

Konzeptualisierung in der Sprachproduktion: Untersuchung mittels ereigniskorrelierter Potenziale

Dissertation

zur Erlangung des akademischen Grades

**doctor rerum naturalium
(Dr. rer. nat.)**

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

von Annette Marek, M. A., Klinische Linguistin
geboren am 20.10.1970 in Würselen

Gutachter:
Prof. Dr. Thomas F. Münte
Prof. Dr. Sonja A. Kotz

eingereicht am 17.06.2010
verteidigt am 22.10.2010

Inhaltsverzeichnis

Kapitel 1: Einleitung	4
Kapitel 2: Kognitive Prozesse bei der Sprachproduktion	6
2.1 Die Annahme unterschiedlicher Verarbeitungsebenen	6
2.2 Levelts Rahmenmodell der Sprachproduktion	10
2.3 Konzeptualisierung — die Entstehung eines Sprechplans	15
2.4 Der Zusammenhang zwischen Arbeitsgedächtnis und Sprache	20
2.5 Die Neurobiologie von Sprache und Arbeitsgedächtnis	22
Kapitel 3: Sprachproduktion und ereigniskorrelierte Potenziale	26
3.1 Das ereigniskorrelierte Potenzial (EKP).....	26
3.2 Typische Komponenten des ereigniskorrelierten Potenzials.....	28
3.3 Elektrophysiologische Untersuchungen zur Sprachproduktion	31
3.4 Generelle Überlegungen zur Konzeption der Experimente.....	32
3.5 Leitfragen für die durchgeführten Experimente.....	34
3.6 Konsequenzen für die Versuchsdurchführungen.....	35
Kapitel 4: Experiment I — Komplexität der Konzeptualisierung	37
4.1 Die Produktion komplexer Sprechäußerungen	37
4.2 Methodisches Vorgehen.....	40
4.2.1 Probanden.....	40
4.2.2 Stimuli.....	40
4.2.3 Prozedere	42
4.2.4 Datenaufzeichnung und –analyse.....	45
4.3 Ergebnisse	47
4.3.1 Sprechdaten.....	47
4.3.2 EEG–Daten.....	49
4.4 Diskussion	52
Kapitel 5: Experiment II — Linearisierung zeitlicher Ereignisse	55
5.1 Das Linearisierungsproblem.....	55
5.2 Methodisches Vorgehen.....	60

5.2.1	Probanden.....	60
5.2.2	Stimuli.....	61
5.2.3	Prozedere	62
5.2.4	Datenaufzeichnung und –analyse.....	65
5.3	Ergebnisse	66
5.3.1	Sprechdaten.....	66
5.3.2	EEG–Daten.....	68
5.4	Diskussion.....	72
Kapitel 6: Experiment III — Informationsauswahl in Bildbeschreibungen		75
6.1	Die Spezifizierung von Gegenständen.....	75
6.2	Methodisches Vorgehen.....	81
6.2.1	Probanden.....	81
6.2.2	Stimuli.....	81
6.2.3	Prozedere	82
6.2.4	Datenaufzeichnung und –analyse.....	84
6.3	Ergebnisse	85
6.3.1	Sprechdaten.....	85
6.3.2	EEG–Daten.....	87
6.4	Diskussion.....	93
Kapitel 7: Diskussion — Konzeptualisierung beim Beschreiben komplexer Anordnungen		97
7.1	Gibt es ein neurologisches Korrelat der Komplexität?	97
7.2	Elektrophysiologie verschiedener Linearisierungsprozesse	98
7.3	Lassen sich Selektionsprozesse neurophysiologisch nachweisen?	100
7.4	Zur Bedeutung von Aufmerksamkeitsprozessen innerhalb der Konzeptualisierung	102
7.5	Ausblick: Konzeptualisierungsprozesse und EKPs	106
Kapitel 8: Zusammenfassung.....		108
Bibliographie.....		109
Anhang		125

Kapitel 1: Einleitung

„Ich glaube, dass manch großer Redner, in dem Augenblick, da er den Mund aufmachte, noch nicht wusste, was er sagen würde. Aber die Überzeugung, dass er die ihm nötige Gedankenfülle schon aus den Umständen und der daraus resultierenden Erregung seines Gemüts schöpfen würde, macht ihn dreist genug, den Anfang, auf gutes Glück hin, zu setzen.“ (von Kleist 1805/1806: „Über die allmähliche Verfertigung der Gedanken beim Reden“)

Sprechen ist eine der liebsten Beschäftigungen der menschlichen Spezies; wir diskutieren, unterhalten uns, führen Selbstgespräche. Wir sprechen dauernd, scheinbar mühelos produzieren wir im Durchschnitt bis zu 150 Wörter in der Minute bzw. 5–6 Silben je Sekunde (Bock, 1995). Kleine Kinder lernen in nur wenigen Jahren, sich verständlich in vollständigen Sätzen auszudrücken. Dabei ist Sprechen nicht so einfach, wie es zuerst wirken mag: Ein Sprecher öffnet den Mund und die Worte sprudeln heraus. Sprechen ist vielmehr das Ergebnis komplexer kognitiver und motorischer Prozesse, deren Abläufe uns in der Regel gar nicht bewusst sind: Wir achten auf den zu sagenden Inhalt sowie den oder die Gesprächspartner, nicht aber auf den Sprechvorgang an sich (Levelt, 1989; Hermann und Grabowski, 1994). Ganz im Gegenteil, oft schleichen sich sogar hartnäckige Versprecher ein, sobald wir versuchen, uns auf einzelne, ansonsten automatisch ablaufende Sprechabläufe zu konzentrieren (siehe Leuninger, 2001, für eine Sammlung und Interpretation zahlreicher Versprecher).

Diese Fehlbildungen sind aus psycholinguistischer Sicht interessant, zeigen sie doch, dass der Sprachproduktion spezifische Mechanismen zugrunde liegen, die je nach Versprecher in unterschiedlicher Weise betroffen sind (z. B. Fromkin, 1971). Sie liefern daher ein wichtiges Puzzleteil bei der Erstellung von Modellvorstellungen zur Sprachproduktion. Weitere Hinweise für diese unterschiedlichen Verarbeitungskomponenten entstammen experimentellen, klinischen und neurokognitiven Untersuchungen. Innerhalb der Produktionsforschung gehen viele Studien der Frage nach, wie der lexikalische Abruf erfolgt, wie Satzrahmen generiert werden oder wie Äußerungen lautlich realisiert werden (Bock, Konopka und Middleton, 2006; Levelt, Roelofs und Meyer, 1999).

Methoden der kognitiven Neurowissenschaften betrachten den Zusammenhang zwischen Sprache und Gehirn (Poeppel und Embick, 2006). Dabei geht es um die Beantwortung unterschiedlicher Fragen (Steinhauer und Connolly, 2008):

- Wann finden Prozesse im Gehirn statt?
- Wie sieht der genaue Ablauf dieser Prozesse bzw. Funktionen aus?
- Wo sind diese neuroanatomisch repräsentiert?

In jüngster Zeit kamen vermehrt ereigniskorrelierte Potenziale (EKPs) zum Einsatz, um den zeitlichen Verlauf von Prozessen beim Verstehen und Produzieren von Sprache genauer zu untersuchen. Durch die Kombination mit Verfahren der funktionellen Bildgebung (funktionelle Magnetresonanztomographie (fMRT), Positronenemissionstomographie (PET)) ist es zudem möglich, genauere lokalisatorische Aussagen zu treffen.

Innerhalb der Psycholinguistik und der kognitiven Neurowissenschaften werden dabei die überwiegende Anzahl der Studien auf Einzelwortebene durchgeführt, seltener auf Satzebene. Allerdings ist die lexikalische und syntaktische Aktivierung bzw. Generierung erst der zweite Schritt bei der Sprachproduktion. Vorher muss der Sprecher die Idee zu einer sprachlichen Nachricht formen. Diesen Schritt bezeichnet man als Konzeptualisierung. Hier geht es zum einen darum, was der Sprecher zu sagen plant, und zum anderen, mit welchen sprachlichen Mitteln er den Plan umsetzt.

Hauptgegenstand dieser Dissertation sind die beteiligten Prozesse während der Konzeptualisierung bei hirngesunden Probanden. Untersucht wurden dabei Äußerungen bei der Beschreibung komplexer Anordnungen. Bevor die eigenen Experimente beschrieben werden, erfolgt in Kapitel 2 eine Darstellung der relevanten psycholinguistischen und neurowissenschaftlichen Grundlagen. Es werden Aspekte gängiger Sprachproduktionsmodelle skizziert, wobei der Schwerpunkt auf dem Modell von Levelt (1989, 1999) sowie auf den Konzeptualisierungsprozessen liegt. In Kapitel 3 wird die Durchführung von Untersuchungen mittels ereigniskorrelierter Potenziale beschrieben, außerdem werden ausgewählte Studien zur Sprachproduktion vorgestellt. Das Kapitel endet mit den methodologischen Konsequenzen für die eigenen Experimente sowie den spezifischen Untersuchungsfragen, bevor dann die empirischen Teile der Promotionsarbeit folgen.

Im abschließenden Kapitel werden die wesentlichen Ergebnisse aus den durchgeführten Experimenten noch einmal zusammengefasst und aus verschiedenen Blickrichtungen diskutiert.

Kapitel 2: Kognitive Prozesse bei der Sprachproduktion

„Zuerst verwirren sich die Worte, dann verwirren sich die Begriffe, und schließlich verwirren sich die Sachen.“ (Chinesische Weisheit)

2.1 Die Annahme unterschiedlicher Verarbeitungsebenen

Innerhalb der Sprache werden verschiedene linguistische Informationsstrukturen unterschieden: die lautliche Ebene (Phonologie), die Bedeutungsebene (Semantik) und die grammatikalisch-strukturelle Ebene (Morphosyntax).

Bereits von Beginn an ist unsere Aufmerksamkeit auf Sprache gelegt: Mit ca. vier bis sechs Wochen beginnen Säuglinge, mit Lauten zu experimentieren. Prosodische Eigenschaften werden extrahiert und die Charakteristika der jeweiligen Sprache entdeckt. Bereits mit etwa sieben Monaten zeigen Säuglinge eine Präferenz für der Muttersprache zugehörige Lautstrukturen. Allerdings haben diese Silbenketten zu Beginn noch keinerlei Bedeutung, das Kind experimentiert vielmehr mit seinen verbal-motorischen Fähigkeiten und baut ein Silbenrepertoire auf (De Boysson-Bardies und Vihman, 1991). Allmählich entstehen erste Konzepte, bevor schließlich mit etwa zwölf Monaten Wörter erkennbar sind. Diese so genannten Protowörter sind von der phonologischen Struktur noch einfach, oft handelt es sich um Silbenreduplikationen wie *Mama*, *Papa*, *Wauwau*. Konzeptuell-semantisch sind sie noch ungenau differenziert, was sich im Sprachgebrauch in Über- oder Unterspezifizierungen äußert (Karmiloff und Karmiloff-Smith, 2002; Bloom, 2000; Aitchison, 1998; Clark, 1997). Allerdings zeigen diese Wörter, dass erste Verknüpfungen zwischen der Bedeutung und den lautlichen Strukturen vorhanden sind.

Diese Wortformen sind ganzheitlich abgespeichert und es überwiegen Vereinfachungsformen, die bestimmten universellen Mustern folgen, z. B. wird aus *Sonne* /tɔnə/. Mit etwa zwei Jahren beginnt die Phase der Phonologisierung, das kindliche Lautsystem stabilisiert sich und differenziert sich weiter aus (Levelt, Schiller und Levelt, 1999; De Boysson-Bardies und Vihman 1991; Elbers, 1982).

Die grammatikalische Entwicklung der Kinder schreitet ebenfalls voran: im dritten Lebensjahr spielt neben semantischen und phonologischen Informationen auch morphosyntaktisches Wissen zunehmend eine Rolle, Kinder beginnen mit der Produktion komplexer Mehrwortäußerungen.

Somit haben sie erfolgreich ein Informationssystem aufgebaut, das unterschiedliche Informationen integriert und koordiniert (Levelt, 1999; Bloom, 2000).

Psycholinguistische Modelle versuchen, den Zugriff eines Sprechers auf Semantik, Phonologie und Syntax analog zur kindlichen Sprachentwicklung zu beschreiben. Wesentlich geprägt werden diese Modelle durch:

1. die Versprecherforschung (u. a. Fromkin, 1971; Shattuck–Hufnagel, 1979; Butterworth, 1980; Levelt, 1983; Meyer, 1992),
2. die Ergebnisse zahlreicher Benennstudien (u. a. Thorpe, Fize, Marlot, 1996; Levelt, Schriefers, Vorberg et al., 1991, siehe auch Levelt et al., 1999 für eine Zusammenfassung relevanter Studien), und
3. neuropsychologische Daten (u. a. Rapp, 2001; Nickels, 1997; Garrett, 1992).

Die meisten der Modelle nehmen drei unterschiedliche Teilprozesse an (z. B. Butterworth, 1980; Garrett, 1988; Dell und O’Seaghada, 1992; Harley, 1984; Levelt, 1989, 1999): Für die Entstehung einer Sprachbotschaft bildet der Sprecher zunächst bestimmte Konzepte, er formt eine Idee dessen, was er ausdrücken möchte. Im nächsten Schritt wird für die zuvor erstellte Idee eine adäquate sprachliche Formulierung erstellt. Der letzte Schritt ist die Artikulation, bei der die phonetischen Pläne in akustische Signale umgesetzt werden. Interessanterweise beginnen diese Modelle alle erst nach der bereits existierenden kommunikativen Absicht und nicht vorher (siehe für eine ausführliche Darstellung Hermann und Grabowski, 1994).

Die meisten der durchgeführten Studien zu Versprechern beziehen sich dabei auf die Formulierung einer adäquaten sprachlichen Form, d. h. den Zugriff auf die lexikalischen Informationen. Dieser erfolgt in zwei Schritten: zunächst werden auf der positionalen Ebene semantische Informationen aktiviert, erst später spielen auf der funktionalen Ebene auch phonologische Aspekte eine Rolle (siehe auch Fromkin, 1971; Butterworth, 1980; Levelt, 1989).

Entscheidend ist, dass Fehler nicht willkürlich auftreten, sondern bestimmten Regelmäßigkeiten unterliegen (Garrett, 1988). Bei Vertauschungen wechseln zwei sprachliche Einheiten ihren Platz, bei Antizipationen werden sprachliche Einheiten vorweggenommen und bei Postpositionen bzw.

Perseverationen sind sprachliche Einheiten noch präsent und werden erneut verwendet, das gilt für Wörter oder auch Wortteile (Beispiele aus Leuninger, 2001: 71f):

- (1) Da plötzlich stürzt aus einem Haus mit fliegenden Weibern ein Haar heraus. (für: mit fliegenden Haaren ein Weib heraus): Vertauschung
- (2) Ich gebe mir keinen Witz mehr, über die Witze nachzudenken (für: keine Mühe): Antizipation
- (3) Ich fordere Sie auf, auf das Wohl unseres Chefs aufzustoßen (für: anzustoßen): Postposition
- (4) Zwecktischer Prak (für: praktischer Zweck): Vertauschung von Wortteilen

Es wird deutlich, dass bereits relativ früh im Produktionsprozess Informationen bezüglich der Wortarten aktiviert sind: so werden Substantive in der Regel immer durch Substantive und Verben immer durch Verben ersetzt. Versprecher resultieren demnach nicht aus einem kompletten Zusammenbruch, sondern zeigen, dass linguistische Regeln Beachtung finden.

Fehler auf der funktionalen Ebene unterliegen phonologisch/phonetischen Beschränkungen und führen zu segmentellen Lautvertauschungen, –substitutionen und –additionen, die entweder auf Antizipation (a) oder Perseveration (b) zurückzuführen sind (Beispiele aus Fromkin, 1971: 30):

- (5) a. delayed audifory feedback (statt: delayed auditory feedback)
b. Chomsky and *Ch*alle (statt: Chomsky and Halle)

Auffallend ist, dass der Silbenrahmen bestehen bleibt: Versprecher finden sich in der Regel an identischen Silbenpositionen, d. h. es kommt zu Interaktionen entweder der initialen oder der finalen Segmente, seltener zwischen initialen und finalen (Beispiele aus Shattuck–Hufnagel, 1992: 215):

- (6) a. *terry ch*art (statt: cherry tart)
b. *stick neff* (statt: stiff neck)

Dabei sind die einzelnen Lautsegmente (Phoneme) nicht die kleinsten sprachlichen Einheiten, diese setzen sich vielmehr aus Bündeln distinktiver Merkmale zusammen (siehe auch Meyer, 1992). Es können daher auch einzelne Eigenschaften von Lauten antizipiert werden (Leuninger, 2001: 73):

(7) Die Muse ist in Pier Bier getauft.

Die Stimmlosigkeit des /t/ wird vorweggenommen, und aus dem stimmhaften /b/ wird ein /p/. Typischerweise sind die Fehler phonetisch korrekt und an ihre lautliche Umgebung angepasst. Die artikulatorische Spezifizierung erfolgt demzufolge noch später im Produktionsprozess (Fromkin, 1971; Meyer, 1992; Shattuck–Hufnagel, 1992).

Experimentelle Untersuchungen liefern weitere Hinweise für die postulierte Zweiteilung in semantische und phonologische Aktivierung (z. B. Glaser, 1992; Meyer, 1992; La Heij, Hoppel und Mulder, 1990): in verschiedenen Priming–Studien hatten Probanden die Aufgabe, Abbildungen zu benennen, während ihnen zuvor entweder phonologische oder visuelle Ablenker (Distraktoren) präsentiert wurden (u. a. Schriefers, Meyer und Levelt, 1990). Bei semantisch verwandten Wörtern zu einer Zielform (z. B. *Rose* → *Tulpe*) nehmen die Antwortlatenzen zu, die Präsentation des semantischen Ablenkers hemmt den Abruf des gesuchten Zielbegriffs. Bei phonologischen Ablenkern (*Rose* → *Robe/Hose*) findet sich dagegen eine Abnahme der Reaktionszeiten, der Wortzugriff wird erleichtert. Der Zeitpunkt, zu dem man den Ablenker präsentiert, wird als Stimulus–Onset–Asynchronität (SOA) bezeichnet. Ablenker können vor dem eigentlichen Stimulus (negative SOA) oder nach dem jeweiligen Stimulus präsentiert werden (positive SOA). Die Ergebnisse zeigen, dass semantische Ablenker den Zugriff hemmen, wenn sie vor oder um den Zeitpunkt der Präsentation der Stimuli eingeblendet werden. Dahingegen sieht man den Effekt der phonologischen Ablenker dann besonders ausgeprägt, wenn diese nach der Stimuluspräsentation eingeblendet werden. Diese Ergebnisse haben die postulierte Aufteilung innerhalb des Wortzugriffs weiter untermauert, da sie zeigen, dass semantische Informationen vor phonologischen aktiviert sind (siehe Levelt et al., 1999 für eine detaillierte Zusammenfassung der experimentellen Ergebnisse).

Neuropsychologische Daten (Vigliocco, Vinson, Martin und Garrett, 1999; Garrett, 1992; siehe auch Nickels (1997) und Rapp (2001) für einen Überblick) und das Phänomen des erschwerten Wortzugriffs, auch „Tip-of-the-tongue-Phänomen“ genannt („Es-liegt-mir-auf-der-Zunge-Phänomen“), bestätigen diese Aufteilung ebenfalls: Ein Sprecher weiß genau, was er sagen

möchte, verfügt z. T. auch über rudimentäres syntaktisches und wortformbezogenes Wissen, ist aber dennoch nicht in der Lage, das gewünschte Wort zu äußern (Vigliocco, Antonini, Garrett, 1997; Caramazza und Miozzo, 1997; Vigliocco et al., 1999).

Zwar gehen die meisten der entwickelten Modelle von der postulierten Aufteilung mit den dazugehörigen Verarbeitungsebenen aus, allerdings unterscheiden sie sich grundsätzlich in der Annahme des vorherrschenden Informationsflusses (siehe Caramazza, 1997 für eine Zusammenfassung). Während Stufenmodelle (z. B. Levelt, 1989, 1999) davon ausgehen, dass Informationen im Wesentlichen in eine Richtung fließen, sehen interaktive oder auch Kaskadenmodelle Rückkopplungsprozesse zwischen den verschiedenen Ebenen vor. Informationen sind in verschiedenen „Knoten“ repräsentiert, die über unterschiedliche Verbindungen miteinander verknüpft sind. Alle Einheiten haben spezifische Aktivierungsniveaus, die u. a. durch die Gebrauchsfrequenz bestimmt werden. Die Verbindungen bzw. deren Eingänge sind entsprechend gewichtet, die Aktivierung eines spezifischen Knotens erfolgt erst, wenn ein entsprechendes Ruhepotenzial überschritten wurde (z. B. Dell, Chang und Griffin, 1999; Roelofs, 1997; Berg und Schade, 1992; Dell und O’Seaghada, 1992).

