morphonological processes presumably were stronger with frequent plural formations. By contrasting zero-marked and low-frequency items (category B versus C / condition 1), it was shown that category B evoked significantly less activity in the right lateral region of the middle frontal gyrus. This might reflect higher cognitive demands related to the processing of infrequent inflections which are not exclusively assigned to a specific linguistic mechanism as shown by the former contrast where frequent inflections activated Broca's Area to a higher extent.

Considering behavioral data it was found, that formations of singulars require less processing time. This indicates that decomposition of plurals seems to run faster than the opposite process, i.e. analysing word stems followed by suffixation of the respective plural morpheme. Possibly, the plurals presented in this condition were easier to perceive in the experimental context due to the uniform plural article and the assignation of the corresponding singular article did not require additional processing capacities. The analysis of reaction times also showed that frequency and transparency affect processing duration, i.e. frequent, transparent codings were processed faster in both conditions (condition 1 & 2: A>B>C). Remarkably, a comparison between category A and B (both having high frequency), revealed more differences in reaction time for zero-marked items in condition 2. Whether zero-morphemes are actually realized or not, the aforementioned observation could point to the fact that forms which are less marked as plurals are subsequently harder recognized as plurals. This in turn might have led to this increase in processing time.

While the ERP based source localization failed to reveal tomographic differences due to its limited spatial resolution, fMRI has been successfully applied to identify differently activated parts of one and the same anatomical structure, i.e. the IFG. These differences suggested possible phonological (medial SMA, BA 45, parts of BA 44 and 47) and morphological selectivity (ventral BA 44, dorsal BA 47) (Sahin et al., 2005).

Despite of this limitation, the present study on German inflectional morphology was able to confirm the fundamental role of the IFG in productive and receptive language processing without supporting data for an exclusive grammatical specialization. The use of an experimental design with voice-onset-triggering and sharply reduced stimulus material confirmed that the cortical activity observed reflected especially specific inflectional processes. At the same time it diminished additional processing effort that arises from complex syntax or semantics. Regarding the varying response latencies it has to be stated that the experimental procedure could have been optimized. However, it also has to be considered that constraining measures, such as acoustically cued response phases, could have had negative effects on the fairly natural setting. For this reason the chosen strategy was to double check the epoch of interest by averaging bidirectionally (item presentation until 1100msec post stimulus; 1000msec prior to voice-onset). This way the correctness of the findings could be evaluated.

The observed results nicely demonstrated that ERP based temporal and tomographical analyses of brain activity combined with a morphologically focused experimental design is an adequate instrument to widen the understanding of German inflectional processing. For future studies, however, a combination of ERP and fMRI techniques is advised to provide exact localizations.

3. ZUSAMMENFASSUNG DER RESULTATE

3.1. Verhaltensdaten

In beiden Studien (lexikalische Beurteilung, aktive Bildung) wiesen die niederfrequenten Stimuli aus Gruppe C die längste Verarbeitungsdauer auf (gemessen vom Eintritt des Zielreizes bis zum Tastendruck bzw. Voice-Onset), unabhängig von den verwendeten Konditionen (korrekt / inkorrekt, Singular / Plural). Inkorrekte Plurale aus Studie 1 wurden durchwegs langsamer verarbeitet als korrekte Plurale, wobei der geringste Abstand zwischen beiden Konditionen in Gruppe C zu finden war (64ms). Vergleicht man alle Gruppen aus Studie 1 miteinander, so zeigen sich – auf der Ebene der Verhaltensdaten – in beiden Konditionen annähernd gleiche Verarbeitungszeiten für die hochfrequenten Stimuli aus Gruppe A und B. In Studie 2 konnte über alle Gruppen beobachtet werden, daß die Bildung von Singularen aus Pluralen 200-300ms schneller durchgeführt werden kann als die von Pluralen aus Singularen. Der geringste Abstand zwischen beiden Konditionen betraf im Fall von Studie 2 die Stimuli mit Null-Flexion (184ms). Im Vergleich zur Verb-Lese-Aufgabe, ist die durchschnittliche Verarbeitungsdauer beider Bedingungen mit Unterschieden zwischen 600 und 1200ms deutlich länger. Diese Deutlichkeit zeigt sich auch in der Gegenüberstellung von aktiver Flexion und lexikalischer Beurteilung, wo die tatsächliche Bildung – sei es Singular oder Plural – die Verarbeitungszeit um etwa 900 bis 1400ms verlängert.

3.2. ERP-Wellenformen und Topographie

Auf der Ebene der ereigniskorrelierten Potentiale und ihrer Topographie, wurde ein für die jeweilige Studie konsistent bleibender Ablauf von Komponenten aufgezeichnet, daß heißt die zeitliche und potentialbezogene Struktur war, unabhängig von Gruppen und Bedingungen, in beiden Studien homogen. In Studie 1 bestand diese charakteristische Sequenz aus einer negativen Komponente, die um etwa 100ms nach der Stimuluspräsentation eintrat (N100) und zwischen 180 und 200ms von einer Positivierung gefolgt wurde (P200). Im Bereich 320-340ms post stimulus wurde ein negatives Potential registriert (N400), das zwischen 550 und 700ms in eine abschließende, positive Komponente überging (P600).

Demgegenüber zeigte der temporale Ablauf von Studie 2 folgende ereigniskorrelierte Potentiale: zwischen 80 und 120ms nach Itempräsentation wurde eine positive Komponente beobachtet (P100), gefolgt von einer Negativierung im Bereich 150-250ms post stimulus (N200). Zwischen 220 und 350ms wurde ein positives Potential aufgezeichnet (P300), das ab etwa 350ms in eine kontinuierlich ansteigende Negativität überging (langsame kortikales Potential).