Für die eigenen Experimente ist jedoch weniger die Art des Informationsflusses als vielmehr die Anordnung der dargestellten Prozesse mit den dazugehörigen Verarbeitungsebenen entscheidend. Als zugrunde liegendes Modell wird das Modell von Levelt dargestellt, bevor speziell auf die Prozesse eingegangen wird, die während der Konzeptualisierung zum Tragen kommen. In diesem Zusammenhang wird auch die Bedeutung des Arbeitsgedächtnisses innerhalb der Sprachproduktion diskutiert.

2.2 Levelts Rahmenmodell der Sprachproduktion

Levelt ordnet die bekannten drei Teilprozesse (Konzeptualisierung, Formulierung, Artikulation) getrennten Systemen zu, in denen spezifische linguistische Operationen ausgeführt werden: im semantisch–syntaktischen System liegt der Schwerpunkt auf semantischen und syntaktischen Aspekten, während im phonologisch–phonetischen System die Verarbeitung lautlicher Informationen im Vordergrund steht (Levelt, 1989, 1999). Beide Systeme sind hoch spezialisiert und arbeiten autonom in einer überwiegend seriellen Vorgehensweise.

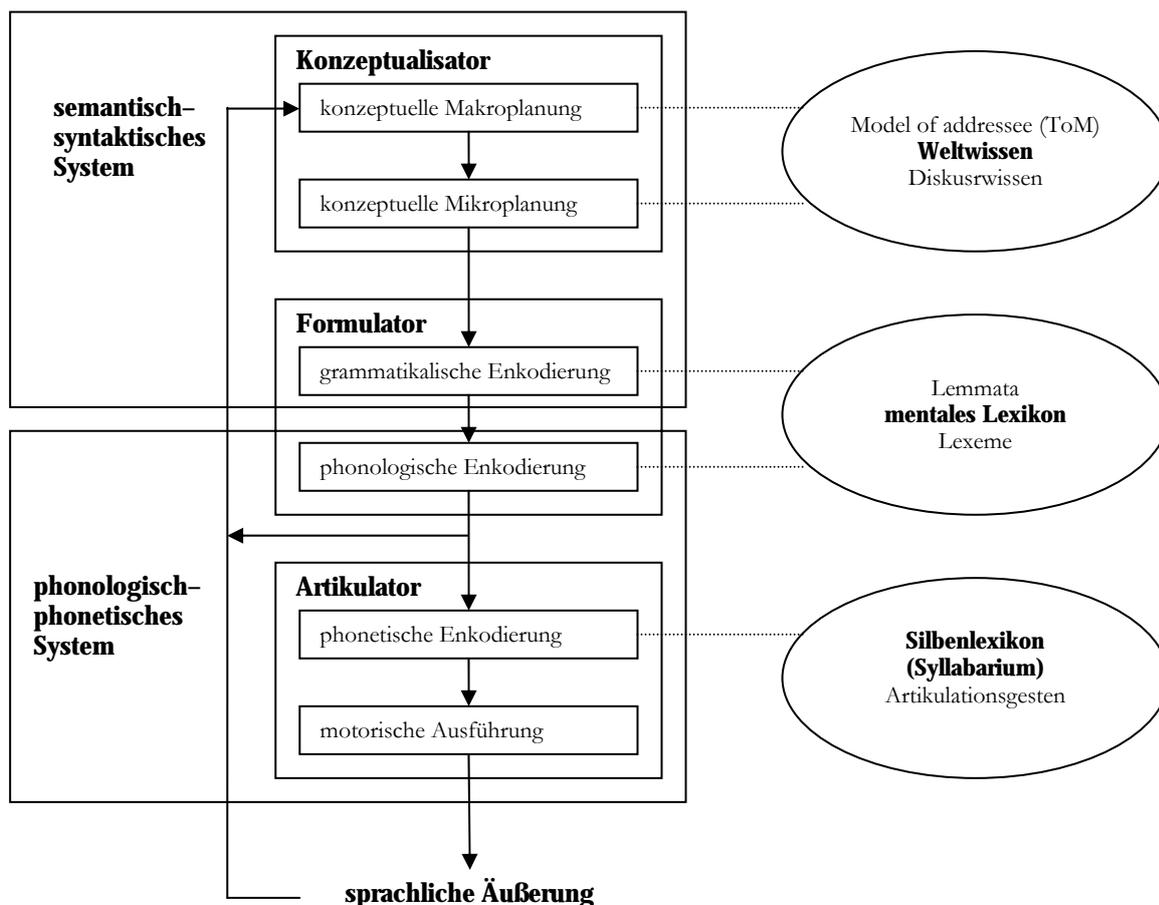


Abb. 1: “A blueprint of a speaker” (Levelt, 1999; Rickheit, Sichelschmidt u. Strohner, 2002). Das Modell sieht verschiedene Verarbeitungsschritte vor, die jeweils getrennten Systemen zugeordnet sind. Dabei wird auf gespeichertes Wissen zugegriffen.

Das folgende Beispiel dient der Illustration: Angenommen, ein Gast in einem Restaurant möchte etwas zu Essen bestellen. Er plant, was er möchte und wie er dies erreichen kann, z. B. muss er den Kellner rufen, um nach der Speisekarte zu fragen, aus der Karte etwas aussuchen usw. (kommunikative Absicht). Hierfür greift er u. a. auf situatives Wissen (wenn man etwas bestellen möchte, benötigt man zunächst eine Speisekarte, man muss aus den aufgelisteten Speisen und Getränken eine Auswahl treffen usw.) und das Diskursmodell zurück (er muss den Kellner herbeirufen, damit er eine Karte bekommt). Da er eine Absicht hat, wird er wahrscheinlich für seine Formulierung eine höfliche Variante wählen, die u. a. ein Modalverb enthält. Dieser erste Schritt bei der Entstehung einer sprachlichen Botschaft findet im **Konzeptualisator** statt (Levelt, 1989) und beinhaltet zwei Schritte (siehe Abb. 1): Zunächst entscheidet der Sprecher während der **konzeptuellen Makroplanung**, was er sagen möchte. Die Entscheidung, wie er diese Idee versprachlicht, wird anschließend während der **konzeptuellen Mikroplanung** getroffen. Dem

Sprecher stehen verschiedene Möglichkeiten zur Verfügung, er kann z. B. über die Satzstellung den Fokus auf bestimmte Sachverhalte legen, oder er kann bei bekannten Personen oder Objekten auf Pronominalisierungen ausweichen. Beide Schritte werden in Kapitel 2.3 näher betrachtet.

Nach der Erstellung dieser präverbalen Botschaft folgt die **Formulierung**, d. h. der Wortzugriff. Hiefür werden entsprechende lexikalische Informationen, also semantische, syntaktische, morphologische und phonologische Eigenschaften eines Wortes, aus dem mentalen Lexikon abgerufen. So ist für den Begriff *Kellner* nicht nur die Bedeutung spezifiziert, sondern darüber hinaus auch syntaktische Informationen wie Wortart (Substantiv), Genus (Maskulin), Anzahl der jeweiligen Morpheme und entsprechende Flexionsendungen (monomorphematisch, Null-Morphem für Plural). Phonologisch sind silbische (Anzahl der Silben, Betonung) und segmentelle Informationen (die entsprechenden Phoneme) gespeichert: /^ˈkɛl nɔ/.

Während der **grammatikalischen Enkodierung** werden zunächst die Lemmata abgerufen. Darunter versteht man syntaktische und semantische Informationen zu einem lexikalischen Objekt (Kempen und Huijbers, 1983). In Sprachen mit obligatorischer Genusmarkierung (z. B. Deutsch, Niederländisch, romanische Sprachen) werden Informationen zum grammatikalischen Geschlecht ergänzt.

Für den Satz *Können Sie mir bitte die Karte bringen* sind neben der Bedeutung zusätzlich auch die folgenden syntaktischen Informationen aktiviert: [*können* (Modalverb, 3. Person Plural, Indikativ Präsens)], [*Sie* (Pronomen, 3. Person Plural, Nominativ oder Akkusativ)] [*mir* (Pronomen, 1. Person Singular, Dativ)], [*bitte* (Adverb)], [*die* (Artikel, feminin, Nominativ oder Akkusativ)], [*Karte* (Nomen, feminin, Singular)], [*bringen* (Verb, transitiv, Infinitiv)]. Das Verb übernimmt innerhalb des Satzes eine tragende Rolle, da es mit seinem spezifischen Subkategorisierungsrahmen die Anzahl der notwendigen Ergänzungen vorgibt (Bock, Loebell und Muray, 1992). Für *bringen* sind das ein direktes und ein indirektes Objekt. Ein Lemma beinhaltet somit entscheidende Triggerinformationen für die satzspezifischen Phrasenstrukturoperationen: Sätze werden nicht ganzheitlich aus dem prozeduralen Gedächtnis abgerufen, sondern setzen sich aus einzeln generierten Phrasen zusammen (siehe Hagoort, Brown und Osterhout, 1999, für eine detaillierte Darstellung syntaktischer Verarbeitungskomponenten). Das Ergebnis der grammatikalischen Enkodierung ist die Generierung eines syntaktischen Rahmens: den ausgewählten lexikalischen

Einträgen werden die entsprechenden syntaktische Funktionen innerhalb der Äußerung zugewiesen:

lexikalischer Eintrag:	syntaktische Funktion:
<i>Können</i>	Prädikat (Modalverb)
<i>Sie</i>	Subjekt
<i>mir</i>	indirektes Objekt
<i>bitte</i>	Antwortpartikel
<i>die Karte</i>	direktes Objekt
<i>bringen</i>	Prädikat (Vollverb)

Tab. 1: Zuordnung der syntaktischen Funktionen innerhalb des generierten Satzrahmens für das Beispiel *Können Sie mir bitte die Karte bringen?*

Der nächste Schritt ist die **phonologische Enkodierung**, während der auf die phonologischen Wortformen (Lexeme) aus dem mentalen Lexikon zugegriffen wird. Dabei aktiviert ein Lemma den entsprechenden phonologischen Code, d. h. die jeweiligen Morpheme. Beispielsweise werden für das Kompositum *Speisekarte* im mentalen Lexikon die beiden Morpheme *Speise* und *Karte* aufgerufen. Die Wortfrequenz spielt während der Aktivierung der phonologischen Codes eine wesentliche Rolle, was sich dahingehend zeigt, dass häufig genutzte Lexeme schneller aktiviert werden (Jescheniak und Levelt, 1994). Die noch leeren Positionen des zuvor generierten Satzrahmens werden nun gefüllt (positionelle Repräsentation; Garrett, 1988).

Die Lexeme umfassen segmentelle Informationen („segmental spellout“), d. h. die einzelnen Phoneme, und metrische Informationen („metrical spellout“). Letztere sind Rahmenpositionen, die mit den jeweiligen Silbenkonstituenten korrespondieren (Shattuck–Hufnagel, 1992).

Abschließend folgt die **Artikulation**. Hochfrequente Silben werden während der **phonetischen Enkodierung** direkt aus dem mentalen Silbenlexikon abgerufen, während niedrigfrequente oder unbekannte Silben unmittelbar erstellt werden (Cholin, Levelt und Schiller, 2006). Der abschließende Schritt ist die **motorische Ausführung**, also das eigentliche Aussprechen des gebildeten Satzes.

Über eine Schleife, die wieder zum Konzeptualisator führt, sind Sprecher in der Lage, die eigenen Äußerungen zu überwachen. Damit kommt dem konzeptuellen Verarbeiten eine entscheidende

Rolle zu, da hier die Kontrolle über den Erfolg der sprachlichen Nachricht erfolgt (Levelt, 1989). Im Sinne einer Regelkreistheorie bedeutet das, dass der festgestellte Istzustand mit dem angestrebten Sollzustand verglichen wird, um auf diese Weise die geplanten Äußerungen so nah wie möglich an die Zielvorstellung heranzuführen (Hermann und Grabowski, 1994). Im Modell sind zwei Wege für die Überwachung des Sprechens vorgesehen: Eine externe Schleife über die ausgesprochene Sprache selbst und eine interne Schleife, die direkt nach dem Formulieren ansetzt. Die interne Schleife ist der Grund dafür, dass Sprecher den Fehler oft schon bemerken, bevor sie zu Ende gesprochen haben und ihn unmittelbar nach der Äußerung korrigieren (Levelt und Wheeldon, 1994; Levelt et al., 1999). Für die Behebung der Versprecher können daher sowohl die Pausen als auch die Sprechzeit genutzt werden (Blackmer und Mitton, 1991; siehe auch Postma, 2000, für eine Zusammenfassung gängiger Theorien zur Überwachung der Sprachproduktion).

Die Theorie des seriellen Ablaufs wird durch verschiedene Studien gestützt (u. a. Levelt et al., 1999; Levelt, Praamstra, Meyer, et al., 1998; Thorpe et al., 1996; Levelt et al., 1991; Schriefers et al., 1990, Levelt und Maasen, 1981). Nichtsdestotrotz wird die Frage des Informationsflusses weiterhin diskutiert (Morsella und Miozzo, 2002; Costa, Caramazza und Sebastian-Galles, 2000; Harley, 1984). Beispielsweise deuten verschiedene Ergebnisse darauf hin, dass im Informationsfluss noch weitere Rückkopplungen vorhanden sein müssen. Es existieren Befunde, die nahe legen, dass die grammatikalische Struktur die semantisch–konzeptuelle Auswahl mitbestimmt (u. a. Fox Tree und Meijer, 1999). Ebenso müssen Informationen auf der konzeptuellen Ebene nicht kongruent mit denen auf der grammatischen Ebene sein, wie das z. B. bei bilingualen Personen der Fall ist (Smith, 2000). Aus diesem Grund werden weitere Feedbackverbindungen zwischen Lemmaebene und Konzeptualisierung vorgeschlagen (für die Darstellung gängiger interaktiver Modellvorstellungen siehe u. a. Dell et al., 1999; Roelofs, 1997; Dell und O’Seaghada 1992).

Für die flüssige Sprachproduktion ist die zeitliche Koordination der vorgestellten Komponenten entscheidend. Sprecher planen nicht erst eine vollständige Äußerung und generieren anschließend die entsprechenden Oberflächenstrukturen. Wäre dem so, müssten zwischen Teiläußerungen längere Pausen bestehen, was jedoch meist nicht der Fall ist¹ (Kircher, Brammer, Levelt et al., 2004; Ferreira und Smets, 2002; Goldman–Eisler, 1973). Vielmehr sieht es so aus, dass Sprecher

¹ Das wird z. B. besonders deutlich im Falle von Simultanübersetzungen, bei denen zeitgleich auf die Konzepte in der jeweiligen Sprache zugegriffen wird, entsprechende Sätze generiert und lautsprachlich geäußert werden.

mit einer vagen Idee beginnen, ohne dabei immer genau zu wissen, wie sie fortfahren wollen. Dieser Vorgang wird als inkrementelle Sprachverarbeitung bezeichnet (Kempen und Hoenkamp, 1987). Alle Komponenten von der Konzeptualisierung bis zur Artikulation können zum gleichen Zeitpunkt an unterschiedlichen Fragmenten arbeiten. Das gilt wie bereits erwähnt auch für Korrekturprozesse (siehe auch Blackmer und Mitton, 1991).

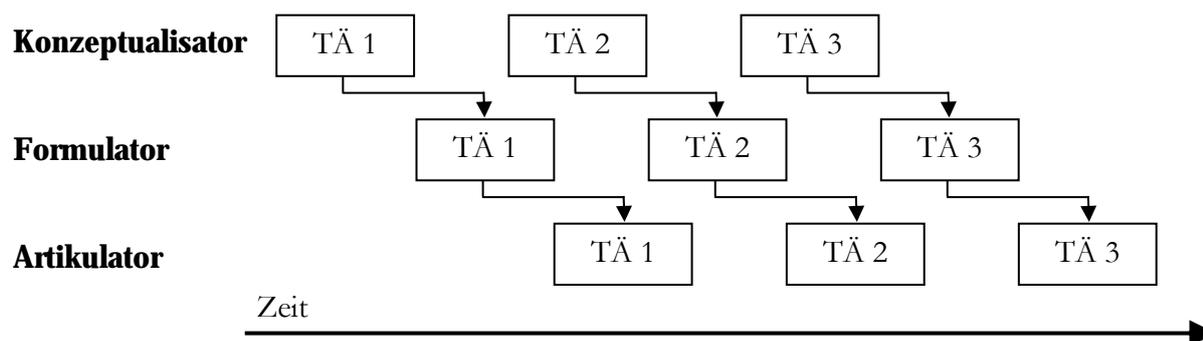


Abb. 2: Schematische Darstellung der inkrementellen Sprachverarbeitung. Während auf der konzeptuellen Ebene bereits an der Planung von Teiläußerung 2 (TÄ 2) gearbeitet wird, arbeitet der Formulator an der Erstellung von Teiläußerung 1 (TÄ 1).

2.3 Konzeptualisierung — die Entstehung eines Sprechplans

Was geschieht nun genau zu Beginn der Sprachproduktion? Die Phase der Konzeptualisierung umfasst die Selektion spezifischer Informationen aus dem Langzeitgedächtnis sowie die Anordnung der jeweiligen Inhalte in einer bewusst gewählten Reihenfolge (Carroll, von Stutterheim und Nüse, 2004; Bock et al., 1992). Im Gegensatz zu den Prozessen der Formulierung und der Artikulation ist die konzeptuelle Vorbereitung bzw. die Entstehung einer präverbale Botschaft damit ein bewusster Planungsprozess, bei dem insbesondere sozialpragmatische Überlegungen bedeutsam sind (Wilkes-Gibbs und Clark, 1992). Ein Sprecher muss seine eigenen Äußerungen überwachen, diese auf die vorigen Äußerungen abstimmen und je nach Situation spontan neue Ziele verfolgen. Von besonderer Bedeutung ist hierbei die Überwachung des Diskurses, d. h. der Ebene, auf der Erzählungen oder auch Konversationen verstanden werden.

Grice (1979) hat verschiedene grundlegende Voraussetzungen beschrieben, die innerhalb der Kommunikation eine Rolle spielen:

1. Maxime der Qualität: Ziel ist der Austausch neuer Informationen, die dem Gesprächspartner noch nicht bekannt sind;
2. Maxime der Quantität: Sprecher versuchen, sich auf entscheidende Informationen zu beschränken, um den Zuhörer nicht zu überfordern;
3. Maxime der Relation: die Inhalte müssen in einem bestimmten Zusammenhang dargestellt werden, um einen spezifischen Bezug herstellen zu können;
4. Maxime der Modalität: es geht darum, wie etwas gesagt wird, ob etwas klar und deutlich formuliert wird.

Die erste Phase bei der Erstellung eines Sprechplans ist die **Makroplanung**. Dazu gehört die **Selektion** der zu vermittelnden Informationen. Sprecher können einen Sachverhalt auf unterschiedliche Art und Weise ausdrücken, Sprechakte können direkt oder indirekt sein:

- (8) a. Ich möchte gerne bestellen.
b. Bringen Sie mir bitte die Karte.

Während (a) als indirekte Aufforderung verstanden werden kann, die Karte zu bringen, ist in (b) die konkrete Aufforderung unmissverständlich. Wesentlich geprägt ist die formulierte präverbale Botschaft dabei vom spezifischen Situationskontext. So würde der Satz unter (a) vom Kellner eventuell als Kritik an seinem Bedientempo und somit als unhöflich empfunden werden. Anders ist es, wenn überhaupt keine Speisekarte existiert und die jeweiligen Angebote auf einer Wandtafel stehen (siehe auch Levelt, 1989). Entscheidend für den Erfolg kommunikativer Sequenzen ist daher ein gemeinsamer „Common Ground“ (Horton und Gerrig, 2005; Horton und Keysar, 1996), so dass Sprecher und Zuhörer wissen, auf was sich der Kommunikationspartner jeweils bezieht. Das gilt gleichermaßen für dialogische und monologische Sequenzen. Ziel des Sprechers ist es, dass der Zuhörer alle Informationsstrukturen versteht und entsprechend folgen kann: „After all, the speaker wants the listener to understand a particular informational structure. He therefore has to take into account the listener’s presumed foreknowledge and processing capacities.” (Levelt, 1982: 200).

Die „Theory of Mind“ („ToM“; De Villiers, 2007; Miller, 2006; Wimmer und Perner, 1983) spielt hierbei eine wichtige Rolle. Sie beinhaltet die Entwicklung spezifischer sozialer Kompetenzen: Wir versuchen, uns in unseren Gesprächspartner hineinzuversetzen, sein Verhalten abzuschätzen

bzw. vorauszusagen, Gefühle anderer zu erkennen usw. Ein Sprecher achtet also nicht nur darauf, ob seine Äußerung linguistisch korrekt ist, er muss auch Sorge dafür tragen, dass der Zuhörer entsprechend folgen kann (Howarth und Anderson, 2006; Mangold und Pobel, 1989; Schober und Clark, 1989; Garrod und Anderson, 1986). Die zu vermittelnden Informationen müssen entsprechend präzisiert werden, hierbei ist die Sprecherperspektive bzw. der Diskurskontext wesentlich. So reicht es z. B. zur eindeutigen Identifikation eines bestimmten Objekts oft nicht aus, nur das Objekt zu nennen, wenn mehrere der gleichen Art vorhaben sind. In diesem Fall müssen weitere spezifische Attribute genannt werden: *das neue Auto* und *das verrostete Auto*.

Im folgenden Beispiel betrachten zwei Sprecher (A und D) gemeinsam Tangramfiguren. D beschreibt die Figur, und A muss die jeweilige Figur anhand der Bildbeschreibung identifizieren (Beispiel aus Clark und Wilkes–Gibbs, 1986; in Wilkes–Gibbs und Clark, 1992: 184):

- (9) D: Okay the next one is ... resembles someone that looks like they're trying to climb stairs. There's two feet, one is way above the other, and —
A: And there's a, there's a, a diamond on the bright side, on a slant?
D: Yeah.
A: Got it.
D: Like, kind of looks like it's off the back.
A: Right, I got it.

Bereits nach der ersten Beschreibung hat A die entsprechende Figur erkannt, versichert sich aber durch eine Rückfrage seinerseits. D wiederum gibt noch eine weitere Beschreibung, obwohl A bereits zu erkennen gegeben hat, die entsprechende Form gefunden zu haben („Got it“) und bestätigt damit noch einmal As korrekte Reaktion.

Junge Kinder sind hierzu meist aufgrund von sowohl kognitiven als auch linguistischen (morphologischen und syntaktischen) Aspekten noch nicht in der Lage. Erst ab etwa 4 Jahren wird vermehrt erkennbar, dass sie sich in die Situation anderer hineinversetzen (Wimmer und Perner, 1983), auch wenn erste Ansätze zur „Theory of Mind“ früher vorhanden sind (Onishi und Baillargeon, 2005; Perner und Ruffman, 2005; Bloom, 2002). Deutsch und Pechmann (1982) haben Beschreibungen von Kindern unterschiedlicher Altersgruppen und von Erwachsenen analysiert. Deren Aufgabe war es, einen Gegenstand möglichst eindeutig zu beschreiben, so dass dieser klar aus einer Auswahlmenge identifiziert werden konnte. Die von den Kindern gegebenen Beschreibungen waren zu Beginn stark unvollständig. Im Alter von 3;0 Jahren sind noch 87% der Äußerungen mehrdeutig im Gegensatz zu 6% bei Erwachsenen (Deutsch und Pechmann, 1982).

Ebenfalls Teil der Makroplanung ist die **Linearisierung** von Ereignissen. Sprecher wählen nicht nur Informationen aus, sondern müssen diese auch anordnen (Levelt, 1982). Ist die Reihenfolge inhaltlich vorgegeben, spricht man von einer inhaltsbezogenen Vorgehensweise. Hierunter fällt die natürliche, d. h. chronologische Abfolge von Ereignissen (a) oder auch die natürliche räumliche Abfolge, wie z. B. bei Wegbeschreibungen (b):

- (10) a. Erst setze ich mich an den Tisch und dann bestelle ich.
b. Du gehst bis zum Ende der Straße, dann nach links und an der nächsten Abzweigung nach rechts.

Bei multidimensionalen Prozessen fehlt diese natürliche Reihenfolge und es wird eher prozessbezogen beschrieben, wie das z. B. bei Raumbeschreibungen der Fall ist (Levelt, 1989). Die Konnektivität zwischen zwei Punkten spielt hierbei eine wichtige Rolle, d. h. Sprecher beschreiben zunächst zusammenhängende Aspekte. Ebenso entscheidend ist das Prinzip der minimalen Anstrengung: es werden zuerst die Aspekte beschrieben, die weniger Verarbeitungskapazitäten benötigen (Ferreira und Henderson, 1998).

Das Ergebnis der Makroplanung sind die „Sprechakt–Intentionen“, auch kurz „Sprechakte“ genannt. Ein Sprecher hat eine bestimmte kommunikative Absicht mit dem ausgewählten sprachlichen Inhalt. In einem nächsten Schritt wird die Informationsstruktur weiter herausgearbeitet, indem die Sprechinhalte in eine bestimmte Perspektive gerückt werden. Dieser Schritt wird als **Mikroplanung** bezeichnet. Das Ergebnis sind so genannte „Propositionen“, die dann im Formulator weiter verarbeitet werden. Unter Propositionen werden Wissenseinheiten verstanden, die sich aus unterschiedlichen Konzepten zusammensetzen. Das Prädikat–Konzept *jemand bestellt etwas* beinhaltet beispielsweise eine bestellende Person sowie die eigentliche Bestellung.

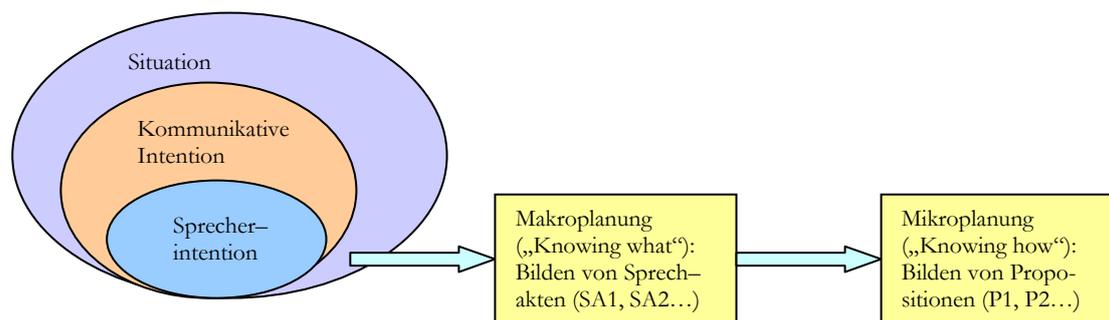


Abb. 3: Von der Intention zur verbalen Botschaft (Levelt 1989: 110): während der Makroplanung entstehen einzelne Sprechakte (SA), das Ergebnis der Mikroplanung sind Propositionen (P).

Propositionen sind u. a. geprägt durch die jeweilige Sprecherperspektive: ein zur Hälfte gefülltes Glas ist entweder halb voll oder halb leer, eine Verfolgungssituation kann aus Sicht des Jagenden mit einer Aktiv- oder aus der Sicht des Gejagten mit einer Passivkonstruktion beschrieben werden (Bock et al., 1992; Hermann und Grabowski, 1994). In dem Satz *Ich sehe den Stuhl und den Ball rechts davon* bezieht sich die Positionsbeschreibung des Balls auf den Stuhl (=Relatum), in *Ich sehe den Ball und den Stuhl links davon* ist der Positionsbezug der Ball (=Relatum). In beiden Fällen wird eine sprecher-orientierte relative Perspektive gewählt. Diese unterscheidet sich von einer intrinsischen Perspektive: *Ich sehe einen Stuhl und auf dessen linker Seite einen Ball*. Zwischen dem Perzept einerseits und dem Konzept andererseits existieren demnach keine starren Verbindungen; ein Sprecher wählt je nach Situation eine spezifische Perspektive, die der Aussage einen bestimmten Fokus verleiht (Levelt, 1989; Clark, 1997).

Ein anderes Beispiel für unterschiedliche Sprecherperspektiven sind Topikalisierungen. Hierbei wird ein Satzteil an den Beginn des Satzes gestellt, auch wenn dieser dann von der kanonischen Satzstellung (Subjekt-Prädikat-Objekt im Deutschen) abweicht. Die Bedeutung der Sprecherperspektive kommt auch im Falle von Homonymen zum Tragen. Das sind unterschiedliche Begriffe, die jeweils eine identische bis sehr stark ähnliche Bedeutung haben.

Das Ergebnis der Mikroplanung ist also eine vorsprachliche Botschaft, die den Ausgangspunkt für die weiteren Formulierungsprozesse darstellt. Sprachen unterscheiden sich darin, welche konzeptuellen Aspekte in Formulierungen und Worte umgesetzt werden müssen (siehe auch Slobin, 1987). Während einige Vertreter davon ausgehen, dass erst innerhalb des Formulators sprachspezifische Mechanismen existieren, die jeweils die relevanten Details enkodieren, haben

von Stutterheim und Nüse (2003) sprachspezifische Einflüsse auch für Konzeptualisierungsprozesse aufgezeigt. In einer sprachübergreifenden Studie (Englisch, Deutsch, algerisches Arabisch), in der Probanden Videosequenzen beschreiben bzw. nacherzählen sollten, zeigte sich, dass die Sprachen sich in den Sprechakten und Propositionen, d. h. hinsichtlich der Makro- und Mikroplanung, unterschieden. Das für die Konzeptualisierung benötigte Wissen ist also sprachspezifisch (Klabunde und Glatz, 2004; von Stutterheim und Nüse, 2003; Levelt und Maasen, 1981).

2.4 Der Zusammenhang zwischen Arbeitsgedächtnis und Sprache

Während der Sprachproduktion wird nicht nur auf gespeicherte Informationen aus dem mentalen Lexikon zugegriffen, sondern ein Sprecher kontrolliert darüber hinaus seine Äußerungen auch ständig (Roelofs, 2008). Sprache und Gedächtnis sind daher eng miteinander assoziiert (u. a. Ullman, 2004, 2007). Das menschliche Gedächtnis umfasst nicht nur einen Langzeitspeicher, sondern auch einen kurzfristigen Arbeitsspeicher, das so genannte Arbeitsgedächtnis. Während beim lexikalischen Zugriff vor allem das Langzeitgedächtnis eine Rolle spielt (siehe Jescheniak, 2002, für eine ausführliche Darstellung zum Zusammenhang zwischen Langzeitgedächtnis und Sprachproduktion), kommt dem Arbeitsgedächtnis und den damit verbundenen kognitiven Kapazitäten eine tragende Rolle bei der Planung und Kontrolle von Äußerungen zu (siehe z. B. Horton, 2007; Horton und Gerrig, 2005; Herman und Grabowski, 1994).

In der Psychologie werden verschiedene Modelle zum Arbeitsgedächtnis diskutiert (siehe Wright und Shisler, 2005; Connor, MacKay und White, 2000 für Zusammenfassungen gängiger Theorien). Prägend für die Entwicklung der verschiedenen Gedächtnisvorstellungen ist dabei das Modell von Baddeley und Hitch (1974). Dieses Modell besteht aus unterschiedlichen Komponenten: das „phonologische Arbeitsgedächtnis“ verarbeitet akustische und artikulatorische Informationen. Das „visuell-räumliche Arbeitsgedächtnis“ verarbeitet visuelle Merkmale von Objekten, wie Farbe und Form, sowie räumliche Eigenschaften. In den letzten Jahren wurde eine weitere Komponente vorgeschlagen: der „episodische Speicher“. Dieser integriert verschiedene Informationen unterschiedlicher Art und erklärt u. a., warum Patienten eine stark reduzierte Merkspanne haben können, aber trotzdem in der Lage sind, längere Texte zu zitieren. Der „episodische Speicher“ fungiert damit als Bindeglied zwischen den anderen Subkomponenten und dem Langzeitgedächtnis (Baddeley, 2000, 2003). Die „zentrale Exekutive“ überwacht und koordiniert die anderen Komponenten und greift bei Bedarf auch steuernd ein.

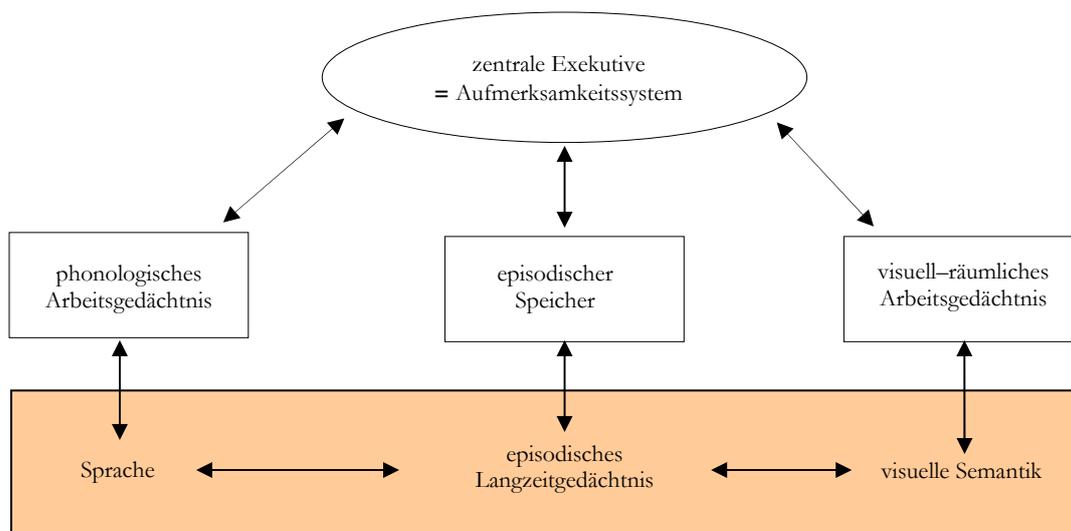


Abb. 4: Das Multi-Komponenten-Modell des Arbeitsgedächtnisses nach Baddeley mit der Ergänzung durch den episodischen Speicher (Baddeley, 2000). Alle Speichersysteme unterstehen der zentralen Exekutive als überwachendem Organ.

Gehen wir nochmals auf den eingangs festgestellten Zusammenhang zwischen Sprache und Gedächtnis ein, so gilt für die Sprachproduktion, dass jeweils einzelne Phrasen generiert werden. Dabei bedingt die inkrementelle Weise der Sprachverarbeitung, dass sowohl aktivierte als auch teilweise aktivierte Informationen so lange im Arbeitsspeicher gehalten werden, bis die Satzgenerierung abgeschlossen ist. Hierfür werden entsprechende Verarbeitungsressourcen benötigt (siehe auch Roelofs, 2008). In Abhängigkeit von der Aufgabenstellung werden die jeweiligen Gedächtniskomponenten in unterschiedlichem Ausmaß beansprucht; so werden bei Nacherzählungen mehr Anforderungen an das Langzeitgedächtnis gestellt als bei Bildbeschreibungen. Insbesondere Unterhaltungen sind wenig reguliert und setzen Kooperation und Interaktion aller Beteiligten voraus (Clark und Wilkes-Gibbs, 1986; Grice, 1979). Die Überwachung des Diskurses ist damit wesentlich: Sprecher müssen Themen erkennen und auswählen, Themenwechsel initiieren, neue Informationen entsprechend aktualisieren usw. Entsprechend sind mehrere Gedächtnissysteme zu synchronisieren: das deklarative Gedächtnis (semantisches und episodisches Wissen), das prozedurale Gedächtnis (linguistisches Regelwissen) und das Arbeitsgedächtnis (Caspari und Parkinson, 2005; Ullman, 2004). Typische Unflüssigkeiten, wie Stockungen im Sprechfluss oder Interjektionen, können durch ein Aufteilen der Gedächtnisleistungen zwischen Arbeits- und Langzeitgedächtnis erklärt werden (Kircher et al., 2004).

Je nach Diskursart wird die Satzplanung in unterschiedlicher Art beeinflusst: in Konversationen finden sich mehr Zögermomente und Interjektionen, die z. T. auch bewusst genutzt werden (Clark und Fox Tree, 2002; Fox Tree und Clark, 1997; Levelt, 1989). Das Alter beeinflusst Sprachverstehen und –produktion asymmetrisch: während produktive Diskursfähigkeiten mit steigendem Alter abnehmen (Mortensen, Meyer und Humphreys, 2006), bleiben Sprachversteheleistungen, in Abhängigkeit von der jeweiligen Aufgabenstellung, eher unbeeinflusst (Marini, Boewe, Caltagirone und Carlomagno, 2005). Herausragend gestört scheinen im Alter makrolinguistische Fähigkeiten zu sein (Duong und Ska, 2003; Ehrlich et al., 1997).

Das Arbeitsgedächtnis spielt auch im Sprachverstehen eine wichtige Rolle (z. B. Friederici, Steinhauer, Mecklinger und Meier, 1998; Münte, Schiltz und Kutas, 1998; Müller, King und Kutas, 1998; Caplan und Waters, 1999). Verarbeitungsressourcen beeinflussen den Aufbau syntaktischer Strukturen. Probleme entstehen, wenn unterschiedliche Informationen aufrechterhalten werden müssen und dadurch die Gesamtintegration erschwert wird. So existieren z. B. bei der Verarbeitung von Objekt– und Subjektrelativsätzen eindeutige Unterschiede, was dazu führt, dass für das Verstehen von Objektrelativsätzen größere Verarbeitungsressourcen benötigt werden (King und Kutas, 1995). Ebenso verhält es sich im Sprachdiskurs: Alle Sprecherziele müssen koordiniert werden, da sonst der rote Faden des Sprechers unklar bleibt. Dabei sind nicht nur unterschiedliche Hirnregionen für die verschiedenen Gedächtniskomponenten involviert, sondern darüber hinaus sprachrelevante Regionen, die im folgenden Abschnitt dargestellt werden.

2.5 Die Neurobiologie von Sprache und Arbeitsgedächtnis

Indefrey und Levelt (2000, 2004) haben in Metaanalysen verschiedene Bildgebungsstudien miteinander verglichen, um die in den psycholinguistischen Modellen postulierten Verarbeitungsschritte neuroanatomisch einzugrenzen. Sprachproduktions– und –versteheleistungen werden in einem komplexen Netzwerk aus kortikalen und subkortikalen Strukturen erbracht, welches sich überwiegend in der sprachdominanten Hemisphäre im Bereich der perisylvischen Region befindet (Price, Wise, Warburton et al., 1996; Ni, Constable, Mencl et al., 2000). Dabei ist es nicht entscheidend, ob Stimuli auditiv oder visuell präsentiert werden (Blank, Scott, Murphy et al., 2002; Démonet, Chollet, Ramsey et al., 1994). Beteiligt sind die folgenden Strukturen: der dorsolaterale präfrontale Cortex, der prämotorische Cortex, der auditive Assoziationscortex

(Wernicke–Areal), der mittlere und inferiore temporale Gyrus (MTG und ITG), der supramarginale und angulare Gyrus im posterioren inferioren Parietallappen, das Cerebellum, das supplementär–motorische Feld (supplementary motor area; SMA), der anteriore Gyrus cinguli und Thalamusstrukturen (siehe Roelofs, 2008; Price, Indefrey und van Turennout, 1999; für Zusammenfassungen der Ergebnisse).

Die visuelle Verarbeitung geschieht im Okzipitallappen. Für die lexikalische Selektion und konzeptuelle Vorbereitung finden sich vermehrt Aktivierungen in der linken Hemisphäre im mittleren temporalen Gyrus (MTG; siehe Mahon und Caramazza, 2009 für eine zusammenfassende Darstellung der funktionellen Repräsentation konzeptueller Kategorien). Lamdon–Ralph, Pobric und Jeffries (2009) haben gezeigt, dass die Reaktionszeiten in Bezug auf semantische Entscheidungsaufgaben deutlich zunahmten, wenn die neurologischen Verarbeitungsprozesse durch transkranielle Magnetstimulation (TMS) kurzzeitig unterbrochen wurden.

Hingegen erfolgt die Verarbeitung des phonologischen Zugriffs im Wernicke–Areal der linken Hemisphäre, dem superioren und mittleren temporalen Gyrus (STG/MTG) sowie im linken Thalamus. Sowohl bei rezeptiven als auch bei produktiven Aufgaben kommt es hier zu Aktivierungen, was den Schluss zulässt, dass in beiden Fällen auf dieselben Speichersysteme zurückgegriffen wird (Hickock, 2001). Die phonetische Enkodierung sowie Syllabifizierungsprozesse sind demgegenüber eher in frontalen Arealen lokalisiert, von Bedeutung ist hierbei das Broca–Areal (BA 45) im inferioren frontalen Gyrus (IFG; Indefrey, Hellwig, Herzog et al., 2004; Heim, Opitz und Friederici, 2002). Die Inselregion ist bei der Planung von Äußerungen beteiligt (Dronkers, 1996), während das supplementär motorische Areal (SMA) für die artikulatorische Ausführung verantwortlich ist.