Die Betrachtung der Amplitudenunterschiede innerhalb beider Studien zeigte, daß in Studie 1 die Stimuli aus Gruppe A in der zweiten Bedingung (inkorrekte hochfrequente Plurale) höhere P200 und P600 Amplituden auslösten, während Stimuli aus Gruppe B (Null-Flexion) in derselben Bedingung die Ausprägung der N400 leicht verstärkten und die der P200 Komponente minimal abschwächten. Der Vergleich zwischen hoch- und niederfrequenten, inkorrekten Pluralen (Gruppe A versus C, Bedingung 2), ergab eine deutlich verminderte P600 Komponente für Items aus Gruppe C. In der ersten Bedingung (korrekt) zeigte sich der Unterschied zwischen Flexion und Null-Flexion (Gruppe A versus B) in höheren P200 und P600 Amplituden für Gruppe B. Studie 2 wies bei der Gegenüberstellung der beiden Bedingungen (Bed.1: Singular zu Plural, Bed.2: Plural zu Singular), eine höhere P100 für Bedingung 2 auf, mit der stärksten Ausprägung innerhalb dieser Bedingung für Gruppe C (niederfrequente Plurale). Die Stärke der N200 war für alle Gruppen und Bedingungen nahezu identisch, die der P300 war im Fall der zweiten Bedingung höher, unabhängig von den untersuchten Gruppen. Im Bereich des langsamen Potentials ergaben sich deutliche Unterschiede im Bezug auf die Lateralisierung der elektrophysiologischen Aktivität, die sich darin widerspiegelte, daß die späte Negativierung in den anterioren, linkshemisphärischen Arealen ungleich stärker ausgeprägt war.

Die topographische Verteilung der interessierenden Komponenten entsprach in beiden Studien den Ergebnissen aus den ERP-Wellenanalysen. In Studie 1 zeigten die ERP-Maps eine parieto-okzipitale Ausprägung der N100, sowie eine parietale und okzipito-temporale Verteilung der P200. Die darauffolgende N400 zeigte eine Negativierung anteriorer, linksseitiger und zentraler Areale, während die abschließende P600 aus einer Aktivierung zentraler parieto-okzipitaler und rechtslateraler, zentro-parietaler Bereiche bestand. In Studie 2 hatte die P100 eine zentrale, okzipitale Ausprägung, die N200 aktivierte bilateral okzipito-temporale Areale. Die P300 zeigte eine Aktivierung zentraler, parieto-okzipitaler Bereiche, während das langsame kortikale Potential über anteriore, linksfrontale Areale verteilt war.

Für beide Studien bzw. deren relevante Zeitabschnitte wurden drei-faktorielle ANOVAs für Designs mit Messwiederholung durchgeführt (Bedingung, Gruppe, Elektrode). In Studie 1

zeigten sich keine signifikanten Inner-Subjekt-Effekte ($n=16$), die alle drei Faktoren miteinbezogen (Bed. x Gr. x Elektr.), jedoch war die Interaktion zwischen Flexionstyp und Bedingung (Bed. x Gr.) für den P200-Abschnitt signifikant (180-200ms post stimulus, $p < .022$). In Studie 2 zeigten sich signifikante Inner-Subjekt-Effekte ($n=14$) für die Interaktion aller Faktoren (Bed. x Gr. x Elektr.), in den Zeitabschnitten P100 (80-120ms p.s., $p < .001$), P300 (220-350ms p.s., $p < .008$) und im Bereich der anterioren Negativierung (350-800ms p.s., $p < .028$ bzw. 1000ms vor Voice-Onset, $p < .000$). Die Interaktion zwischen Flexionstyp und Elektrodenposition war signifikant für die Abschnitte N200 (150-250ms p.s., $p < .000$), P300 (220-350ms p.s., $p < .057$) und das langsame Potential zwischen 350 und 800ms nach Itempräsentation ($p < .032$).

3.3. Quellenlokalisierung

Durch die Verwendung von sLORETA (Pascual-Marqui, 2002) konnten die Generatoren der registrierten ERP-Komponenten lokalisiert werden, indem die Daten in eine voxelbasierte, dreidimensionale Darstellung umgewandelt wurden, die für jede Komponente die wahrscheinlichste Quelle der kortikalen Aktivität berechnete. In Studie 1 wurden die P200-Generatoren beider Bedingungen und aller Gruppen, in den visuellen parietalen und okzipitotemporalen Arealen lokalisiert (Precuneus, mittlerer Temporalgyrus und mittlerer Okzipitalgyrus). Die Generatorenbestimmung der N400 zeigte eine zentrale Aktivierung des superiores Lobulus parietalis und von Teilen des Gyrus angularis und praecentralis, bestätigte aber nicht die in der ERP-Topographie gefundene Aktivierung anteriorer linker und zentraler Areale. Die Lokalisation der P600 zeigte für Gruppe A und C in beiden Konditionen Generatoren im superiores und medialen Frontalgyrus, die der Gruppe B lagen im superiores Lobulus parietalis. In Studie 2 lagen die Generatoren der P100 in allen Gruppen und beiden Bedingungen im inferioren Okzipitalgyrus, die der N200 in den visuellen okzipitotemporalen Arealen (inferiorer und mittlerer Gyrus temporalis, Gyrus fusiformis). Die Generatoren des langsamen kortikalen Potentials zwischen 350 und 800ms post stimulus bzw. 100ms vor Voice-Onset, wurden in den anterioren Bereichen des linken und mittleren Frontalgyrus, sowie in den inferioren, medialen, orbitalen und superiores Anteilen des Gyrus frontalis lokalisiert, die sich in direkter Nachbarschaft zum Broca-Areal befinden. Zusätzlich konnte durch die Berechnung eines Kontrasts zwischen hoch- und niederfrequenten Flexionen festgestellt werden (Gruppe A versus C, Bedingung 1), daß Stimuli aus Gruppe A eine signifikant höhere Aktivierung des Broca-Areals auslösten. Ein weiterer Kontrast, zwischen Gruppe B und C in Bedingung 1 (Null-Flexion versus niedere Frequenz), ergab

eine signifikant schwächere Aktivierung im rechtslateralen Bereich des mittleren Gyrus frontalis für Gruppe B.