Nachweise für die Annahme der verschiedenen Arbeitsgedächtniskomponenten finden sich sowohl in experimentellen Studien (Baddeley, 1996), Patientenstudien (u. a. Wright und Shisler, 2005; Mecklinger, von Cramon, Matthes–von Cramon, 1998) als auch in der funktionellen Bildgebung (Smith und Jonides, 1999). So zeigt sich in bildgebenden Untersuchungen bei visuell–räumlichen Aufgaben vor allem eine rechtshemisphärische Aktivität im präfrontalen und prämotorischen Cortex sowie beidseits im Parietal– und Okzipitallappen (Todd und Marois, 2004). Demgegenüber findet sich bei verbalen Aufgaben eine erhöhte linkshemisphärische Aktivität im Broca–Areal (Brodmann–Areal 45/BA 45) und im Frontal– und Parietallappen (Wagner und Smith, 2003).

Frontale Anteile sind auch beim episodischen Speicher beteiligt (Koechlin und Summerfield, 2007; Koechlin, Ody und Kouneiher, 2003; Braun, Guillemin, Hosey und Varga, 2001; Fletcher, Happe, Frith et al., 1995). Studien zeigen dabei für integrierte Informationen eine erhöhte Aktivität in der rechten Hemisphäre (Prabhakaran, Narayanan, Zhao und Gabrieli, 2000). Es kommt zu einer linksseitigen Aktivierung im pars orbicularis des linken Gyrus frontalis inferior (IFGorb), wenn es darum geht, Informationen in das episodische Gedächtnis zu übernehmen (u. a. Badre und Wagner, 2007). Insbesondere das Halten und Manipulieren von Informationen im Reihenfolgegedächtnis führt verstärkt zu dorsolateralen und präfrontalen Aktivierungen (Wagner und Smith, 2003).

Patienten- und Bildgebungsstudien untermauern ebenso die Beteiligung des frontalen Cortex bei Exekutivfunktionen (u. a. Fogelson, Shah, Scabini und Knight, 2009; Koechlin und Summerfield, 2007; Roelofs, van Tourenout und Coles, 2006; Ridderinkhof, Ullsperger, Crone und Nieuwenhuis, 2005; Stuss, Gallup und Alexander, 2001). Eine fehlende bzw. eingeschränkte exekutive Kontrolle ist bei unterschiedlichen neurologischen Patientengruppen beschrieben, wie z. B. bei Patienten mit Morbus Alzheimer (Ehrlich, Obler und Clark, 1997), Morbus Parkinson (Zeng, Hirata, Tanaka et al., 2002) oder bei Patienten nach Schädel-Hirn-Trauma bzw. Läsionen der rechten Hemisphäre (Havet-Thomassin, Allain, Etcharry-Bouyx und Le Gall, 2006; Tompkins, Bloise, Timko und Baumgärtner, 1994).

Hagoort (2005, 2003) fasst das Zusammenspiel von Gedächtnis, Einsatz spezifischen Regelwissens und Kontrollprozessen mit der Idee von „memory, unification, control“ (MUC) zusammen. Zunächst wird auf isoliertes Wissen der verschiedenen linguistischen Ebenen zugegriffen, bevor dieses dann in einem weiteren Schritt zu den nächst größeren Einheiten integriert wird („unification“). Der anteriore cinguläre Cortex (ACC) bzw. der dorso- und ventrolaterale präfrontale Cortex (LPFC) fungiert hierbei als überwachendes Organ im Sinne einer zentralen Exekutive und steuert relevante Aufmerksamkeitsprozesse (Roelofs, 2008).

Dem Broca-Areal (BA 45) bzw. dem inferioren frontalen Gyrus der linken Hemisphäre (LIFG) kommt darüber hinaus eine entscheidende Bedeutung in Bezug auf die Integration von syntaktischen, semantischen und phonologischen Wissen zu (Hagoort und Levelt, 2009; Hagoort, 2005). Sahin, Pinker, Cash et al. (2009) haben zeigen können, dass sich innerhalb des Areals sprachliche Leistungen nicht nur räumlich, sondern auch zeitlich unterscheiden lassen (siehe auch Levelt et al., 1998, für eine zeitliche Abfolge der verschiedenen Verarbeitungsschritte). Ab etwa

500 ms finden sich zusätzlich Aktivierungen im Temporallappen, was darauf hin deutet, dass Sprecher über eine Schleife die eigenen Äußerungen überwachen:

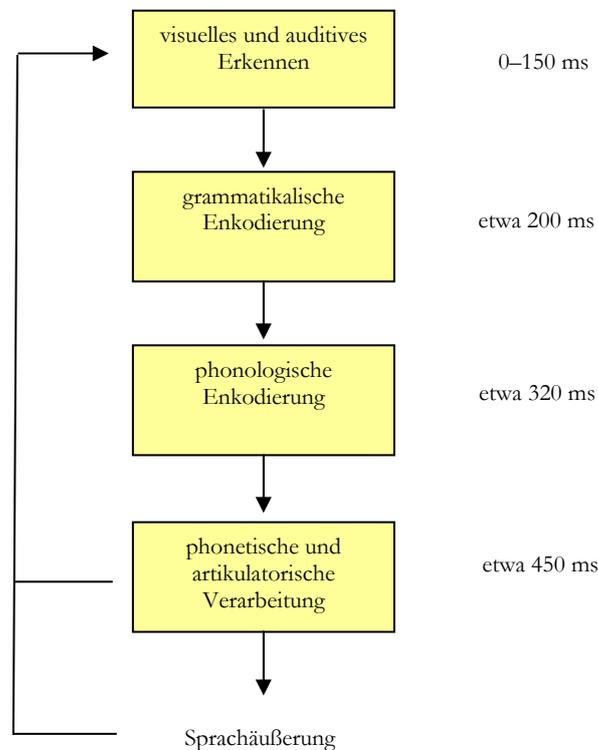


Abb. 5: Zeitlicher Verlauf der beobachteten Phasen innerhalb des Broca–Areal (in Anlehnung an Sahin et al., 2009: 372, und Levelt et al., 1998)

Braun et al. (2001) haben Diskursfähigkeiten von gesprochenem amerikanischen Englisch und amerikanischer Gebärdensprache („ASL“, „American Sign Language“) untersucht und haben in diesem Zusammenhang ebenfalls auf die besondere Bedeutung des Broca–Areal bei der Verarbeitung von Sprache und Gesten hingewiesen. Es fand sich ein verteiltes extrasylvisches Netzwerk, wobei insbesondere der dorsolaterale frontale Cortex eine Rolle bei metalinguistischen Aufgaben spielt (siehe auch Roelofs, 2008).

Kapitel 3: Sprachproduktion und ereigniskorrelierte Potenziale

„Wörter müssen nur aktualisiert werden. Sätze müssen erzeugt werden.“ (Manfred Bierwisch, 1979)

3.1 Das ereigniskorrelierte Potenzial (EKP)

Die Untersuchung kognitiver Prozesse mit ereigniskorrelierten Potenzialen ist gekoppelt an wiederholte, spezifische und zeitlich fixierte Ereignisse, wie etwa einen Ton, ein Wort, ein Bild oder auch Musik. Gemessen werden somit elektrische Reaktionen des Gehirns auf eine bestimmte Anregung. Der Spannungsverlauf wird innerhalb eines vorgegebenen Zeitfensters dokumentiert. Auf diese Weise ist es möglich, die Reaktion eines Probanden in Hinblick auf einen externen visuellen oder akustischen Reiz näher zu untersuchen. Da die Potenziale während der Informationsverarbeitung erhoben werden, geben sie damit nicht nur Aufschluss über das Ergebnis, sondern auch über den tatsächlichen Verarbeitungsprozess.

Das ereigniskorrelierte Potenzial ist inmitten der Spontanaktivität im Elektroenzephalogramm (EEG) verborgen. Bietet man aber ein bestimmtes Ereignis mehrere Male wiederholt dar, so reagiert das Gehirn jeweils mit einer ähnlichen Antwort, während das Störsignal zufällig verteilt bleibt. Unter einem ereigniskorrelierten Potenzial wird somit die Mittelung mehrerer reizbezogener EEG-Epochen verstanden. Die Mittelung geschieht relativ zu einer Grundlinie („baseline“), deren mittlere Amplitude als Null definiert wird. Durch die Mittelung werden die Ergebnisse umso besser, je mehr Ereignisse und Probanden getestet werden, bei Sprachuntersuchungen in der Regel mindestens 50 bis 60 Ereignisse von 15 bis 20 Probanden. Alle Mittelungen beziehen sich immer auf ein zuvor definiertes Zeitfenster (Kaan, 2007; Kutas, van Petten und Kluender, 2006; Münte, Urbach, Düzel und Kutas, 2000; Rugg und Coles, 1997; Kutas und van Petten, 1994).

Die für die Ableitung genutzte Elektrodenzahl liegt zwischen 16 und 128, meist werden 32 bis 64 Elektroden verwendet, die nach dem standardisierten 10–20-System angeordnet sind. Die Abtastrate liegt in Sprachexperimenten meist zwischen 250 und 512 Hz, was eine gute zeitliche Auflösung zur Folge hat.

Ereigniskorrelierte Potenziale werden nach bestimmten Kriterien beschrieben und in verschiedene Komponenten unterteilt (Donchin, Ritter und Mac Callum, 1978). Unterschieden wird die gemittelte Wellenform in Hinblick auf:

1. die Polarität: beschrieben wird die Veränderung der gemessenen elektrischen Spannung in eine bestimmte Richtung. „P300“ bedeutet beispielsweise eine positive Komponente nach etwa 300 Millisekunden.
2. die Latenz: die Zeit zwischen der Präsentation des externen Reizes und der gemessenen Reaktion.
3. die Topographie: Vergleich der verschiedenen Elektrodenpositionen, an denen die Amplitudenunterschiede maximal ausgeprägt sind.

Unterschieden werden frühe und späte Komponenten: dabei beziehen sich frühe Komponenten auf das Zeitfenster bis etwa 100 ms nach Präsentation des Reizes. Diese zeigen in der Regel die Reaktion auf physikalische Eigenschaften des Stimulus (z. B. Helligkeitsänderungen beim Einblenden eines Bildes und Lautstärkeänderungen beim Abspielen eines Tones) und werden auch als „exogen“ bezeichnet. Demgegenüber repräsentieren späte Komponenten psychische bzw. kognitive Prozesse: Sie können sich über einen längeren Zeitraum erstrecken und werden „endogene“ Komponenten genannt. Dies ist u. a. bei der Beteiligung des Arbeitsgedächtnisses beim Sprachverstehen von Sätzen zu sehen (z. B. Martín-Loeches, Muñoz, Casado et al. 2005; Münte et al., 1998; King und Kutas, 1995).

In der Regel vergleicht man innerhalb eines Experiments mehrere Aufgabenstellungen, was Aufschlüsse über bestimmte kognitive Prozesse ermöglicht. Dabei stellt sich immer die Frage, ob die ermittelten Potenzialunterschiede wirklich die vermuteten kognitiven Prozesse repräsentieren und ob die Ergebnisse statistischen Berechnungen standhalten. Innerhalb der Analyse werden verschiedene Amplitudenausprägungen, Zeitfenster und Elektrodenpositionen miteinander verglichen (Münte et al., 2000; Picton, Bentin, Berg et al., 2000; Rugg und Coles, 1997; Kutas und van Petten, 1994).

Die nicht-invasive Vorgehensweise und die hohe zeitliche Auflösung sind wesentliche Vorteile von EKPs. Problematisch ist jedoch, dass von der Topographie nur bedingt auf die Lokalisation einer Reizquelle geschlossen werden kann. Die genaue Lagebestimmung ist schwierig: Die gemessene elektrische Spannung nimmt mit der Entfernung von der Quelle quadratisch ab. Dabei können sich die Aktivitäten verschiedener neuronaler Generatoren gegenseitig überlagern,

es kann daher nicht eindeutig auf Anzahl und genaue Stärke der einzelnen Generatoren geschlossen werden (Münte et al., 2000; Rugg und Coles, 1997; Kutas und van Petten, 1994). Auch können nicht alle Aktivitäten erfasst werden: Gemessen wird in erster Linie die Aktivität der Pyramidenzellen im zerebralen Cortex. Diese sind senkrecht zur Schädeldecke ausgerichtet und parallel angeordnet und bieten daher optimale Voraussetzungen für eine Spannungsmessung an der Kopfoberfläche. Darüber hinaus müssen die Neuronen synchron aktiviert sein, da sich bei asynchroner Aktivierung die Potenziale gegenseitig aufheben und die resultierende Spannung auf dem Kopf gleich Null ist. Selbst wenn sich Neuronenpopulationen in einem offenen Feld befinden, ist es möglich, dass die Aktivität der einzelnen Neuronenverbände nicht ausreichend synchron ist. Bestimmte Strukturen sind daher durch die gegenläufige Ausrichtung ihrer Neuronen für das Verfahren unsichtbar, z. B. der Thalamus (Kutas, Federmeier und Sereno, 1999). Aus diesem Grund kombiniert man, wenn möglich, die Ergebnisse der elektrophysiologischen Untersuchung mit Läsionsstudien bzw. funktioneller Bildgebung mittels fMRT oder PET, um die Vorteile der beiden Verfahren optimal zu nutzen.

3.2 Typische Komponenten des ereigniskorrelierten Potenzials

Ein typischer endogener Potenzialverlauf ist z. B. die „N400“ (Kutas und Hillyard, 1980). Hierbei handelt es sich um eine Negativierung, die nach etwa 400 ms als Reaktion auf inkongruente Wörter erscheint (*Er bestrich seinen warmen Toast mit Socken*). Sie gilt u. a. als Indiz für eine lexikalisch–semantische Integration und tritt überwiegend zentro–parietal mit einem eher rechtshemisphärischen Maximum auf (siehe u. a. Steinhauer und Connolly, 2007). Die „P600/SPS“ (SPS = „syntactic positive shift“) ist eine späte positive Komponente, die mit syntaktischen Prozessen assoziiert ist (Hagoort, Brown und Groothusen, 1993). Sie manifestiert sich mit einem Maximum zwischen 500 und 900 ms an den posterioren Elektroden. Verschiedene Erklärungsansätze sind hierfür in der Diskussion (siehe u. a. Osterhout und Holcomb, 1993; Friederici, 1995; Kaan, 2000; Hagoort, 2003).

Aufmerksamkeit wird ebenfalls mit einer positiven Komponente in Verbindung gebracht, der so genannten „P300“, einer Positivierung nach etwa 300 ms (Donchin, 1981; Wickens, Heffley, Kramer und Donchin, 1981). Diese Komponente fasst verschiedene Phänomene zusammen: So wird die „Novelty–P3“ (auch „P3a“) als Antwort auf einen neuen Reiz interpretiert, der mit dem Zielreiz in keinerlei Relation steht. Es findet eine unbewusste Verschiebung der Aufmerksamkeit

auf neue Reize statt, die Komponente spiegelt damit den Neuheitsgrad eines Reizes wider und zeigt die Orientierungsreaktion auf den neuen Reiz. Der Hauptfokus der Aktivierung ist fronto–zentral, die Latenz liegt zwischen 250 und 300 ms (Kok, 2001; Münte et al., 2000). Zurückzuführen ist die P3a wahrscheinlich auf frontale Generatoren. Läsionsstudien zeigen die Bedeutung des frontalen Cortex für die Entstehung einer P3a (Daffner et al., 2000; Smith und Jones, 1999). Die zentrale Exekutive überwacht die Verteilung von Aufmerksamkeitsreserven, so zeigen u. a. Patienten mit verminderten exekutiven Leistungen eine reduzierte bzw. abwesende P3a (Zeng et al., 2002; siehe auch Rüsseler, Heldmann und Möller, 2005, für eine zusammenfassende Darstellung).

Eine weitere Komponente ist die „P3b“, diese ist u. a. mit Arbeitsgedächtnisleistungen assoziiert (Donchin und Coles, 1988). Sie erreicht ab etwa 300 ms ihre maximale Positivierung, also etwas später als bei der P3a. Abhängig vom Schwierigkeitsgrad der Aufgabenstellung kann die Latenz aber auch bei bis zu 600 ms liegen (Kutas, McCarthy und Donchin, 1977). Sie ist ein geeigneter Indikator für das Maß der Verarbeitungsgeschwindigkeit mit einem Fokus an den parietalen Ableitelektroden und zeigt u. a., wie effizient Stimuli evaluiert werden (McCarthy und Donchin, 1981; Kutas et al., 1977).

Die P300 ist negativ mit den generellen kognitiven Leistungsniveau von Probanden korreliert: je geringer die Antwortlatenz, desto größer sind die kognitiven Leistungen (Polich, 2007; Kok, 2001; Duncan–Johnson und Donchin, 1982).

Aufgrund der ist relativ breitflächigen Verteilung der P300 auf der Kopfoberfläche ist die Zuordnung spezifischer Generatoren problematisch (Johnson, 1993, 1988, 1986). Wahrscheinlich sind mehrere Strukturen beteiligt: Der frontale Cortex steuert entsprechende Aufmerksamkeitsreserven und ist damit dafür verantwortlich, dass neue Reize erkannt werden; die Erkennung resultiert in einer P3a. Die Aufmerksamkeitsleistungen führen wiederum zur Aktivierung von Gedächtnisprozessen in parieto–temporalen Strukturen, was eine P3b zur Folge hat (Polich, 2007; Daffner et al., 2000; Verleger, 1997).

Vergleicht man gesunde und klinische Populationen miteinander, so können sich Unterschiede in der Latenz oder der Amplitude ergeben. So findet sich bei gesunden Probanden als Reaktion auf Sätze wie *Sie haben Pizza getrunken* eine N400. Bei Patienten mit einem lexikalisch–semantischen Defizit, z. B. einer Wernicke–Aphasie, sieht man eine gegenüber Gesunden verminderte Amplitudenausprägung und eine vergrößerte Antwortlatenz (Kotz und Friederici, 2003;

Connolly, D'Arcy, Newmann und Kemps, 2000). Patienten mit Morbus Parkinson ohne Demenz zeigen eine abwesende P3a und eine abnormale P3b, was vermuten lässt, dass aufgrund der frontalen Defizite ungenügende Aufmerksamkeitsreserven zur Verfügung stehen (Zeng et al., 2002). Ähnliche Ergebnisse findet man bei Patienten mit Frontalläsionen (Daffner et al., 2000). Entscheidend für die Interpretation der Ergebnisse sind somit qualitative und quantitative Unterschiede: während quantitative Unterschiede in der Amplitudenausprägung darauf hindeuten, dass identische neuronale Strukturen genutzt werden, geht man bei qualitativen Unterschieden in Hinblick auf Polarität und Verteilung davon aus, dass andere funktionale Prozesse eine Rolle spielen (Rugg und Coles, 1997).

Die eindeutige Zuordnung von Komponenten und (linguistischen) Funktionen bietet aber immer wieder Anlass für Diskussionen. Beispielsweise wurden für die Interpretation der P600/SPS verschiedene syntaktische Erklärungsansätze entwickelt. So haben Coulson, King und Kutas (1998a+b) auf die Gemeinsamkeiten zwischen der P600 und der P3b hingewiesen. Beide reagieren in einem „Oddball-Paradigma“ mit ähnlicher Amplitudenveränderung und Topographie (siehe auch Gunter, Stowe und Mulder, 1997). Allerdings weisen Kotz und Friederici (2003) darauf hin, dass bei Parkinsonpatienten die P600 reduziert, die P3b aber unbeeinträchtigt ist (siehe auch Kotz, Frisch, von Cramon und Friederici, 2003; Frisch, Kotz, von Cramon und Friederici, 2003). Dies spricht dagegen, dass es sich in beiden Fällen um miteinander verwandte Positivierungen handelt. Auch die angebliche Spezialisierung der P600/SPS für syntaktische Prozesse wird inzwischen angezweifelt (siehe auch Steinhauer und Connolly, 2008 für eine zusammenfassende Darstellung der unterschiedlichen Ergebnisse). So findet sich eine P600 sowohl bei der Erstellung von Diskursbezügen (Kaan, 2006; in Kaan, 2007) als auch bei Verletzungen musikalischer Regeln (Patel, Gibson, Ratner et al., 1998). Insofern spricht vieles dafür, dass diese Komponente eher generelle Integrationsprozesse abbildet.

3.3 Elektrophysiologische Untersuchungen zur Sprachproduktion

Bei der Untersuchung linguistischer Aspekte kommen ereigniskorrelierte Potenziale überwiegend bei Verstehensprozessen zum Einsatz, da die Sprachproduktion motorische Aktionen benötigt und die damit assoziierten Artefakte sich unmittelbar im EEG niederschlagen und die EKPs überlagern. In den letzten Jahren hat sich jedoch gezeigt, dass der Einsatz ereigniskorrelierter Potenziale auch für die Untersuchung von Sprachproduktionsprozessen möglich ist (van Turennout, Hagoort und Brown, 1997, 1998, 1999).

Die frühen elektrophysiologischen Untersuchungen verfolgten eine mehr indirekte Vorgehensweise, indem sie bestimmte Aspekte des Sprachproduktionsprozesses über eine motorische Antwort abfragten und deren zeitliche Dynamik erfassten. Eine dabei gefundene elektrophysiologische Komponente ist das „lateralisierte Bereitschaftspotenzial“ („lateralized readiness potential“, „LRP“). Das LRP steht in direktem Zusammenhang mit der Generierung motorischer Aktionen, selbst wenn die motorische Aktivität fehlt (Kutas und Donchin, 1980).

Die Gruppe um van Turennout nutzte in ihren Untersuchungen als Paradigma das „stille“ Benennen von Bildern. Darüber hinaus sollten Probanden zwei Entscheidungsleistungen ausführen, bei denen die eine Leistung bestimmte, welche Hand genutzt wurde (Handfunktion) und die andere Leistung entschied, ob der Proband die Handlung ausführte (Go–Antwort) oder die Handlung ausblieb (No–Go–Antwort). Konkret mussten Probanden z. B. eine semantische Entscheidung treffen (Zeigt das zu benennende Bild ein belebtes oder unbelebtes Objekt?) und gleichzeitig eine phonologische Beurteilung ausführen (Beginnt das dem abgebildeten Gegenstand zugehörige Wort mit einem spezifischen Initiallaut?). In weiteren Studien untersuchte die Gruppe den zeitlichen Verlauf und konnte zeigen, dass Sprechern Lemma– und Lexeminformationen in einer bestimmten zeitlichen Abfolge zur Verfügung stehen. Semantische Informationen werden etwa 40 ms vor Genusinformationen aktiviert (van Turennout et al., 1998), syntaktische Informationen werden vor phonologischen Informationen aufgerufen, für die vollständige Aktivierung der Wortform benötigen Sprecher etwa 120 ms (van Turennout et al., 1997, 1999). Die Ergebnisse stützen somit die These der seriellen bzw. kaskadenartigen Ausbreitung von Informationen innerhalb der Sprachproduktion.

Dieses Paradigma wurde von der Gruppe um Schmitt (Rodriguez–Fornells, Schmitt, Kutas und Münte, 2002; Schmitt, Münte und Kutas, 2000; Schmitt, Rodriguez–Fornells, Kutas und Münte, 2001; Schmitt, Schiltz, Zaake, Kutas und Münte, 2001) weiter ausgebaut. Die Forschergruppe

schaute sich zusätzlich zum LRP ein weiteres Potenzial an, die so genannte „N200“. Verglichen wurden hierbei die Versuche, bei denen eine aktive Reaktion unterdrückt wird (No–Go–Antwort) mit Versuchen, bei denen eine Antwort gegeben werden muss (Go–Antwort). Diese Komponente ist mit Inhibierungsprozessen assoziiert. Abhängig von der jeweiligen Aufgabe (semantisch oder phonologisch) findet sie sich mit einer typischen Latenz in fronto–zentralen Regionen. Dabei steht die Gipfellatenz der N200 für den Zeitpunkt, zu dem die entsprechende Information zur Verfügung steht. Die Gruppe konnte zeigen, dass semantisch–konzeptuelle Informationen vor phonologischen aktiv sind (siehe Jansma, Rodriguez–Fornells, Möller und Münte, 2004, für eine Übersicht neurophysiologischer Studien). Darüber hinaus wurde das Untersuchungsparadigma für das Sprachverstehen (auditives Wortverstehen) entsprechend adaptiert. Sichtbar wurde hier eine Umkehrung der Reihenfolge: zuerst sind phonologische Informationen aktiv, syntaktisches Wissen steht vor semantischem Wissen zur Verfügung (Rodriguez-Fornells et al., 2002).

Müller und Hagoort (2006) setzten ebenfalls das Go/No–Go–Paradigma ein, um das Lesen einzelner Worte zu untersuchen. Sie betrachteten LRPs und die N200 und konnten gleichfalls zeigen, dass semantische Informationen vor syntaktischen Informationen eine Rolle spielen.

3.4 Generelle Überlegungen zur Konzeption der Experimente

Bei den dargestellten Produktionsstudien mit ereigniskorrelierten Potenzialen kann kritisiert werden, dass mit den meisten der geschilderten experimentellen Paradigmen keine gesprochene Sprache untersucht wurde. Darüber hinaus haben sich die Studien lediglich mit der Wortebene befasst (Jansma et al., 2004).

Klassische Untersuchungsparadigmen innerhalb der Sprachproduktionsforschung sind u. a. Benennen, Lesen oder auch die Wortgenerierung (siehe Indefrey und Levelt, 2000 für eine Zusammenfassung relevanter Studien). Beim einfachen Bildbenennen ist die Konzeptualisierung nach etwa 250 ms abgeschlossen und die Artikulation erfolgt binnen 600 ms (Levelt et al., 1998). Diese Werte sind jedoch nicht ohne weiteres auf Unterhaltungen oder Spontansprache zu übertragen. Zwar spielen die zuvor beschriebenen Einzelschritte auch in natürlicheren Kontexten eine Rolle, allerdings ist die Generierung von Phrasen oder Sätzen komplexer, so dass das Zeitfenster deutlich nach oben erweitert werden muss (Indefrey und Levelt, 2004). Für die Beschreibung von Anordnungen benötigen Sprecher etwa eine Sekunde bis zum Äußerungsbeginn (siehe auch

Levelt und Maasen, 1981) und zwischen zwei und drei Sekunden für die eigentliche Sprechphase (Indefrey, Brown, Hellwig, et al., 2001).

Darüber hinaus muss die inkrementelle Verarbeitung innerhalb der Sprachproduktion berücksichtigt werden. Das hat zur Folge, dass sich einzelne Prozesse nicht klar voneinander abgrenzen lassen, da sich die verschiedenen Verarbeitungsschritte zeitlich überlappen. Folglich sind die gewonnenen zeitlichen Informationen mit Vorsicht zu interpretieren, wenn es darum geht, den genauen Informationsablauf innerhalb der Sprachproduktion darzustellen.

Zwar bieten elektrophysiologische Verfahren eine hohe zeitliche Auflösung, allerdings reagieren sie sehr sensibel auf Bewegungen, wobei Sprechen typischerweise mit Artikulationsbewegungen einhergeht. Hierdurch kann die Analyse der Daten erschwert werden. Viele der durchgeführten Studien zur Sprachproduktion, die ereigniskorrelierte Potenziale eingesetzt haben, wählten daher eine indirekte Vorgehensweise. Dabei bedeutet indirekt, dass die Probanden nicht laut gesprochen haben, sondern dass vielmehr alternative Handlungen zum Einsatz kamen, wie z. B. das Drücken einer bestimmten Taste als Antwortreaktion auf internes Sprechen (van Turennout et al., 1997, 1998, 1999; Schmitt et al., 2000, 2001), verzögerte Benenntechiken (Möller, Jansma, Rodriguez–Fornells und Münte, 2007) oder auch das „Graphem–Monitoring“, wo Probanden auf ein bestimmtes Graphem reagieren müssen (Hauk, Rockstroh und Eulitz, 2001).

Allerdings stellt lautes Sprechen kein Hindernis per se für die Durchführung von Experimenten mit ereigniskorrelierten Potenzialen dar, wenn bestimmte Voraussetzungen erfüllt sind (Liotti, Woldorff, Perez und Mayberg, 2001). Eulitz, Hauk und Cohen (2005) ließen Probanden Abbildungen benennen und verglichen unter anderen das „stille“ und das „offene“ Benennen (Flüstern). Beide Benennbedingungen unterschieden sich hinsichtlich der Topographie und der Amplitudenausprägung nicht wesentlich voneinander. Das lässt den Schluss zu, dass auch gesprochene Sprache unter bestimmten Umständen EEG–Experimenten zugänglich ist. Voraussetzung bleibt, dass sich die Analyse der EEG–Daten auf die sprechbewegungsfreien Momente bezieht, in denen noch keinerlei Bewegungsartefakte zu erwarten sind.

Von besonderem Interesse ist daher das Zeitfenster, in dem die Planung der Äußerungen stattfindet, d. h. vor der eigentlichen Artikulationsphase. Vorhergehende Studien haben gezeigt, dass bei komplexeren Äußerungen die Artikulation nicht vor ca. 600 bis 800 ms einsetzt (Indefrey et al., 2001; Habets, 2007). Aus diesem Grund beschränkt sich in den eigenen Experi-

menten die Analyse auf das Zeitfenster von 100 ms vor der Stimuluspräsentation bis 600 bzw. 800 ms danach.

3.5 Leitfragen für die durchgeführten Experimente

Während insbesondere die späteren kernlinguistischen Prozesse bei der Sprachproduktion gut belegt sind, sind die Prozesse, die während der Konzeptualisierung stattfinden, weniger untersucht. Während der so genannten Selektion werden die Einheiten bzw. Komponenten ausgewählt, die sprachlich umgesetzt werden sollen. Strukturierungsprozesse sind ebenfalls von Bedeutung; wie bereits dargestellt, spielt die eingenommene Perspektive und der Diskurskontext eine wichtige Rolle für die präverbale Botschaft. Zuletzt müssen die Inhalte mit Hilfe von Linearisierungsprozessen in der gewünschten Reihenfolge angeordnet werden (Carroll et al., 2004).

Im ersten Experiment wird die Planungskomplexität systematisch variiert, hierbei sind Segmentierungs- und Selektionsprozesse beteiligt. Untersuchungsgegenstand des zweiten Experiments ist die zeitliche Anordnung von Ereignissen: Probanden müssen Ereignissequenzen in unterschiedlichen Abfolgen anordnen. Im dritten Experiment schließlich spielen neben der Selektion auch Strukturierungsprozesse eine Rolle.

Die Experimente sollten zur Beantwortung v. a. der folgenden Leitfragen dienen:

- Lassen sich die neuronalen Prozesse, aus denen die Konzeptualisierung besteht, mit ereigniskorrelierten Potenzialen nachweisen?
- Inwieweit beeinflusst die Planungskomplexität die neuronalen Prozesse innerhalb der Makroplanung?
- Führen verschiedene Anordnungen von Ereignissequenzen zu unterschiedlichen neurologischen Korrelaten?
- Lassen sich selektionsspezifische Prozesse bei Bildbeschreibungen nachweisen?
- Inwieweit übt das Arbeitsgedächtnisses einen Einfluss auf die untersuchten Prozesse aus?

Auf diese Fragen wird im abschließenden Diskussionskapitel wieder eingegangen.

3.6 Konsequenzen für die Versuchsdurchführungen

Komplexere sprachliche Äußerungen ermöglichen die Analyse verschiedener involvierter linguistischer Ebenen wie Phonologie, Semantik, Morphosyntax und Pragmatik. Da die verschiedenen Ebenen miteinander interagieren, macht es Sinn, Sprache in natürlichen Kontexten zu untersuchen und sich nicht nur auf die Einzelwortebene zu beschränken (siehe auch von Stutterheim und Nüse, 2003; Braun et al., 2001). Für die Untersuchung von Sprachproduktion mit neurophysiologischen Methoden ist das jedoch problematisch. Aufgrund der unstrukturierten, freien Sprachsituation ist es schwierig, die Daten miteinander zu vergleichen, da verschiedene kognitive Prozesse beteiligt sein können. Selbst einfache Bildbeschreibungen können zu einer enormen Vielfalt von möglichen Antworten führen. Die notwendige Konsequenz ist eine strukturierte Untersuchungssituation, auch wenn dadurch nur bedingt auf natürliche Sprechsituationen geschlossen werden kann. Allerdings wird durch spezifische Instruktionen das Antwortspektrum möglichst gering gehalten und somit die Datenanalyse ermöglicht.

Ausgehend von den in den vorigen Abschnitten genannten Voruntersuchungen wurden die folgenden Vorgehensweisen für die konkrete Durchführung der Experimente festgelegt:

1. Bei allen Versuchspersonen, die für die EKP–Untersuchungen der vorliegenden Arbeit rekrutiert werden konnten, wurde eine neurologische Erkrankung ausgeschlossen. Alle Probanden waren Rechtshänder, jünger als 35 Jahre, sprachlich unauffällig und das Sehvermögen war normal bzw. entsprechend korrigiert. Das Verhältnis zwischen männlichen und weiblichen Versuchsteilnehmern war relativ ausgeglichen, auch wenn Hinweise existieren, dass keine geschlechtsspezifische Unterschiede bei sprachlichen Aufgaben bestehen (Münste et al., 2000).
2. Die genaue Vorgabe des gewünschten Satzrahmens für die möglichen Antwortmuster gewährleistete, dass Variationen im Antwortverhalten spezifisch auf die jeweilige Aufgabenstellung zurückzuführen sind. So wurde z. B. im Experiment zur Linearisierung der Satzrahmen so kurz wie möglich gehalten, es unterschieden sich lediglich die initialen Konjunktionen *bevor* und *nachdem*. Die ausführliche Darstellung der verwendeten experimentellen Paradigmen findet sich in den methodischen Beschreibungen des jeweiligen Experiments.
3. Übungsbeispiele machten die Probanden mit den Stimuli und dem Untersuchungsablauf vertraut. In dieser Phase stand den Probanden zunächst soviel Zeit wie gewünscht für die Bewältigung der Aufgabe zur Verfügung. Sobald sie die Aufgabenstellung sicher beherrschten, fand die Durchführung unter vorgegebenen Zeitbedingungen statt.

4. Das Zeitfenster zur Äußerung der Antworten sah ausreichend Zeit vor, so dass die Probanden nicht schneller werden mussten. Sie sollten vielmehr möglichst normal sprechen, d. h. nicht langsamer sprechen bzw. deutlicher artikulieren als sonst auch.
5. Um die Anzahl von Bewegungsartefakten auf ein Minimum zu reduzieren, wurde darauf geachtet, dass die Probanden möglichst still und bequem saßen und dass der Abstand zu den präsentierten Stimuli in allen Fällen identisch war. Für die neurophysiologische Analyse der Daten war es wesentlich, dass die Probanden nur während und nach dem Sprechen blinzeln. Hierdurch war es möglich, relativ artefaktfreie Aufzeichnungen zu bekommen.
6. Anschließend wurden alle Daten zusätzlich durch die „Blind Source Separation“ („BSS“; Joyce, Gorodnitzky und Kutas, 2004) bereinigt. Die jeweiligen Untersuchungsbedingungen werden ausführlich in den folgenden Kapiteln beschrieben.
7. Die Darbietung der Stimuli erfolgte randomisiert. Hierdurch wurden Probanden davon abgehalten, in ein bestimmtes Antwortmuster zu verfallen. Erst wenn diese Grundvoraussetzung erfüllt ist, können ausgewählte Variablen systematisch manipuliert werden, um deren Einfluss auf die Sprachproduktion zu untersuchen (Jescheniak, 2002; Hermann und Grabowski, 1994).
8. Zusätzlich zu den neurophysiologischen Daten wurden die Antwortlatenzen und die produzierten Fehler und Pausen protokolliert. Hierdurch wurde die Zeit für die Sprechplanung erfasst. Kritisch anzumerken ist jedoch, dass dies keine Informationen darüber liefert, auf welche kognitiven Prozesse die Probanden zurückgriffen. So können Probanden schneller antworten oder auch deutlich mehr Zeit benötigen als vorgesehen, wenn es zu Aufmerksamkeitsschwankungen oder Konzentrationsverlusten kommt, insbesondere gegen Ende eines Untersuchungsblocks (was noch einmal die Bedeutung der randomisierten Darbietung unterstreicht).
9. Ein typisches Problem bei der Analyse von Reaktionszeiten sind Ausreißer im Reaktionsverhalten, die durch kontaminierende Variablen verursacht werden. Aus diesem Grund wurden für die Analyse hier nur die Antworten berücksichtigt, die nicht mehr als die zweifache Standardabweichung nach oben oder unten von der gemittelten Antwortlatenz abweichen (siehe Ratcliff, 1993, für eine ausführliche Diskussion verschiedener Verfahren zur Korrektur von Ausreißern).

Die spezifischen Darstellungen der methodischen Vorgehensweisen finden sich in den jeweiligen Kapiteln zu den durchgeführten Experimenten.

Kapitel 4: Experiment I — Komplexität der Konzeptualisierung²

4.1 Die Produktion komplexer Sprechäußerungen

Inwiefern beeinflussen äußere Umstände die Generierung von Sprechäußerungen? Während der Konzeptualisierung wird entschieden, was und wie etwas versprachlicht wird (Levelt, 1989, 1999). Der erste Schritt dabei ist die Makroplanung, bei der eine Idee in sprachliche Einheiten übersetzt wird. Diese Phase ist u. a. durch den Diskurskontext geprägt (Horton, 2007; Horton und Keysar, 1996; Wilkes–Gibbs und Clark, 1992; Clark und Wilkes–Gibbs, 1986), je nach Gesprächssituation ist ein Sprecher unterschiedlich hohen kognitiven Anforderungen ausgesetzt (Howarth und Anderson, 2006; Roßnagel, 2004; Hermann und Grabowski, 1994). Nicht in allen Fällen verfügen Sprecher dabei über eine vollständige Diskursrepräsentation zum Sprechbeginn (Ferreira und Smets, 2002; Levelt, 1989). Oft werden Gedanken verworfen, Informationen während des Sprechens spontan ergänzt oder Sätze umformuliert:

- (11) „Wer ein Trio vorne hat wie Ronaldo, Ronaldinho und äh ... die anderen Brasilianer, Carlo ... äh Roberto Carlos, das ist äh, das ist äh ... Rivaldo noch dazu, Rivaldo ... äh, Rivaldo dazu noch, Rivaldo ... äh ... Rivaldo und Ronaldinho und Ro ... und Ronaldo also ... das dann verloren zu haben, das ist zwar bitter, aber nicht so bitter.“ (Edmund Stoiber)

Dabei bedingt der Prozess der inkrementellen Sprachverarbeitung, dass Äußerungen sowohl seriell als auch parallel generiert werden. Sprecher können diesen Vorgang strategisch steuern: bei besonders hohen Anforderungen an die Aufmerksamkeitsreserven bzw. an das Arbeitsgedächtnis entstehen längere Antwortlatenzen und mehr Unterbrechungen im Sprachfluss (Oomen und Postma, 2001b). Letztere sind besonders häufig vor komplexen syntaktischen Phrasen (Kircher et al., 2004; Clark und Fox–Tree, 2002; Ferreira und Smets, 2002; Levelt, 1989). Somit bestimmt die kognitive Komplexität einer Aufgabe den Sprachfluss, in Beschreibungen von Comiczeichnungen finden sich z. B. weniger Unflüssigkeiten als in Interpretationen derselben (Goldman–Eisler, 1973). Je höher die kognitiven Anforderungen, desto größer die Unsicherheit auf Seiten des Sprechers, ob er wirklich die richtige Nachricht bzw. Botschaft getroffen hat (siehe auch Bock, 1995). Das ist wahrscheinlich ein Grund, warum Sprecher dazu tendieren, mit dem Äußerungsbeginn so lange zu warten, bis sie wissen, was sie sagen wollen.

² Die Ergebnisse dieser Untersuchung wurden bereits publiziert als: Marek, Habets, Jansma, Nager u. Münte (2007). Neural correlates of conceptualisation difficulty during the preparation of complex utterances. *Aphasiology*, 21, 1147–1156.

Clark und Clark (1977) bezeichnen das als „ideal delivery“. Ein ähnliches Phänomen ist bei Wegbeschreibungen zu beobachten: je vertrauter ein Sprecher mit der Situation bzw. Aufgabe ist, desto flüssiger sind die Äußerungen. So reduziert sich die Anzahl von Pausen von länger als 250 ms bei wiederholten Wegbeschreibungen von 41% auf 28% (Good und Butterworth, 1980).