4. DISKUSSION UND VERGLEICH

4.1. Aktiv versus Passiv

Vergleicht man die aktive Flexion aus Studie 2 mit der passiven Beurteilung aus Studie 1, zeigen sich die Unterschiede im experimentellen Aufbau und der damit zusammenhängenden Art der neuronalen Verarbeitung deutlich in den abgeleiteten, elektrokortikalen Potentialen. Bei der lexikalischen Beurteilung korrekter und inkorrekt, deutscher Plurale wurde ein, über Bedingungen (korrekt / inkorrekt) und Gruppen (frequent, \emptyset -Plural, infrequent) konstant bleibender Verlauf ereigniskorrelierter Potentiale registriert, der Hinweise auf die neuronale Struktur der passiven Verarbeitung von Flexion lieferte. Hierbei interessant sind vor allem die, nach primärer, visueller (N100) und früher wortspezifischer Aktivierung (P200), beobachteten Komponenten N400 und P600, die einerseits als Indiz für lexikalische Integration, Aktivierung des semantischen Gedächtnis bzw. für das Erkennen morphosyntaktischer Verletzungen gewertet werden (Palolahti et al., 2005; Weyerts et al., 1997) und andererseits ein Zeichen für syntaktische Reanalyse- oder Reparaturprozesse sind, die durch morphosemantische oder morphosyntaktische Verletzungen, sowie Verletzungen der Phrasenstruktur ausgelöst werden (Friederici, 2002; Hahne et al., 2002; Palolahti et al., 2005). Demgegenüber zeigte der Potentialverlauf, der während der aktiven Bildung deutscher Plurale und Singulare registriert wurde, folgende Komponenten: Ähnlich zu Studie 1 und charakteristisch für visuell präsentierte Stimuli, beschreiben die beiden ersten Potentiale (P100, N200 / N2p) die erwartete, primäre visuelle Aktivierung bzw. das frühe Einsetzen von Worterkennung und segmentalen Prozessen (Dehaene et al., 2002; Desai et al., 2006; Patel & Azzam, 2005). Die danach eintretende P300 reflektiert einen eher generellen, nicht unbedingt aufgabenspezifischen Bedarf am Arbeitsgedächtnis, wobei die hier beobachtete parieto-okzipitale Ausprägung (P3b) als Bindeglied zwischen Aufmerksamkeit und Stimulusqualität interpretiert wurde (Patel & Azzam, 2005).

Die darauffolgende, langsam ansteigende Negativierung anteriorer, linkshemisphärischer Hirnregionen (BA 10, 11, 47), in unmittelbarer Nähe zum Broca Areal, entspricht der Annahme eines frontal gelegenen Flexionsnetzwerks (Sahin et al., 2005) und stellt zugleich den wesentlichsten Verarbeitungsunterschied zwischen den beiden Studien dar. Während die letzte Phase der passiven Beurteilung hauptsächlich morphosemantisch bzw. morphosyntaktisch bedingte Reanalyse- und / oder Reparaturmechanismen hervorrief, zeigte sich im Fall der aktiven Flexion eine Verarbeitung im Bereich des Gyrus Frontalis, der mit sprachbezogenen, kognitiven Prozessen auf morphologischer und phonologischer Ebene in Verbindung gebracht wird (Sahin et al., 2005). Bestätigung für den höheren neuronalen Aufwand bei der aktiven Flexion findet sich auch in den Verhaltensdaten, wo die Verarbeitungszeiten 1200 bis 1800ms länger sind als bei der lexikalischen Beurteilung (s. Stud.1: Fig.1E; Stud.2: Fig.2E).

4.2. Plural- versus Singularbildung versus Lesen

Anhand der neurophysiologischen Daten lässt sich kein signifikanter Unterschied zwischen aktiver Plural- und Singularformation feststellen, es gab bei Pluralbildungen lediglich leicht höhere Aktivierungsniveaus in den Zeitabschnitten 800ms post Stimulus bzw. 100ms vor Voice-Onset (s. Stud.2: Fig.2B, 2C).

Auf der Ebene der Verarbeitungszeiten zeigte sich, daß die Bildung von Singularen aus Pluralen 180-300ms schneller durchgeführt werden kann als die von Pluralen aus Singularen. Vergleicht man beide Bedingungen mit der Lesebedingung (Verben), so wird deutlich, daß das Fehlen flexionaler Prozesse die Verarbeitungsdauer um 320-1200ms verkürzt und der Vorgang Lesen-Artikulation in etwa 1000ms in Anspruch nimmt (s. Stud.2: Fig.2E).

4.3. Korrekt versus Inkorrekt

Die Verarbeitung inkorrekturer Plurale löste stärkere P600-Amplituden aus, insbesondere im Fall der frequenten Items aus Gruppe A. Die Ausnahme, bezogen auf die Ausprägung der P600, bildeten die niederfrequenten Pluralen aus Gruppe C (s. Stud.2: Fig.2C), was die Vermutung nahelegt, daß im Zuge der Verarbeitung inkorrekturer, infrequenter Plurale ein höherer kognitiver Aufwand entsteht, der in Form einer Negativierung die Stärke der P600 Komponente verringert, was auch die generell schwächeren P600-Amplituden der Gruppe C

erklären würde. Da die P600 mit Reanalyse- und Reparaturprozessen in Verbindung gebracht wird (Friederici, 2002; Hahne et al., 2002; Palolahti et al., 2005), die als Reaktion auf morphosyntaktische und/oder morphosemantische Verletzungen auftreten, könnte man die Annahme formulieren, daß bei inkorrekten aber frequenten Pluralen (Gruppe A) die zugrundeliegende Form leichter identifiziert werden kann und der Bedarf an Reanalyse- und Reparaturmechanismen eindeutiger signalisiert wird. Interessant ist diesbezüglich die Situation der Nullplurale, die sowohl in korrekter als auch inkorrekt Form eine stark ausgeprägte P600 aufweisen, was ein Indiz dafür sein könnte, daß die Unterspezifiziertheit der Funktion Plural in beiden Bedingungen nahezu gleich starke reinterpretative Massnahmen zur Folge hat.

Auf der Verarbeitungszeitebene konnte festgestellt werden, daß korrekte Plurale 65-94ms schneller verarbeitet werden können, wobei die niederfrequenten Plurale aus Gruppe C in beiden Bedingungen die längste Verarbeitungsdauer und den geringsten zeitlichen Abstand zwischen den Bedingungen aufwiesen (s. Stud.1: Fig.1E).

4.4. Frequent versus Infrequent

Beide Studien belegen den Einfluss des Faktors Frequenz, sei es anhand modulierter Amplitudenstärken oder anhand von Verarbeitungszeiten. Schwache Frequenz verminderte bei der lexikalischen Beurteilung die Ausprägung der P600 Komponente durch konkurrierende negative Aktivierung, die als Reaktion auf gesteigerten kognitiven Aufwand interpretiert werden kann, und erhöhte bei der aktiven Flexion die Ausprägung des langsamen kortikalen Potentials im Bereich 100ms vor Voice-Onset (s. Stud.1: Fig.1A; Stud.2: Fig.2A). Ein direkter Kontrast zwischen frequenten und niederfrequenten Pluralbildungen aus Studie 2, ergab eine signifikant höhere Aktivierung des Broca-Areals für frequente Plurale, die auf einen stärkeren Einsatz morphonologischer Prozesse in Gruppe A hinweisen könnte.

Anhand der Verarbeitungszeiten zeigt sich, daß schwache Frequenz in beiden Bedingungen beider Studien die Dauer der Verarbeitung um durchschnittlich 260ms (Studie 1, Gruppe A versus C) bzw. 570ms (Studie 2, Gruppe A versus C) verlängerte (s. Stud.1: Fig.1E; Stud.2: Fig.2E).

4.5. Flexion versus Nullflexion

Betrachtet man die ERP-Daten beider Studien, so finden sich keine Belege dafür, daß unterschiedliche Flexionsarten in unterschiedlichen Hirnarealen verarbeitet werden. Durch die Berechnung eines direkten Kontrasts zwischen Nullpluralen (Gruppe B) und niederfrequenten Pluralen (Gruppe C) aus Studie 2, konnte innerhalb der zweiten Bedingung (Pl. → Sg.) für Gruppe B eine signifikant schwächer ausgeprägte Aktivierung im rechtslateralen Bereich des mittleren Gyrus frontalis festgestellt werden, die darauf hindeuten könnte, daß die Verarbeitung wenig frequenter Items einen höheren kognitiven Bedarf hervorruft, der nicht ausschließlich einem spezifischen linguistischen Mechanismus zugeschrieben werden kann.

Vergleicht man die Verarbeitungszeiten beider Studien, zeigt sich im Fall der lexikalischen Beurteilung, daß die Gruppe der Nullplurale in beiden Bedingungen am schnellsten verarbeitet wurde ($B > A > C$), während bei der aktiven Formation die hochfrequenten Items aus Gruppe A in beiden Bedingungen die kürzesten Verarbeitungszeiten aufwiesen ($A > B > C$) (s. Stud.1: Fig.1E; Stud.2: Fig.2E). Für Studie 1 könnte die etwas geringere Verarbeitungsdauer in Gruppe B durch den Umstand erklärt werden, daß deren uniforme Kodierung (-er / *-eren) gegenüber den variierenden Formen in Gruppe A eine einfachere und damit schnellere Wahrnehmung ermöglichte. Studie 2, die nur korrekte Stimuli beinhaltete, zeigte hingegen in Bedingung 2, daß die fehlende Markierung der Funktion Plural bei Gruppe B die Verarbeitungszeit im Vergleich zu Gruppe A deutlich verlängert. Während beide Gruppen in der ersten Bedingung (Sg. → Pl.) fast idente Zeiten aufweisen, die sich lediglich um 12ms unterscheiden, weitet sich die Differenz bei der Bildung von Singularen aus Pluralen auf 160ms aus, was dafür sprechen würde, daß Nullplurale aufgrund ihrer gleichbleibenden Form für die Versuchspersonen weniger eindeutig und somit weniger schnell als Plural zu erkennen waren.

LITERATUR

Bauer H. (1998). Slow Potential Topography. *Behavior Research Methods, Instruments and Computers*, 30 (1): 20-33.

Barnea A. & Z. Breznitz (1998). Phonological and orthographic processing of Hebrew words: electrophysiological aspects. *Journal of General Psychology*, 159(4): 492-504.

Becker T. (1990). Analogie und morphologische Theorie. München: Fink.

Bittner A. (1988). Starke 'schwache' Verben – schwache 'starke' Verben. Überlegungen zur Struktur des deutschen Verbsystems im Rahmen der Natürlichen Morphologie. Phil. Diss. Akademie der Wissenschaften der DDR, Berlin.

Chee M.W., Hon N.H., Caplan D., Lee H.L. and Goh J. (2002). Frequency of concrete words modulates prefrontal activation during semantic judgments. *NeuroImage*, 16: 259-268.

Clark E. (1993). The lexicon in acquisition. Cambridge: Cambridge University Press.