Bei der Produktion von Sprechphrasen werden mehrere Konzepte gebildet, was wiederum den Zugriff auf die entsprechenden Lemmainformationen mit sich zieht. Im Deutschen bestimmen Kasus und Numerus des Substantivs den Artikel und das Adjektiv. Für Nominalphrasen mit adjektivischer Ergänzung wird prinzipiell eine parallele Aktivierung der einzelnen Lemmata angenommen:

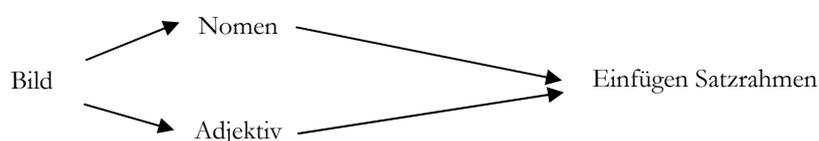


Abb. 6: Schematische Darstellung der Verfügbarkeit von Nomen und Adjektiven bei der Generierung von Nominalphrasen (Schriefers, Meyer und Levelt, 1992: 37)

Allerdings bestimmen auch perzeptuelle Eigenschaften den Zugriff. So sind Adjektive perzeptuell prominenter als Objekte, d. h. dass die entsprechenden Informationen des Adjektivs häufig schneller zur Verfügung stehen (Mangold, 2003; Mangold und Pobel, 1988). Die Äußerung der entsprechenden Nominalphrase erfolgt, sobald das langsamste zur Verfügung stehende Wort aktiviert ist, in der Regel das Substantiv. Allerdings kann der Sprechbeginn auch erfolgen, wenn die Äußerung noch gar nicht vollständig generiert ist und nur das Adjektiv zur Verfügung steht. In solch einem Fall hat der Sprecher oft die Genusinformation aktiviert, d. h. Adjektiv und Artikel sind kongruent, allerdings folgt nach Artikel plus Adjektiv eine längere Pause bis zum Substantiv.

Ein klassisches experimentelles Vorgehen zur Untersuchung prozessbezogener Aspekte in Beschreibungen ist das Netzwerkparadigma (Levelt, 1981, 1982, 1983). Probanden sehen als Stimuli verschiedene gitterartige Netzwerke, an deren Knoten sich farbige Figuren befinden. Ihre Aufgabe ist es, eine Wegbeschreibung durch das Netzwerk zu geben, so dass eine andere Person, die das Netzwerk nicht sieht, dieses detailgetreu nachzeichnen könnte. Je nach Komplexität der Route können die Anforderungen an die Probanden entsprechend systematisch manipuliert werden. In linear aufgebauten Netzwerken ist der Weg durch Knoten mit je zwei Anschlüssen

zwingend vorgegeben, in hierarchisch aufgebauten Netzwerken hingegen muss sich der Sprecher an Drei- und Mehrfach-Knoten jeweils entscheiden, welchen Weg er zunächst beschreibt. Diese Entscheidung wird unter anderem dadurch beeinflusst, welche Strecke kürzer oder weniger komplex ist.

Das im Folgenden beschriebene eigene Experiment arbeitet ebenfalls mit Netzwerken und untersucht Prozesse während der konzeptuellen Makroplanung. Konkret wurde die Menge der zu beschreibenden Informationen systematisch variiert, um auf diese Weise die Komplexität bzw. damit verbunden die kognitiven Anforderungen innerhalb der Konzeptualisierungsphase zu manipulieren. Analysiert wurden die Sprech- und die EEG-Daten. Dass Sprachproduktion prinzipiell elektrophysiologischen Methoden zugänglich ist, wurde bereits ausführlich in Kapitel 3 beschrieben. Allerdings sind die zuvor beschriebenen Untersuchungsparadigmen (van Turenout et al., 1997, 1998; Schmitt et al., 2000, 2001) für die geplante Untersuchung nicht geeignet, da die Probanden jeweils immer vor einer Wahlaufgabe standen. Das ist jedoch für die hier vorgesehene Untersuchung nicht sinnvoll.

Die Testpersonen sollten hier einen Weg aus fünf Einzelschritten beschreiben, der auf dem PC-Bildschirm jeweils Schritt für Schritt angezeigt wurde. Dabei unterschieden sich die verschiedenen Aufgabenstellungen in ihrem Schwierigkeitsgrad (einfach/mittel/komplex). Erwartet wurde, dass sich die Unterschiede in den Konzeptualisierungsanforderungen neurophysiologisch aufzeigen ließen. Da bislang meines Wissens keine Experimente zur Makroplanung mit ereigniskorrelierten Potenzialen durchgeführt wurden, bleiben die vorab gestellten Hypothesen eher unspezifisch. Aber da die Konzeptualisierungsphase durch Aufmerksamkeits- und Arbeitsgedächtnisprozesse beeinflusst wird, sollten sich diese Komponenten in den Potenzialen finden lassen. Während Aufmerksamkeit generell mit einer P300 assoziiert ist (u. a. Polich, 2007; Kok, 2001), wird in Bezug auf eine eventuelle Beteiligung des Arbeitsgedächtnisses ein frontaler Fokus erwartet (z. B. Vos, Gunter, Kolk und Mulder, 2001; Müller et al., 1998, Münte et al., 1998; King und Kutas, 1995). Darüber hinaus besteht ein Zusammenhang zwischen individuellen Arbeitsgedächtnisleistungen und der P300; Probanden mit einer hohen Merkspanne zeigen eine größere P300 (Nittono, Nageishi, Nakajima und Ullsperger, 1999). In Bezug auf die Sprechdaten sollten sich die komplexeren Aufgabenstellungen hinsichtlich Antwortlatenzen, Fehleranzahl und Pausen von den einfacheren Aufgabenstellungen unterscheiden.

4.2 Methodisches Vorgehen

4.2.1 Probanden

Insgesamt wurden 26 gesunde deutschsprachige Probanden getestet. Aufgrund technischer Probleme kam es zum Ausschluss dreier Probanden, bei einem Probanden musste die Ableitung nach der Hälfte des Experiments abgebrochen werden. Neun weitere Probanden konnten wegen verunreinigter EEG (insbesondere starker Augenartefakte) ebenfalls nicht berücksichtigt werden. Ausgewertet wurden letztendlich die Testdaten von 13 Probanden im Alter zwischen 22 und 29 Jahren (davon 8 Frauen, Median 23 Jahre). Alle Probanden waren rechtshändig, sprachunauffällig und hatten ein normales bzw. korrigiertes Sehvermögen. Neurologische Auffälligkeiten oder Erkrankungen lagen nach Angaben der Versuchsteilnehmer nicht vor. Die Teilnahme war freiwillig und wurde mit 7,- € je Stunde vergütet. Alle Versuchspersonen entstammten einem Probandenpool aus Studentinnen und Studenten der Medizinischen Hochschule Hannover, der Leibniz-Universität Hannover, der Fachhochschule Hildesheim und Schülerinnen und Schülern der Logopädenlehranstalt Hannover. Vorab wurden die Teilnehmer über die Funktionsweise und die möglichen Risiken einer EKP-Untersuchung aufgeklärt und unterschrieben eine Einwilligungserklärung, in der sie ihrer Teilnahme und der anonymen Weiterverwendung sowie Veröffentlichung ihrer Daten zustimmten. Die Durchführung der Experimente erfolgte nach Zustimmung durch die Ethikkommission der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg.

Um den Zusammenhang zwischen der individuellen Arbeitsgedächtnisspanne und der gemessenen Hirnaktivität zu untersuchen, wurden vor Beginn der Ableitung die Leistungen des Arbeitsgedächtnisses mit der „Zahlenspanne Vorwärts und Rückwärts“ aus den „Wechsler Memory Scales“ („WMS-R“; Härting, Markowitsch, Neufeldt et al., 2000) bestimmt. Aufgrund der letztendlich zu geringen Probandenzahl flossen diese Ergebnisse jedoch in die statistische Analyse nicht weiter ein.

4.2.2 Stimuli

Für die Untersuchung wurde eine adaptierte Version des Netzwerkparadigmas gewählt (Levelt, 1983; Oomen und Postma, 2001a). Insgesamt wurden 24 Gitternetzwerke mit jeweils acht identischen geometrischen Formen bzw. Symbolen eingesetzt (Dreieck, Kreuz, Quadrat, Herz, Kreis, Ring, Mond, Stern). Die Anordnung von Position und Farbe der verschiedenen Formen unter-

schied sich in jedem Netzwerk. Die Begriffe für die verwendeten Figuren bzw. Symbole waren alle ein- und zweisilbig und hatten eine allgemeine Wortfrequenz (mündlich und schriftlich kombiniert) zwischen 3 und 111 pro Million Wörter (CELEX; Baayen, Piepenbrock und van Rijn, 1993). Das grammatikalische Geschlecht war ausbalanciert (neutrum: 4; maskulin: 4). Vorab wurde in einer Voruntersuchung die Namensübereinstimmung der verwendeten Farben und Figuren überprüft. Hierfür benannten 20 Schüler der Logopädie die verschiedenen Stimuli schriftlich. Verwendet wurden nur die Figuren und Farben, deren Übereinstimmungsrate mindestens 90% betrug. Alle Stimuli wurden in „Powerpoint“ erstellt und anschließend in ein JPG-Format konvertiert.

Aufgabe war es, in jedem Netzwerk einen zusammenhängenden Weg aus fünf Richtungsangaben zu beschreiben, so dass eine fremde Person in der Lage wäre, die beschriebene Strecke korrekt nachzuzeichnen. Die Probanden mussten entweder nur die Richtung (einfache Aufgabenstellung) oder die Richtung sowie die Form des Ziels (mittlere Aufgabenstellung) oder die Richtung sowie Farbe und Form des Ziels (komplexe Aufgabenstellung) angeben. Dabei sollte die eingenommene Sprecherperspektive deiktisch sein (Levelt, 1989), d. h. Sprecher sollten die Richtungsbeschreibungen wählen *nach oben*, *nach unten*, *nach links* und *nach rechts*³. Dieser Weg wurde auf dem Bildschirm Schritt für Schritt mit einem Pfeil zwischen zwei Figuren angezeigt. Dabei signalisierte der Pfeil jeweils den Beginn einer neuen Äußerung. Die zu beschreibenden Wege in den verwendeten Netzwerken waren linear (d. h. keine Wahlmöglichkeit), Startpunkt war in allen Fällen der Mittelpunkt.

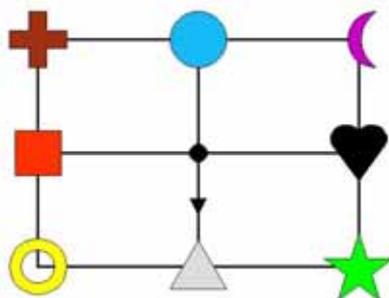


Abb. 7: Beispiel eines Netzwerks mit Pfeil als Richtungsangabe. Die entsprechende Antwort in der einfachen Aufgabenstellung wäre *nach unten*, in der mittleren Aufgabenstellung *nach unten zum Dreieck* und in der komplexen Aufgabenstellung *nach unten zum grauen Dreieck*.

³ Im Gegensatz dazu wären die entsprechenden intrinsischen Beschreibungen *geradeaus*, *nach links*, *nach rechts*.

4.2.3 Prozedere

Die Untersuchung fand individuell in einem abgeschlossenen Raum statt. Alle Probanden saßen auf einem bequemen Stuhl und waren aufgefordert, sich während der Ableitung möglichst nicht zu bewegen. Hierdurch sollten potenzielle Bewegungsartefakte minimiert werden. Die Stimuli wurden auf einem 21-Zoll-Bildschirm mit einer Auflösung von 1024 x 768 Pixeln präsentiert, der Abstand zwischen Bildschirm und Augen der Probanden betrug zwei Meter. Die Versuchspersonen sollten während der Ableitung die Mitte des Bildschirms fixieren, um Augenbewegungen zu vermeiden.

Für die Durchführung wurde die folgende Zeitstruktur gewählt: Vor jedem Durchgang (Trial) sahen die Probanden je nach Aufgabenstellung für 1,5 Sekunden eine kurze visuelle Instruktion: *Beschreiben Sie die Richtung* oder *Beschreiben Sie Richtung und Form* oder *Beschreiben Sie Richtung, Form und Farbe*. Anschließend erschien der eigentliche Stimulus für 6 Sekunden. Innerhalb dieses Zeitraums sollten die Probanden die Route des Pfeils beschreiben. Die Reaktion sollte ohne Zeitdruck erfolgen, um das Ausmaß potenzieller Fehler möglichst gering zu halten. Eine zusätzliche Aufforderung zum Sprechen wurde nicht gegeben. Es schloss sich ein Asterisk als Fixationspunkt für 0,5 Sekunden an, um die Aufmerksamkeit der Probanden noch einmal auf die Bildschirmmitte zu lenken bzw. als Signal für den baldigen Start des kommenden Gitternetzwerks. Jeder Durchgang bestand aus insgesamt fünf in dieser Form präsentierten Netzwerken, gefolgt von einem Asterisk. Danach begann der nächste Durchgang mit dem Zeigen der Instruktion.

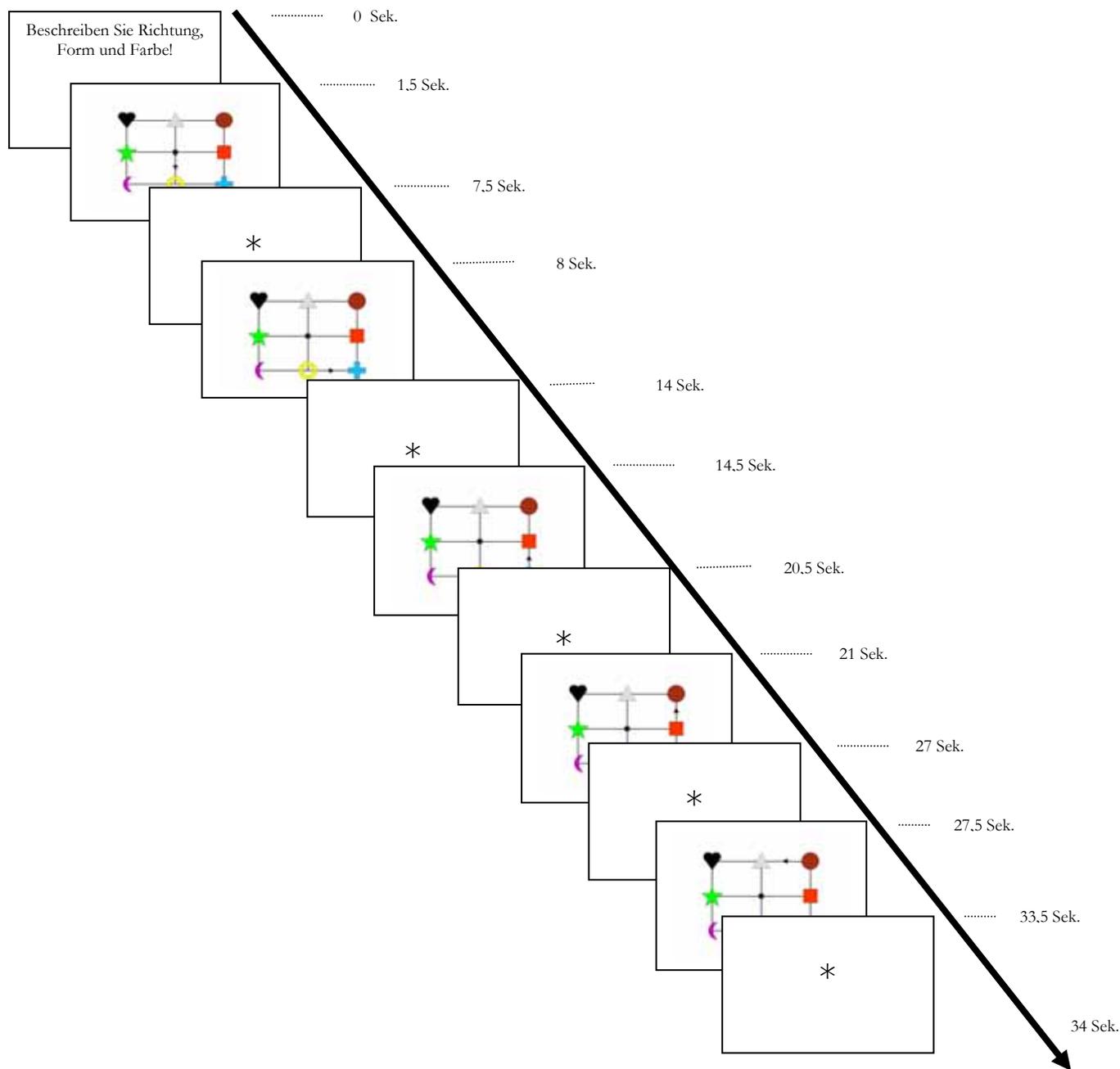


Abb. 8: Zeitlicher Verlauf eines Durchgangs (Trials; Gesamtdauer: 34 Sekunden). Die EEG-Aufnahme erfolgte synchronisiert mit dem Erscheinen des jeweiligen Pfeils. Zielantworten wären in diesem Fall: *nach unten zum gelben Ring, nach rechts zum blauen Kreuz, nach oben zum roten Quadrat, nach oben zum braunen Kreis, nach links zum grauen Dreieck.*

Es wurden drei Aufgabenstellungen untersucht, wobei die Menge der präsentierten Stimuli in allen Fällen identisch war. Die Aufgabenstellungen unterschieden sich jedoch in Hinblick auf ihre konzeptuellen Anforderungen hinsichtlich der Komplexität:

Aufgabenstellung	syntaktische Komplexität	Beispiel
einfach	einfache Präpositionalphrase mit Richtungsangabe	nach unten, nach oben, nach rechts nach links, zur Mitte
mittel	erweiterte Präpositionalphrase mit Richtungs- und Formangabe	nach unten zum Dreieck
komplex	komplexe Präpositionalphrase mit Richtungs-, Farb- und Formangabe	nach unten zum grauen Dreieck

Tab. 2: Zusammenfassung der verschiedenen experimentellen Aufgabenstellungen mit den erwarteten Antwortmustern

Dabei war die Zielabfolge der verschiedenen Modifizierungen in der komplexen Aufgabenstellung Richtung > Farbe > Form. Ein Durchgang (Trial) bestand aus einer Wegbeschreibung mit fünf sukzessiven Pfeilfolgen, d. h. innerhalb eines Trials wurden jeweils fünf Äußerungen produziert. Alle Probanden sahen alle Netzwerke in den drei Aufgabenstellungen, jede Aufgabenstellung umfasste 120 Stimuli. Insgesamt wurden also 360 Stimuli präsentiert ([24 Netzwerke] x [5 Äußerungen] x [3 Aufgabenstellungen]). Die Gesamt-Ableitzeit betrug 2448 Sekunden (24 Durchgänge in je 3 Aufgabenstellungen x 34 Sekunden), also knapp 41 Minuten, was in einer Sitzung zu bewerkstelligen war. Die 360 Stimuli waren gleichmäßig auf vier Blöcke von jeweils ungefähr 10 Minuten verteilt. Das vollständige Experiment dauerte inklusive Pausen ca. 45–50 Minuten.

Vor Beginn des Experiments wurde sichergestellt, dass die Probanden alle Instruktionen verstanden hatten, mit Farben und Begriffen vertraut waren und möglichst wenig blinzeln. Vorab gab es eine Übungsphase, in der den Probanden zunächst soviel Zeit wie gewünscht für die Bewältigung der Aufgabe zur Verfügung stand. Sobald sie die Aufgabenstellung sicher beherrschten, fand die Durchführung unter realen Zeitbedingungen statt. Für die Aufzeichnung der ereigniskorrelierten Potenziale war es notwendig, dass die Probanden in dem für die Ableitung relevanten Zeitfenster, d. h. zwischen dem Einblenden des markierten Symbols und dem Sprechbeginn, keine Augenbewegungen produzierten. Sie wurden daher instruiert, nur nach oder während des Sprechens zu blinzeln. Alle Stimuli aus der Übungsphase wurden im eigentlichen Experiment nicht mehr verwendet.

Die Präsentation der Stimuli erfolgte randomisiert mit dem Programm „Presentation 0.55“ (www.neurobehavioralsystems.com). Alle Fehler der Probanden wurden durch die Versuchsleiterin auf einem Protokollblatt vermerkt. Für eine spätere Analyse der Versprecher und Interjektionen wurden die Äußerungen akustisch aufgezeichnet. Bei den Fehlern bzw. Korrekturen wurde zusätzlich die Fehlerart notiert. Aufgrund der sehr geringen Fehleranzahl wurde dieser qualitative Aspekt in der Analyse jedoch nicht weiter berücksichtigt.

Eine Auswertung der Reaktionszeiten der Probanden war zunächst nicht vorgesehen. Als sich herausstellte, dass dies durchaus sinnvoll ist, wurde mit einer kleineren zusätzlichen Gruppe das Experiment noch einmal durchgeführt und dabei auch die Antwortlatenzen bestimmt. Hierfür wurden 12 neue Probanden (davon 7 Frauen, Median 23 Jahre, Bereich 21–29 Jahre) rekrutiert, die an der ersten Erhebung nicht teilgenommen hatten. Die Sprechdaten wurden über einen externen PC mit dem Programm „Adobe Audition 1.0“ aufgenommen. Jeweils zeitgleich mit dem Einblenden des Stimulus wurde auf einer zweiten Spur ein Kontrollton aufgezeichnet, der für die Probanden nicht hörbar war (siehe auch Roßnagel, 2004, für eine ähnliche Vorgehensweise). Die Bestimmung der Antwortlatenzen erfolgte an Hand der korrekten Äußerungen. Ausreißer in den Sprechdaten wurden korrigiert, indem die Antworten eliminiert wurden, die jeweils vom individuellen Mittelwert eines einzelnen Probanden um die zweifache Standardabweichung nach oben oder unten abwichen (siehe Ratcliff, 2003).