Dehaene S., Le Clec H.G., Poline J.B., Le Bihan D. and Cohen L. (2002). The visual word form area: A prelexical representation of visual words in the fusiform gyrus. *Neuroreport*, 13: 321-325.

Desai R., Conant L.L., Waldron E. and Binder J.R. (2006). fMRI of Past Tense Processing: The Effects of Phonological Complexity and Task Difficulty. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 18(2): 278-297.

Di Russo F., Martinez A. and Hillyard S.A. (2003). Source Analysis of Event-related Cortical Activity during Visuo-spatial Activity. *Cerebral Cortex*, 13: 486-499.

Dressler W.U. (1984). Explaining Natural Phonology. In: *Phonology Yearbook* (1), 29-51. Cambridge University Press.

Dressler W.U. et al. (1987). Leitmotifs in natural morphology. In: *Studies in language companion series* 10. Amsterdam: Benjamins.

Dressler W.U. (1998). What is the core of morphology. In Niemi J., Odlin T. & Heikkinen J. (Eds.) *Language Contact, Variation and Change* (pp. 15-32). University of Joensuu.

Dressler W.U. (1999). What is *Natural* in Natural Morphology? In: E. Hajicova, T. Hoskovec, O. Leska, P. Sgall & Z. Skoumalova (Hrsg.) *Prague Linguistic Circle Papers*, Vol. 3, 135-144. Amsterdam/ Philadelphia: Benjamins.

Dressler W.U. & M. Ladanyi (2000). Productivity in word formation: a morphological approach. *Acta Linguistica Hungarica*, Vol. 47(1-4), 103-144.

Engel A.K et al. (1990). Stimulus-dependent neuronal oscillations in cat visual cortex: intercolumnar interaction as determined by cross-correlation analysis. *European Journal of Neuroscience*, 2: 588-608.

Fiebach C.J., Friederici A.D., Muller K. and Von Cramon D.Y. (2002). fMRI evidence for dual routes to the mental lexicon in visual word recognition. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 14: 11-23.

Friederici A.D. (2002). Towards a neural basis of auditory sentence processing. *Trends in Cognitive Science* (6): 78–84.

Friedrich S. (2001). Externe vs. Interne Evidenz: Methodenreflexion anhand der Natürlichen Phonologie und des Natürlichkeitstheoretischen Begriffs der Produktivität. Diplomarbeit, Univ. Wien.

Hahne A. & Friederici A.D. (2002). Differential task effects on semantic and syntactic processes as revealed by ERPs. *Cognitive Brain Research* (13): 339–356.

Karpf A. (1990). Selbstorganisationsprozesse in der sprachlichen Ontogenese: Erst- und Fremdsprache(n). *Tübinger Beiträge zur Linguistik*, 352. Tübingen: Narr.

Köpcke K.-M. (1988). Schemas in German plural formation. *Lingua* 74, 303-335.

Köpcke K.-M. (1993). Schemata bei der Pluralbildung im Deutschen: Versuch einer kognitiven Morphologie. *Studien zur deutschen Grammatik* 47. Tübingen: Narr.

Lamm C., Fischmeister F.P. and Bauer H. (2005). Individual differences in brain activity during visuo-spatial processing assessed by slow cortical potentials and LORETA. *Cognitive Brain Research*, 25 (3): 900-912.

Liu Y., Perfetti C.A. and Hart L. (2003). ERP evidence for the time course of graphic, phonological and semantic information in Chinese meaning and pronunciation decisions. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition.*, 29: 1231-1247.

Mayerthaler W. (1981). Morphologische Natürlichkeit. *Linguistische Forschungen* 28. Wiesbaden: Athenaion.

Murthy & Tetz (1991). Synchronized 25-35Hz oscillations in sensorimotor cortex of awake monkeys. *Soc. Neurosci. Abstr.*, 17: 310.

Palolahti M., Leino S., Jokela M., Kopra K. and Paavilainen P. (2005). Event-related potentials suggest early interaction between syntax and semantics during on-line sentence comprehension. *Neuroscience Letters*, 384: 222–227.

Pascual-Marqui R.D. (1994). Low Resolution Electromagnetic Tomography : A New Method for Localizing Electrical Activity in the Brain. *Int. Journal of Psychophysiology*, 18: 49-65.

Pascual-Marqui R.D. (2002). Standardized low resolution brain electromagnetic tomography (sLORETA): technical details. *Methods & Findings in Experimental & Clinical Pharmacology*, 24D: 5-12.

Patel S.H. & P.N. Azzam (2005). Characterization of N200 and P300: Selected Studies of the Event-Related Potential. *International Journal of Medical Sciences*, 2 (4): 147-154.

Sahin N.T., Pinker S. and Halgren E. (2005). Abstract Grammatical Processing of Nouns and Verbs in Broca's Area: Evidence from fMRI. *Cortex – Special Issue*, p. 1-30.

Stampe D. (1984). On the two levels of phonological representations. In: W.U. Dressler & L. Tonelli (1984, Hrsg.) *Natural Phonology from Eisenstadt*, 131-142.

Steriade M. et al. (1990). Basic mechanisms of cerebral rhythmic activities. *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol.*, 76: 481-508.

Weyerts H., Penke M., Dohrn U., Clahsen H. and Münte T.F. (1997). Brain potentials indicating differences between regular and irregular German plurals. *Neuroreport*, 8(4): 957-962.

Zangl R. (1998). Dynamische Muster in der sprachlichen Ontogenese: Bilingualismus, Erst- und Fremdsprachenerwerb. *Tübinger Beiträge zur Linguistik*, 433. Tübingen: Narr.

APPENDIX A: STIMULUSMATERIAL STUDIE 1

Phrasenkontext

Das sind
Sie sehen
Es fehlen
Man sucht
Wir haben
Es gibt
Er mag
Sie kauft

Plurale korrekt

Gruppe A	Gruppe B	Gruppe C
Äpfel	Anker	Allele
Arten	Arbeiter	Atlanten
Babies	Bagger	Balkone
Bälle	Bohrer	Basen
Bärte	Brunnen	Bias
Bäume	Bürger	Chiasmata
Bistros	Daumen	Chroniken
Bonbons	Dichter	Depots
Brüder	Dotter	Dosen
Büros	Eimer	Embleme
Busse	Elfer	Entropien
Cellos	Fechter	Fiaskos
Dachse	Fenster	Finale
Decken	Fischer	Fonts
Dias	Fleischer	Foren
Dolche	Forscher	Globen
Dome	Gegner	Granite
Ecken	Geier	Gravuren
Fäden	Haken	Herzöge
Farne	Hamster	Hiatus
Flocken	Händler	Honige
Fotos	Imker	Indices
Frösche	Kater	Jamben
Füsse	Keller	Jargons
Gärten	Kellner	Joche
Genies	Knochen	Kleinodien
Hämmer	Koffer	Kortices
Hobbies	Kuchen	Lexeme
Hotels	Laken	Liaisonen
Hunde	Lehrer	Ligen
Hüte	Lenker	Maxima
Kästen	Mädchen	Menhire
Kilos	Maler	Nasale
Kinos	Märchen	Nektare
Klos	Meister	Neubauten

Knöpfe	Messer	Orbits
Körbe	Meter	Orcas
Lachse	Mieter	Panoramen
Lamas	Neider	Paradoxa
Listen	Opfer	Pensen
Mankos	Pärchen	Praxen
Monde	Pullover	Quanten
Mottos	Rennen	Quiz
Nägel	Rentner	Radien
Nasen	Richter	Regressen
Öfen	Rochen	Reverse
Orte	Schäfer	Rhomben
Pausen	Schiefer	Schemata
Pfaue	Schnuller	Sepien
Ponies	Schuster	Slaloms
Radios	Sieger	Somata
Schnäbel	Teller	Stolen
Tanten	Tiger	Transfers
Trios	Tresen	Tremores
Truhen	Tropfen	Unionen
Türme	Wächter	Vedas
Vögel	Weber	Volants
Zebbras	Zepter	Winke
Zellen	Zimmer	Zenite
Züge	Zöllner	Zyklen

Plurale inkorrekt

Gruppe A	Gruppe B	Gruppe C
Arms	Änkers	Allels
Artens	Arbeiteren	Atlasse
Bads	Bäggers	Balkons
Bauers	Böhrers	Basisen
Bonbone	Brünnens	Biasen
Büroen	Bürgers	Chiasmas
Chances	Däumens	Chronikas
Cellone	Dichteren	Depote
Chors	Dötters	Dosisen
Dächen	Eimeren	Emblems
Diän	Elferen	Entropiesen
Düftes	Fechteren	Fiasken
Eckens	Fensteren	Finales
Fadens	Fischeren	Fonten
Felders	Fleischeren	Forums
Figurs	Förschers	Globusse
Fotoen	Gegneren	Granits
Gartens	Geieren	Gravüre
Gelden	Häkens	Herzogen
Genien	Hämsters	Hiaten
Hafens	Händlers	Honigs
Handen	Imkeren	Indexe
Hemds	Kätters	Jambuse

Hoteln	Kellern	Jargone
Inken	Kellneren	Jöche
Jahrs	Knöchens	Kleinods
Jöbe	Köffers	Kortexe
Kanuen	Küchens	Lexems
Kernens	Läkens	Liaisons
Kobren	Lehreren	Ligas
Kochs	Lenkeren	Maximums
Krane	Mädchene	Menhirs
Landen	Mälers	Nasals
Listes	Märchens	Nektars
Lohns	Meisteren	Neubaus
Mamben	Messeren	Orbite
Mangoen	Meteren	Orcen
Nachten	Mieteren	Panoramas
Nummers	Neideren	Paradoxone
Opers	Öpfers	Pensums
Orts	Pärchene	Praxissen
Parke	Püllovers	Quantums
Päusen	Rennene	Quizen
Plans	Rentneren	Radiusse
Raden	Richterens	Regressen
Radione	Röchens	Reversen
Schecke	Schäfers	Rhombusse
Schiffs	Schieferen	Schemase
Schwans	Schnüllers	Sepias
Söhnen	Schüsters	Slalome
Tanke	Siegeren	Somä
Töre	Telleren	Stolaen
Uhres	Tigeren	Transfere
Unien	Tresene	Tremore
Vaters	Tröpfens	Unions
Wegs	Wächteren	Vedane
Zahnen	Weberen	Volanten
Zebraen	Zepteren	Winks
Zelles	Zimmeren	Zenits
Zugs	Zöllneren	Zyklusse

APPENDIX B: STIMULUSMATERIAL STUDIE 2

Singulare (präsentiert mit definiten Artikeln *der, die, das*)

Gruppe A	Gruppe B	Gruppe C
Apfel	Anker	Allel
Art	Arbeiter	Atlas
Baby	Bagger	Balkon
Ball	Bohrer	Basis
Bart	Brunnen	Bias
Baum	Bürger	Chiasma
Bistro	Daumen	Chronik
Bonbon	Dichter	Depot
Bruder	Dotter	Dosis
Büro	Eimer	Emblem
Bus	Elfer	Entropie
Cello	Fechter	Fiasko
Dachs	Fenster	Finale
Decke	Fischer	Font
Dia	Fleischer	Forum
Dolch	Forscher	Globus
Dom	Gegner	Granit
Ecke	Geier	Gravur
Faden	Haken	Herzog
Farn	Hamster	Hiatus
Flocke	Händler	Honig
Foto	Imker	Index
Frosch	Kater	Jambus
Fuß	Keller	Jargon
Garten	Kellner	Joch
Genie	Knochen	Kleinod
Hammer	Koffer	Kortex
Hobby	Kuchen	Lexem
Hotel	Laken	Liaison
Hund	Lehrer	Liga
Hut	Lenker	Maximum
Kasten	Mädchen	Menhir
Kilo	Maler	Nasal
Kino	Märchen	Nektar
Klo	Meister	Neubau
Knopf	Messer	Orbit
Korb	Meter	Orca
Lachs	Mieter	Panorama
Lama	Neider	Paradoxon
Liste	Opfer	Pensum
Manko	Pärchen	Praxis
Mond	Pullover	Quantum
Motto	Rennen	Quiz
Nagel	Rentner	Radius
Nase	Richter	Regreß
Ofen	Rochen	Revers