Insgesamt wurden somit bei den Sprechdaten die folgenden Parameter erfasst (in Anlehnung an Levelt, 1983; Oomen und Postma, 2001a):

- Antwortlatenzen
- Äußerungslängen
- Interjektionen und Pausen (> 300 ms)
- Fehler bzw. Korrekturen (semantisch/phonologisch) nach der Äußerung

4.2.4 Datenaufzeichnung und -analyse

Die Ableitung erfolgte mit Hilfe von 29 Zinnelektroden, die in einer elastischen Kappe der Firma Electro-Cap International (Eaton, Ohio) montiert waren, wobei folgende standardisierten Ableitpunkte in Anlehnung an das 10–20er-System gewählt wurden: Fp1/2, F3/4, C3/4, P3/4, O1/2, F7/8, T3/4, T7/8, Fz, Cz, Cpz (Nasenspitze), Pz, Fpz, Fc1/2, Fc5/6, Cp1/2, Cp5/6, Po1/2. Zusätzlich wurden Elektroden am rechten Mastoid (Referenzelektrode) sowie am rechten Orbita-

rand und unterhalb des rechten Auges angebracht (bipolares Elektrokulogramm; EOG). Durch Aufrauen der Haut und der Benutzung eines Elektrodengels wurden alle Elektrodenimpedanzen so gering wie möglich gehalten ($\leq 5 \text{ k}\Omega$). Die Daten wurden mit einem SynAmp–Verstärker der Firma Neuroscan (Herndon, Virginia) aufgenommen, anschließend mit einem Tiefpassfilter von 70 Hz gefiltert und mit einer Abtastrate von 250 Hz digitalisiert. Die Artefaktkorrektur erfolgte durch die „Independent Component Analysis“ („ICA“, Makeig, Bell, Jung und Sejnowsky, 1996). Die Anzahl der jeweils ausgeschlossenen Stimuli ist bei der Darstellung der Resultate angegeben.

Im Folgenden wird das für alle Experimente dieser Arbeit gleiche Vorgehen bei der Datenanalyse beschrieben. Die jeweiligen speziellen Auswertungspunkte, wie Faktoren und Auswahl der berechneten Zeitfenster, werden zusätzlich für jedes einzelne Experiment im jeweiligen Kapitel erläutert. Die Datenanalyse umfasst die Auswertung der Sprech– und der EEG–Daten. Die Sprechdaten beziehen sich auf die Anzahl der produzierten Fehler bzw. Selbstkorrekturen und Interjektionen sowie auf die Antwortlatenzen.

Die Mittelung der EEG–Daten erfolgte in einem Zeitfenster von 100 bis 600 ms nach Erscheinen des Pfeils, um Sprechartefakte auszuschließen. Die Analyse erfolgte getrennt für die unterschiedlichen Aufgabenstellungen und Elektroden, über alle Äußerungen und über alle Versuchspersonen hinweg. Die statistische Analyse der Sprech– und der EEG–Daten erfolgte mit Hilfe von ein– und mehrfaktoriellen Varianzanalysen mit Messwiederholung (ANOVA) mit den Faktoren Komplexität (leicht/mittel/schwer) und Elektrodenposition als Innersubjekt–faktoren mit Hilfe der Software „ERPSS“ (ERP Lab, UC San Diego). Für eine weitere Analyse wurde als zusätzlicher Faktor die Position der Äußerung im jeweiligen Durchgang (Nr. 1 bis 5) mit berücksichtigt. Die Huynh–Feldt–Korrektur für inhomogene Varianzen wurde verwendet, die p–Werte sind entsprechend korrigiert (Huynh und Feldt, 1980). Alle ereigniskorrelierten Potenziale wurden für die drei verschiedenen Aufgabenstellungen verglichen, wobei insbesondere das Zeitfenster zwischen 300 und 600 ms interessierte. Die erwarteten Effekte der Komplexität der Konzeptualisierung wurden sowohl zeitlich als auch topographisch beschrieben. Eine statistische Analyse der topographischen Verteilung erfolgte an Hand der Normalisierung der Daten nach McCarthy und Wood (1985).

4.3 Ergebnisse

4.3.1 Sprechdaten

Für die Analyse der Sprechdaten wurden 25 Probanden berücksichtigt. Insgesamt produzierten diese weniger als 10% Fehler, womit zwischen 91 und 97% der Reaktionen verwertet werden konnten. Wie aus Abb. 9 ersichtlich, kam es in den komplexen Beschreibungen zu signifikant mehr Versprechern und Interjektionen ($F(2, 24) = 9,66, p < 0,001$).

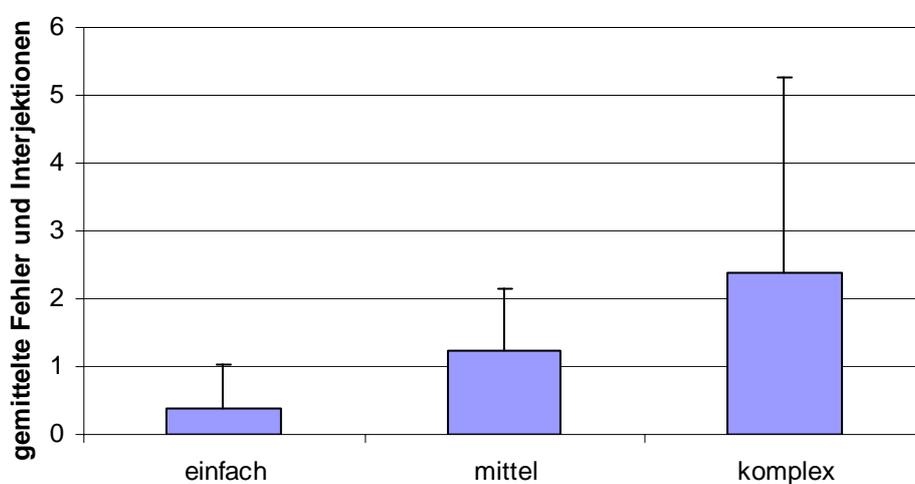


Abb. 9: Vergleich der Anzahl von Versprechern und Interjektionen für die drei Aufgabenstellungen

Die vorherrschenden Fehler waren semantischer Natur, es kam überwiegend zu Verwechslungen von Form und Farbe. Phonologische Fehler fanden sich kaum, bis auf sehr wenige Ausnahmen wurden alle Fehler korrigiert.

In der nachfolgenden Untersuchung wurden zusätzlich die Antwortlatenzen von 12 Probanden analysiert (davon 7 Frauen, Median 23 Jahre, 21–29 Jahre). Alle Probanden hatten an der ersten Erhebung nicht teilgenommen. Für die Bestimmung der Antwortlatenzen wurden ausschließlich die korrekten Antworten analysiert; Fehler, Korrekturen, lange Pausen wurden in diesem Zusammenhang nicht weiter berücksichtigt. Insgesamt konnten bei allen Probanden mehr als 90 % der Antworten verwertet werden (Mittel: 95%). Bei der Versuchsperson mit der höchsten Ausschlussrate mussten 8,3% der Antworten aufgrund von Fehlern und überlangen Pausen (> doppelte Standardabweichung) ausgeschlossen werden. Abb. 10 zeigt die Werte für die drei

Aufgabenstellungen: die gemittelte Antwortlatenz für die einfache Aufgabenstellung betrug 484 ms (SD = 166 ms), für die mittlere Aufgabenstellung 646 ms (SD = 208 ms) und für die komplexe Aufgabenstellung 683 ms (SD = 230 ms).

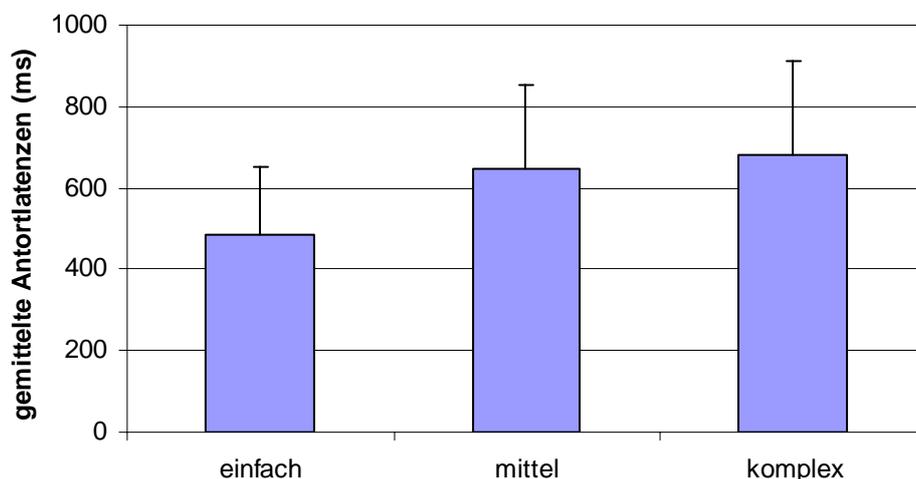


Abb. 10: Vergleich der Antwortlatenzen für die drei Aufgabenstellungen

Eine einfaktorische Varianzanalyse (ANOVA) mit Messwiederholung (abhängige Variable: Latenz; Faktor: Aufgabenstellung) zeigt einen signifikanten Unterschied zwischen den verschiedenen getesteten Aufgabenstellungen ($F(2, 11) = 52,32, p < 0,0001$). Um eine Aussage darüber zu treffen, welche der drei Aufgabenstellungen sich jeweils unterschieden, wurden post hoc gesonderte Paarvergleiche mit drei T-Tests für gepaarte Stichproben mit anschließender Bonferroni-Korrektur durchgeführt:

Nullhypothese	T-Wert	p-Wert	α -Wert
$\mu_{\text{mittel}} = \mu_{\text{schwer}}$	-2,826	0,016	$0,05/3 = 0,017$
$\mu_{\text{einfach}} = \mu_{\text{schwer}}$	-7,223	0,0001	$0,05/2 = 0,025$
$\mu_{\text{einfach}} = \mu_{\text{mittel}}$	-9,22	0,0001	$0,05/1 = 0,05$

Tab. 3: T-Werte und entsprechende p-Werte nach der Bonferroni-Korrektur. Die Nullhypothese wird abgelehnt, wenn $p < \alpha$

4.3.2 EEG-Daten

Die gemessenen Amplituden lagen im Bereich von etwa -1 bis $+8 \mu\text{V}$. Die Gesamtmittelpotenziale für die korrekten Äußerungen sind in Abbildung 11 dargestellt. Analysiert wurden die Faktoren:

- Aufgabenstellung (einfach/mittel/schwer),
- posterior/anterior (3 Ebenen für Mittellinien-, 5 Ebenen für Temporal- und 7 Ebenen für Parasagittalelektroden), und
- Hemisphäre (2 Ebenen: links/rechts; dieser Faktor wurde für die Mittellinienelektroden nicht weiter berücksichtigt).

In den ereigniskorrelierten Potenzialen findet sich in allen Aufgabenstellungen über alle fünf Äußerungen eine frühe leichte Negativierung. Nach einer Peak-Latenz bei etwa 130 ms folgt anschließend eine Positivierung. Ab etwa 300 ms zeigen sich deutliche Unterschiede zwischen den drei Aufgabenstellungen. Es kommt zu einer Positivierung (P300), die für die mittlere und die komplexe Aufgabenstellung größer ausfällt, mit einem Maximum bei etwa 350 ms. Letzterer Effekt ist an den zentro-parietalen Elektroden am stärksten ausgeprägt. Aufgrund dieser Beobachtungen erfolgten die statistischen Analysen für das Zeitfenster 350 bis 500 ms, verglichen wurden die Mittelwerte aller Probanden jeweils für die drei Aufgabenstellungen und die verschiedenen Elektrodenpositionen. Die Aufgabenstellungen unterscheiden sich ab etwa 350 ms deutlich voneinander ($F(1, 24) = 8,63, p < 0,001$). Es bestehen signifikante Unterschiede für die Kontraste einfach – mittel ($F(1, 12) = 11,36, p < 0,005$) und einfach – komplex ($F(1, 12) = 12,89, p < 0,003$), nicht aber für den Kontrast mittel – komplex ($F(1, 12) = 0,01, n. s.$)

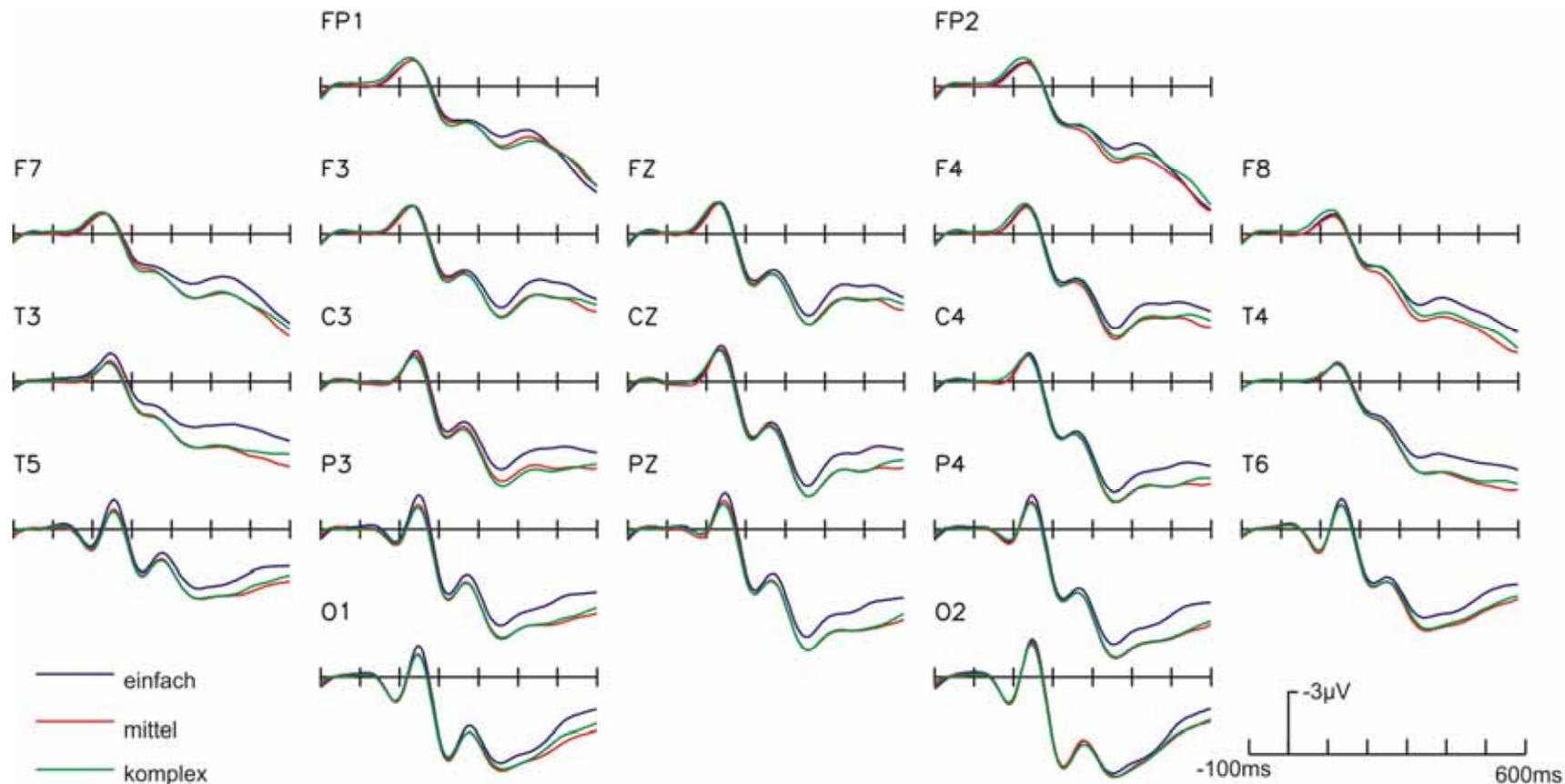


Abb. 11: Gesamtmittelpotenziale ($n = 13$) im Vergleich zwischen den verschiedenen experimentellen Aufgabenstellungen für die Mittellinienelektroden (Fz, Cz, Pz), temporalen (F7/8, T3/4, T5/6) und parasagittalen Elektroden (Fp1/2, F3/4, C3/4, P3/4, O1/2) in einem Zeitfenster von 100 ms vor Erscheinen des Pfeils bis 600 ms danach. Sichtbar ist eine Positivierung ab etwa 200 ms. Ab etwa 300 ms beginnen sich die drei Aufgabenstellungen deutlich voneinander zu unterscheiden: die komplexeren Aufgabenstellungen sind mit positiveren Amplituden assoziiert. Beispiele für die drei Aufgabenstellungen finden sich in Tab. 2.

Die topographische Verteilung der Gesamtaktivität 500 ms nach Erscheinen des Pfeils zeigt die Potenzialunterschiede zwischen den Aufgabenstellungen (komplex minus einfach bzw. mittel minus einfach). Deutlich sichtbar wird ein Maximum der Positivierung an den zentro–parietalen Elektroden:

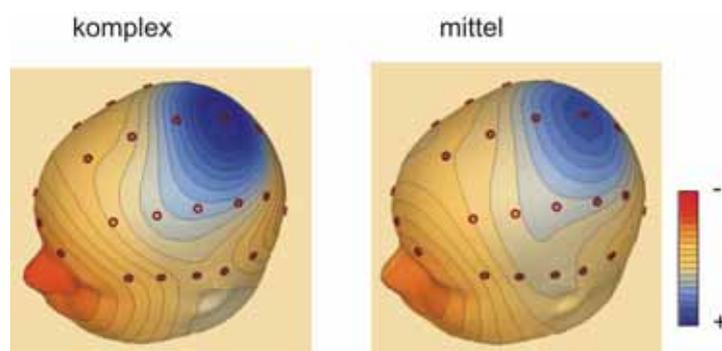


Abb. 12: Topographische Verteilung der Potenzialunterschiede für die komplexe Aufgabenstellung (komplex minus einfach) und für die mittlere Aufgabenstellung (mittel minus einfach) 500 ms nach Erscheinen des Pfeils: jeweils ein zentro–parietales Maximum.

In einem weiteren Schritt wurde der Einfluss des Faktors Äußerung innerhalb eines vollständigen Durchgangs analysiert. Abbildung 13 zeigt die ereigniskorrelierten Potenziale für die zentrale Elektrode Cz über die fünf einzelnen Äußerungen. Auch wenn die Amplitudenausprägungen unterschiedlich sind, so bleibt das Grundmuster bestehen. Eine mehrfaktorielle ANOVA mit „Äußerung“ als zusätzlichem Faktor (Schritt 1–5) zeigte einen statistisch signifikanten Haupteffekt ($F(4, 48) = 13,71, p < 0,0001$), d. h. dass sich die Mittelwerte der verschiedenen fünf Äußerungen jeweils unterscheiden. Es manifestierte sich eine Positivierung, die für die komplexeren Aufgabenstellungen größer ausfiel. Es fällt auf, dass die Positivierung von Äußerung 1 bis 3 in der Amplitude zunimmt, von Äußerung 3 bis 5 jedoch nicht mehr. Dagegen kam es zu keinerlei Interaktion zwischen den Faktoren Äußerung und Aufgabenstellung ($F(8, 96) = 2,18, n. s.$).

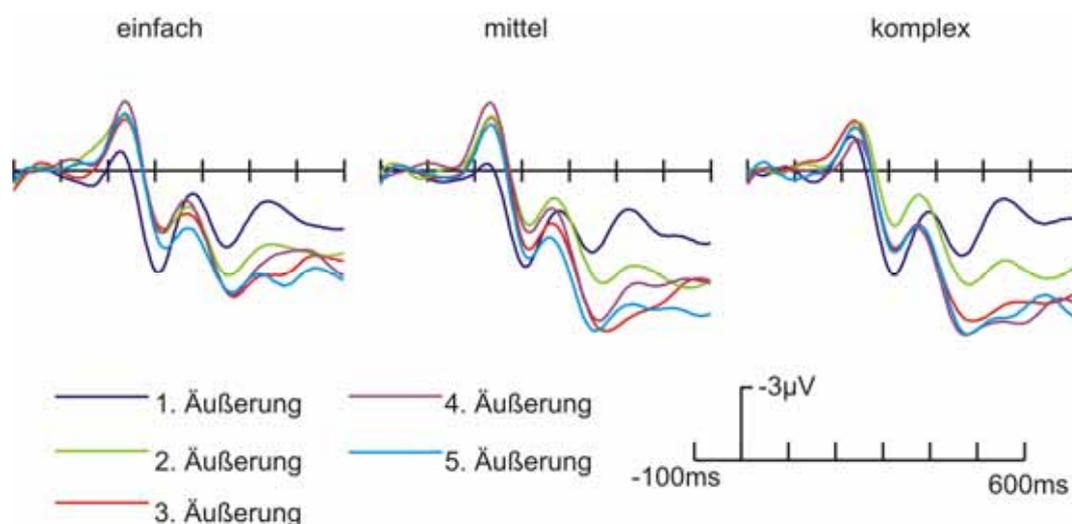


Abb. 13: Gesamtmittelpotenziale für die Elektrode Cz. Der Gesamteffekt – eine ausgeprägtere Positivierung für die mittlere und die komplexe Aufgabenstellung – zeigt sich über die fünf verschiedenen Äußerungen.