Ort	Schäfer	Rhombus
Pause	Schiefer	Schema
Pfau	Schnuller	Sepia
Pony	Schuster	Slalom
Radio	Sieger	Soma
Schnabel	Teller	Stola
Tante	Tiger	Transfer
Trio	Tresen	Tremor
Truhe	Tropfen	Union
Turm	Wächter	Veda
Vogel	Weber	Volant
Zebra	Zepter	Wink
Zelle	Zimmer	Zenit
Zug	Zöllner	Zyklus

Plurale (präsentiert mit definitivem Artikel *die*)

Gruppe A	Gruppe B	Gruppe C
Äpfel	Anker	Allele
Arten	Arbeiter	Atlanten
Babies	Bagger	Balkone
Bälle	Bohrer	Basen
Bärte	Brunnen	Bias
Bäume	Bürger	Chiasmata
Bistros	Daumen	Chroniken
Bonbons	Dichter	Depots
Brüder	Dotter	Dosen
Büros	Eimer	Embleme
Busse	Elfer	Entropien
Cellos	Fechter	Fiaskos
Dachse	Fenster	Finale
Decken	Fischer	Fonts
Dias	Fleischer	Foren
Dolche	Forscher	Globen
Dome	Gegner	Granite
Ecken	Geier	Gravuren
Fäden	Haken	Herzöge
Farne	Hamster	Hiatus
Flocken	Händler	Honige
Fotos	Imker	Indices
Frösche	Kater	Jamben
Füsse	Keller	Jargons
Gärten	Kellner	Joche
Genies	Knochen	Kleinodien
Hämmer	Koffer	Kortices
Hobbies	Kuchen	Lexeme
Hotels	Laken	Liaisonen
Hunde	Lehrer	Ligen
Hüte	Lenker	Maxima
Kästen	Mädchen	Menhire

Kilos	Maler	Nasale
Kinos	Märchen	Nektare
Klos	Meister	Neubauten
Knöpfe	Messer	Orbits
Körbe	Meter	Orcas
Lachse	Mieter	Panoramen
Lamas	Neider	Paradoxa
Listen	Opfer	Pensen
Mankos	Pärchen	Praxen
Monde	Pullover	Quanten
Mottos	Rennen	Quiz
Nägel	Rentner	Radien
Nasen	Richter	Regressen
Öfen	Rochen	Reverse
Orte	Schäfer	Rhomben
Pausen	Schiefer	Schemata
Pfaue	Schnuller	Sepien
Ponies	Schuster	Slaloms
Radios	Sieger	Somata
Schnäbel	Teller	Stolen
Tanten	Tiger	Transfers
Trios	Tresen	Tremores
Truhen	Tropfen	Unionen
Türme	Wächter	Vedas
Vögel	Weber	Volants
Zebras	Zepter	Winke
Zellen	Zimmer	Zenite
Züge	Zöllner	Zyklen

Verben

angeln
 arbeiten
 backen
 borgen
 bügeln
 danken
 denken
 drücken
 erlauben
 ernten
 fangen
 feiern
 fernsehen
 fischen
 geben
 giessen
 grillen
 halten
 heben
 holen

impfen
jagen
jammern
jubeln
kennen
kentern
klopfen
legen
liegen
loben
malen
mischen
montieren
naschen
nützen
ordnen
organisieren
packen
parken
pochen
rammen
rennen
riechen
rufen
sägen
schlafen
segeln
suchen
tanzen
trainieren
üben
umleiten
vergessen
vorlegen
waschen
wechseln
wohnen
zahlen
zähmen
ziehen

APPENDIX C: Kurzbeschreibung Deutsch

Ereigniskorrelierte Potentiale (EKP) wurden während der lexikalischen Beurteilung Deutscher Plurale (Studie 1) bzw. während der aktiven Bildung Deutscher Plurale und Singulare (Studie 2) aufgezeichnet, um die damit verbundenen neuronalen Prozesse untersuchen zu können. Für beide Studien wurden drei Stimulusgruppen verwendet, die sich aus (A) hochfrequenten, (B) null-markierten und (C) niederfrequenten Pluralen zusammensetzten, was ermöglichen sollte, Effekte von Wortfrequenz und Flexionstyp zu beobachten.

In Studie 1 wurden die Stimuli zwanzig Probanden visuell präsentiert, entweder in korrekter (Bedingung 1) oder inkorrekt Form (Bedingung 2). Nach jedem präsentierten Plural, mussten die Probanden beurteilen, ob es sich um einen korrekt flektierten Plural handelte oder nicht, und mittels Tastendruck (Taste 1 = korrekt, Taste 2 = inkorrekt) ihre Beurteilung abgeben. Anhand der Verhaltensdaten zeigte sich, daß Wortfrequenz und Transparenz, in beiden Bedingungen, Einfluss auf die flexionale Verarbeitungsdauer ausüben ($B > A > C$). Die registrierten Wellenformen waren über Gruppen und Bedingungen homogen, und bestanden aus vier ereigniskorrelierten Komponenten (N100; P200; N400; P600). In Bedingung 2 (inkorrekt Plural) wurde festgestellt, daß sich die schwache Frequenz der Stimuli aus Gruppe C auf den Grad der elektrophysiologischen Aktivierung auswirkte, was in einer Verminderung der P600-Amplitude zum Ausdruck kam. Veränderungen des Flexionstyps zeigten keinen signifikanten Effekt auf das grundlegende Erscheinungsbild der elektrokortikalen Potentiale oder ihrer Topographie, lediglich auf das Niveau ihrer Ausprägung. Beispielweise hatten korrekte Nullplurale (Gruppe B), verglichen mit korrekten Pluralen aus Gruppe A, etwas höhere P200- und P600-Amplituden.

EKP-Topographien und Quellenlokalisationen entsprachen vergleichbaren, neurowissenschaftlichen Studien, wie etwa die um 400ms nach Itempräsentation aufgetretene Aktivierung zentraler und linkslateraler, anteriorer Areale, die auf lexikalische Integrationsprozesse, Einsatz des semantischen Gedächtnis und Reaktion auf morphosyntaktische Verletzungen hinweisen (Palolahti et al., 2005; Weyerts et al., 1997).

In Studie 2 wurden Deutsche Singulare (Sg., Bedingung 1) und Plurale (Pl., Bedingung 2) fünfzehn Probandinnen visuell präsentiert, die davon ausgehend die entsprechende Plural- bzw. Singularform bilden und verbal äußern mussten. Die aufgezeichneten Verhaltensdaten konnten zeigen, daß der Faktor Wortfrequenz die Verarbeitungsgeschwindigkeit beeinflusst ($A > B > C$), und zwar unabhängig von den beiden untersuchten Bedingungen. Weiters konnte festgestellt werden, daß sich geringere Frequenz (Gruppe C) in Bedingung 1 (Singular zu Plural), in einer Erhöhung der frontalen Negativität

200 bis 300ms vor dem Einsetzen der Antwort niederschlägt. Unterschiede im Flexionstyp schienen keine Auswirkung auf die grundlegende Charakteristik der EKPs oder ihre räumliche Verteilung zu haben, und zeigten sich – wie oben angesprochen – nur auf der Ebene der Verhaltensdaten. Der zeitliche Verlauf der EKPs war für alle Gruppen und Bedingungen einheitlich und setzte sich aus drei, rasch wechselnden Komponenten (P100; N200; P300) und einem langsamen kortikalen Potential (frontale Negativierung zwischen 350 und 800ms post stimulus) zusammen. Die Quellenlokalisierung zur Bestimmung der Generatoren der Komponenten, waren mit Ergebnissen vergleichbarer Untersuchungen konform, beispielsweise die beobachtete Aktivierung temporal gelegener, visueller oder linksfrontaler Areale (Desai et al., 2006; Sahin et al., 2005).

APPENDIX D: Kurzbeschreibung Englisch

Event-related potentials (ERP) were used to explore neural processes during the lexical judgement of German plural nouns (study 1) as well as during the active formation of German singular and plural nouns (study 2). Both studies used three categories of plurals – (A) high-frequency, (B) zero-marked and (C) low-frequency plurals – that were chosen as stimulus material in order to investigate the effects of word frequency and inflectional type. In the first study the items were visually presented to twenty participants, either in correct (condition 1) or incorrect form (condition 2). The subjects had to decide if the presented item was a properly inflected noun or not and were asked to give a response after each item by pressing one of two buttons (1 = correct, 2 = incorrect). Behavioral data showed for both conditions, that word frequency and transparency have a direct influence on the inflectional processing speed (B>A>C). The collected waveforms were similar across categories and conditions, consisting of four event-related components (N100; P200; N400; P600). In condition 2 (incorrect plural) word frequency was found to influence the degree of electrophysiological activation, manifested in a lowered P600 component for low-frequency items. Variation of the inflectional type had no significant effect on the general appearance of the electrocortical potentials and their topography. Correct zero-marked items (B) had slightly greater P200 and P600 peaks, compared to correct items of category A. ERP-maps and generator localizations were in accordance with comparable, neuroscientific studies, for instance activation of central and left anterior areas around 400msec which indicates

processes of lexical integration, semantic memory activation as well as morphosyntactic violations (Palolahti et al., 2005; Weyerts et al., 1997).

In the second study German substantives were visually presented to fifteen participants, either in nominative singular (Sg., condition 1) or plural (Pl., condition 2). The subjects had to produce the corresponding plural / singular form and were asked to give a verbal response to each item. The obtained behavioral data showed that the factor word frequency had a direct influence on the processing speed ($A > B > C$), regardless of the two experimental conditions. In condition one (singular to plural) word frequency was found to influence the degree of brain activation manifested by an enhanced frontal negativity 200-300msec before voice-onset. The analysis of the factor inflectional type showed no effects on the general characteristics of the ERPs and their topography or tomography - only minimal changes in reaction time have been observed. The temporal course of the ERP waveforms was homogenous for all categories and conditions, consisting of three rapidly changing components (P100; N200 P300), followed by a slowly emerging frontal negativity starting around 350msec after stimulus onset (slow cortical potential). Generator localizations at the relevant latencies showed solid congruencies with comparable studies, e.g. activity in temporal visual and left frontal areas.

APPENDIX E: Lebenslauf

Mag. phil. Sebastian Friedrich, geb. am 4.8.1977 in Salzburg

- 1995 AHS-Matura am Akademischen Gymnasium Salzburg
- 2002 Abschluss des Studiums Sprachwissenschaft an der Universität Wien mit ausgezeichnetem Erfolg
- seit 2003 Doktoratsstudium der Psychologie (Abteilung für Biologische Psychologie)
- 2007 bis 2009 Durchführung zweier ERP-Studien im Rahmen des Doktorats (F117-B Forschungsstipendium der Universität Wien)