4.4 Diskussion

In diesem Abschnitt werden die wesentlichen Ergebnisse von Experiment I noch einmal zusammengefasst und die methodischen Fragen besprochen. Die Ergebnisse aller durchgeführten Experimente werden in Kapitel 7 im Gesamtzusammenhang analysiert und interpretiert.

Experiment I ging der Frage nach, inwiefern eine unterschiedliche konzeptuelle Komplexität die Bildbeschreibungen von Probanden beeinflusst. Innerhalb des Experiments war die visuelle Präsentation in allen drei Aufgabenstellungen identisch gehalten, die konzeptuellen Anforderungen unterschieden sich jedoch. In den Sprechdaten fanden sich signifikante Unterschiede der Antwortlatenzen zwischen allen Aufgabenstellungen. Insgesamt waren die Äußerungen meist korrekt; die Anzahl der Fehler und Interjektionen stieg ebenso wie die Antwortlatenzen mit der Komplexität der Aufgabenstellung. Die erhöhte Fehleranzahl sowie die unterschiedlichen Reaktionszeiten deuten darauf hin, dass sich die Antwortmuster tatsächlich hinsichtlich der benötigten kognitiven Kapazitäten voneinander unterschieden (siehe auch Indefrey et al., 2004 für vergleichbare Ergebnisse).

Die Resultate müssen jedoch mit Vorsicht interpretiert werden, da die Antworten sowohl linguistisch als auch in der Äußerungslänge unterschiedlich waren. Zwar handelte es sich in allen

Fällen um Präpositionalphrasen, allerdings genügte in der einfachen Aufgabenstellung eine Richtungsangabe. In der mittleren Aufgabenstellung musste eine Richtungsangabe mit Substantiv produziert werden, während in der komplexen Aufgabenstellung zusätzlich noch eine adjektivische Erweiterung nötig war. Die beiden komplexeren Antwortmuster unterschieden sich von der einfachen Aufgabenstellung dahingehend, dass Probanden eine Kongruenz zwischen Präposition und Substantiv herstellen mussten: *zum [blauen] Kreis* (maskulin) bzw. *zum [gelben] Dreieck* (neutrum). Zu beachten ist allerdings, dass linguistisch kein Unterschied bestand zwischen den verwendeten Genusinformationen maskulin und neutrum, in beiden Fällen ist die Präposition identisch markiert bzw. erhält das Adjektiv die Markierung [-en].

Gestützt wird dies durch die Tatsache, dass den Probanden die Nennung der Präposition und der jeweiligen Farbe offensichtlich weniger Schwierigkeiten bereitete als die Nennung der Figur. Die aufgezeichneten Pausen fanden sich in der Regel vor dem entsprechenden Substantiv, nachdem die Präposition und das evtl. Farbadjektiv produziert waren. Ein Grund hierfür mag in der perzeptuellen Salienz von Adjektiven zu suchen sein (Mangold, 2003; Mangold und Pobel, 1988). Die Probanden hatten auch in der mittleren Aufgabenstellung immer Form und Farbe vor Augen. Betrachtet man die Markenkomplexe für die mittlere und komplexe Aufgabenstellung, so sieht man, dass beide identisch waren; die wahrgenommene visuelle Information (Perzept) umfasste sowohl Form als auch Farbe (Hermann und Grabowski, 1994). Es scheint, dass durch das Hinzufügen der Farbe der Schwierigkeitsgrad für die Probanden nicht wesentlich erhöht wurde, auch wenn der Unterschied in den Sprechdaten gerade eben signifikant ausfiel. Das deutet evtl. darauf hin, dass für die Generierung von mittleren und komplexen Phrasen identische syntaktische Prinzipien genutzt wurden (siehe auch Fox Tree und Meijer, 1999).

Die in den Sprechdaten gefundenen Unterschiede konnten durch die EKP-Daten größtenteils bestätigt werden. Elektrophysiologisch traten vor Beginn der Artikulation artefaktfreie Effekte auf, wobei sich die einfache von den komplexeren Aufgabenstellungen signifikant unterschied.

Die beobachtete Positivierung zeigte ein zentro-parietales Maximum, was typisch ist für die aufmerksamkeitsbezogene Komponente der P300. Diese tritt nach der Evaluation von Stimuli auf (u. a. Polich, 2007; Kok, 2001; Münte et al., 2000). Die jeweiligen Kapazitätsanforderungen sind u. a. durch den Schwierigkeitsgrad der Aufgabe geprägt, d. h. wie viel Aufmerksamkeit der Proband auf die jeweilige Aufgabe richtet (Aufgabenrelevanz). Je schwieriger die Aufgabe, desto höher fällt die P300 aus (Donchin, 1981; McCarthy und Donchin, 1981). Die vermehrten

kognitiven Anforderungen bei den komplexeren Beschreibungen führten zu einer vermehrten Positivierung. Bei der Interpretation der P300 spielt zum einen die Latenz, zum anderen die Amplitude eine Rolle. Dabei ist die Latenz abhängig vom Zeitpunkt der Stimulusevaluation, während die Amplitudenausprägung mit der Relevanz der einzelnen Aufgaben, der Salienz und dem Schwierigkeitsgrad der Stimuli einhergeht (Johnson, 1986; Kutas et al., 1977). Der Schluss liegt daher nahe, dass durch die Zunahme der Komplexität in den Beschreibungen der Schwierigkeitsgrad für die Probanden stieg und damit die Aufmerksamkeitsreserven entsprechend angepasst werden mussten (Polich, 2007).

Es stellt sich die Frage, ob es sich bei den gefundenen Effekten um linguistische oder eher um aufmerksamkeitsbezogene Prozesse handelt (zu Befunden zur syntaktischen Komplexität aus der funktionellen Bildgebung siehe Haller, Radue, Erb et al., 2005; Heim et al., 2002; Indefrey et al., 2004, 2001). Die Tatsache, dass in den komplexen Aufgabenstellungen die Kongruenz immer eindeutig war, spricht eher dafür, dass die beobachtete Komponente hauptsächlich Aufmerksamkeitsprozesse abbildet. Unklar ist, ob hierdurch Konzeptualisierungsprozesse beschrieben werden oder eher generellere Prozesse. Im folgenden Experiment wird daher die Frage untersucht, ob sich Unterschiede in der zeitlichen Anordnung auch elektrophysiologisch eingrenzen lassen und ob sich dabei eine ähnliche EKP-Komponente zeigt.

Kapitel 5: Experiment II — Linearisierung zeitlicher Ereignisse

5.1 Das Linearisierungsproblem

Zwischen sprachlicher und zeitlicher Reihenfolge besteht kein zwingender Zusammenhang. Während in der Realität Ereignisse auch simultan stattfinden können, kann Sprache diese nur in einer linearen Reihenfolge darstellen. Wie aber entscheidet ein Sprecher über die Anordnung der Ereignissequenzen? Geht er streng chronologisch vor oder setzt er sich über die zeitliche Abfolge hinweg? Levelt (1982, 1989) bezeichnet diese Frage als Linearisierungsproblem. Die Entscheidung ist nicht trivial und wird sowohl von inhaltlichen als auch von pragmatisch-rhetorischen Gründen bestimmt, beeinflusst doch die Erwähnreihenfolge den semantischen Gehalt der Äußerung (Favart und Coirier, 2006):

- (12) a. Sie heiratete und wurde schwanger.
b. Sie wurde schwanger und heiratete.

Sprecher tendieren dazu, die Reihenfolge der Äußerungen mit der Ereignisreihenfolge gleich zu setzen und folgen damit Grices Maxime der Relation (Grice, 1979). Dies entspricht dem Prinzip der natürlichen Reihenfolge, Informationen werden chronologisch dargestellt (Levelt, 1989).

Temporale Konjunktionen wie *bevor* und *nachdem* ermöglichen die Manipulation der zeitlichen Abfolge, so dass Ereignisse auch in ihrer umgekehrten Reihenfolge dargestellt werden können:

- (13) a. Sie wurde schwanger, nachdem sie heiratete.
b. Bevor sie heiratete, wurde sie schwanger.

Das resultiert in unterschiedlichen Präsuppositionen; hierunter werden Bedeutungskomponenten von sprachlichen Äußerungen verstanden, die implizit vorausgesetzt werden. Beide Konjunktionen unterscheiden sich daher konzeptuell-semantisch: während *nachdem* auch einen kausalen Aspekt beinhalten kann, ist das bei *bevor* nicht der Fall (Tenbrink, 2007):

- (14) a. Er ging, nachdem er müde wurde.
b. Er ging, weil er müde wurde.
c. Bevor er ging, wurde er müde.
d. * Weil er ging, wurde er müde.

Die Kausalität kann implizit (a) oder explizit (b) bestehen, in dem obigen Beispiel ist die Müdigkeit der Grund für das Gehen (Tenbrink, 2007). Nichtsdestotrotz kann der Schluss mit dem folgenden Satz revidiert werden:

(15) Aber er ging nicht, weil er müde wurde.

Sätze mit *bevor* lassen diesen Schluss nicht oder nur indirekt zu. Dahingegen kann hier der Aspekt der Terminierung im Vordergrund stehen:

(16) Bevor ich nach Hannover ging, studierte ich in den Niederlanden.

Allerdings muss ein Ereignis nicht notwendigerweise beendet sein, bevor die neue Ereignissequenz beginnt (Guhde, Habel und Tschander, 2004):

(17) Bevor er fertig war, wurde es dunkel.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass sich beide Konjunktionen in mehrerer Hinsicht unterscheiden; Sätze mit *nachdem* bringen häufig eine Kausalität zum Ausdruck, auch wenn dies nicht immer der Fall sein muss. Nach Sicht der Literatur bevorzugen Sprecher die chronologische Reihenfolge. Wenn dem wirklich so ist, dann fungiert die natürliche Reihenfolge für Sprecher und Hörer als eine Art Default, was höhere Verarbeitungsleistungen für Sätze mit nicht-natürlicher Reihenfolge zur Folge hat. Insbesondere Populationen mit Sprach- und Sprechstörungen bzw. Kinder im Spracherwerb sollten daher mit diesen Strukturen vermehrt Schwierigkeiten haben.

Generell erwerben Kinder zeitliche Konzepte eher spät, Verstehens- und Behaltensleistungen sind prinzipiell besser, wenn die Erwähnreihenfolge mit der chronologischen Reihenfolge übereinstimmt (Clark und Clark, 1968; in Clark, 1971). Linguistisch gesehen zeichnen sich Sätze mit temporalen Konjunktionen dadurch aus, dass sie aus einem Haupt- und einem Nebensatz bestehen, wobei der Nebensatz transformationsgrammatikalisch komplexer ist. Junge Kinder

zeigen größere Schwierigkeiten beim Verstehen von Sätzen mit unnatürlicher zeitlicher Reihenfolge (Clark, 1971, 1973), wie die Sätze in Tabelle 4 verdeutlichen:

Beispiel	Satztyp	Beibehalten der chronologischen Reihenfolge	Schwierigkeitsgrad
Er hatte sich versteckt, bevor er gefangen wurde.	S1, bevor, S2	+	niedrig
Bevor er gefangen wurde, hatte er sich versteckt.	bevor, S2, S1	–	hoch
Nachdem er sich versteckt hatte, wurde er gefangen.	nachdem, S1, S2	+	niedrig
Er wurde gefangen, nachdem er sich versteckt hatte.	S2, nachdem, S1	–	hoch

Tab. 4: Gegenüberstellung verschiedener Satztypen mit den temporalen Konjunktionen *bevor* und *nachdem* sowie deren Schwierigkeitsgrad.

Im Alter von etwa drei Jahren werden beide Konjunktionen noch nicht verstanden; korrekt interpretiert werden deshalb nur die Sätze, in denen die Erwähnreihenfolge mit der tatsächlichen Reihenfolge übereinstimmt, die tatsächliche Bedeutung der jeweiligen Konjunktion ist dabei irrelevant (Clark, 1971). Die Beispiele 1 und 3 in Tabelle 4 sind daher für Kinder dieses Alters unproblematisch, während die Sätze 2 und 4 entsprechend falsch ausgelegt werden.

In der nächsten Entwicklungsphase beginnen Kinder, Sätze mit *bevor* korrekt zu interpretieren, während *nachdem* nach wie vor Schwierigkeiten bereitet (siehe auch Feagans, 1980). Ein Teil der Kinder hat die Bedeutung von *bevor* erfasst und generalisiert diese auf *nachdem*. Nach Clark (1971, 1973) lernen Kinder relationale Konzepte graduell, indem einzelne semantische Eigenschaften hinzu addiert werden. Erst im Alter von fünf Jahren verstehen Kinder die Bedeutungen beider Konjunktionen.

Andere Studien hingegen konnten diese Entwicklung nicht aufzeigen, z. T. divergieren die Ergebnisse der verschiedenen Studien erheblich. Vergleiche sind oft problematisch, da sich die methodische Vorgehensweise bzw. der linguistische Schwierigkeitsgrad der verwendeten Stimuli unterscheidet (Winkel, 2004; Natsopolous und Abadzi, 1986). Viele Studien nutzen häufig das Ausführen von kurzen Befehlen oder Ereignissequenzen oder „Verbal Judgement Tasks“ (Tros-

berg, 1982). Die Aufgaben unterscheiden sich jedoch in Bezug auf die kognitiven Anforderungen (French und Brown, 1977). Beurteilungsaufgaben sind schwieriger, Sprachverstehensaufgaben wiederum leichter als das Ausführen von Ereignissequenzen (Johnson, 1975). Bettet man aber z. B. beide Konjunktionen in kleine Befehle ein und gibt den Kindern darüber hinaus eine Rückmeldung, so findet man keinen Vorteil für Sätze mit natürlicher Reihenfolge, und es zeigt sich, dass heuristische Strategien beim Verstehen eine Rolle spielen (z. B. Gorrell, Crain und Fodor, 1989; French und Brown, 1977; Amidon und Carey, 1972).

Ebenso ist von Bedeutung, dass sich das Satzmaterial in den verschiedenen Untersuchungen unterscheidet. So werden Sätze mit logischen Beschränkungen (a) und arbiträre Sätze (b) verwendet; selbst junge Kinder zeigen dann beim Ausagieren von Sätzen des Typs (a) weniger Probleme als bei Satztyp (b):

- (18) a. Bevor die Mutter das Kind ins Bett bringt, füttert sie es.
b. Bevor die Mutter das Kind ins Bett bringt, hebt sie einen Bleistift auf.

Beachtet man den sprachlichen Kontext bzw. reduziert die kognitiven Anforderungen, verbessern sich die Leistungen der Kinder entsprechend (Winskel, 2004; Gorrell et al., 1989; Keller–Cohan, 1987; Stevenson und Pollitt, 1987; Trosberg, 1982; Kavanaugh, 1979).

Problematisch für die Interpretation der gefundenen Ergebnisse ist zudem, dass die Erwährenreihenfolge und die syntaktische Komplexität miteinander interagieren (u. a. Trosberg, 1982; Johnson, 1975; Clark, 1971). Kinder ignorieren die Aufforderungen in Sätzen mit Konjunktionen, wodurch eher Haupt– als Nebensätze verarbeitet werden (Amidon und Carey, 1972). Diese Unterschiede finden sich auch bei Kindern mit einer geistigen Behinderung, die sich ähnlich wie alterskontrollierte Gruppen verhalten: Unterschiede sind eher quantitativer als qualitativer Natur (Natsopoulos und Xeromeritou, 1988).

Ergebnisse von Aphasiepatienten zeigen, dass heuristische und algorithmische Aspekte der Sprache unabhängig voneinander gestört sein können (Ansell und Flowers, 1982). Patienten mit relativ gutem Sprachverständnis sind oft in der Lage, semantische Hinweisreize bzw. die Erwährenreihenfolge (heuristische Aspekte) entsprechend zu interpretieren, scheitern jedoch beim Erfassen syntaktischer Relationen (Caramazza und Zurif, 1976; Sasanuma und Kamio, 1976).

Schwierigkeiten beim Verstehen von Diskurselementen sind auch bei Kindern im Lese–/Schreiblernprozess (Marusco, Bar–Shalom, Crain und Shankweiler, 1989), älteren Personen (Marini et al.,

2005) und progredienten neurologischen Erkrankungen beschrieben (u. a. Waters und Caplan, 1997; Murray und Stout, 1999). Beispielsweise haben Parkinsonpatienten Probleme beim Verstehen temporaler Konjunktionen (Natsopoulos, Mentenopoulos, Bostantzopoulou et al., 1991): bei einer Überprüfung des Sprachverstehens zeigt sich, dass Patienten Sätze mit chronologischer Reihenfolge besser verstehen als Sätze ohne chronologische Reihenfolge. Das deutet darauf hin, dass Parkinsonpatienten die Erwähnreihenfolge für die Satzinterpretation nutzen, um auf diese Weise die benötigten kognitiven Ressourcen zu schonen. Ein vergleichbares Vorgehen zeigen sie bei der Interpretation von Objektrelativsätzen, die ebenso mit einem erhöhten Verarbeitungsaufwand einhergehen (Grossman, Kalmanson, Bernhard et al., 2000). Die Schwierigkeiten beim Verstehen von Sätzen mit nicht-natürlicher Reihenfolge können daher mit erhöhten Arbeitsgedächtnisleistungen erklärt werden.

Münste et al. (1998) haben die Bedeutung des Arbeitsgedächtnisses auf das Verstehen temporaler Konjunktionen mit ereigniskorrelierten Potenzialen untersucht. Sie präsentierten Probanden Sätze vom Typ *Before/After the psychologist submitted the paper, the journal changed its policy*, die diese still lesen sollten. Abhängig von der jeweiligen Lesart der Sätze veränderte sich deren Bedeutung: Während die initiale Konjunktion *nachdem* signalisiert, dass die Ereignisse in der tatsächlichen Reihenfolge stattfinden, wird durch *bevor* die Ereignissequenz umgedreht. Letzteres sollte auf Diskursebene mit längeren Verarbeitungskapazitäten einhergehen. In dem Experiment wurden die Sätze Wort für Wort auf dem PC präsentiert, währenddessen erfolgte die EEG-Ableitung. Tatsächlich zeigte sich in den ereigniskorrelierten Potenzialen eine Negativierung ab etwa 300 ms, die für die *bevor*-Sätze größer war. Der Effekt manifestierte sich mit einem links anterioren Fokus, der im Verlauf der zweiten Satzhälfte weiter anstieg. Dieses Ergebnis ist vereinbar mit unterschiedlichen Anforderungen an das Arbeitsgedächtnis: Tatsächlich zeigten Probanden mit höheren Arbeitsgedächtnisleistungen einen größeren Amplitudenunterschied zwischen den Satztypen. Die beiden unterschiedlichen Satztypen bedingen somit unterschiedliche Linearisierungsprozesse, die die Satzverarbeitung entsprechend prägen. Die Autoren fanden daher die Erwartung erfüllt, dass Sätze mit nicht-chronologischer Reihenfolge mehr Kapazitäten des Arbeitsgedächtnisses beanspruchen.

Diese Ergebnisse für das Sprachverstehen sollen hier in einer Produktionsuntersuchung bestätigt werden. Das eigene in Kapitel 4 dargestellte Experiment hatte inhaltsbezogene Aspekte in Bildbeschreibungen untersucht. Elektrophysiologisch zeigte sich eine Positivierung ab etwa 300 ms, die für Aufgaben, die mit einer höheren konzeptuellen Komplexität einhergingen,

signifikant höher ausfiel. Habets, Jansma und Münte (2008) haben prozessbezogene Aspekte beim Beschreiben von Ereignissequenzen untersucht. Hiefür wurden auf dem PC jeweils zwei voneinander unabhängige Ereignisse präsentiert (z. B. *Nachdem/Bevor ich fahre, lese ich.*). Probanden mussten diese entweder in ihrer natürlichen oder unnatürlichen Reihenfolge beschreiben. Elektrophysiologisch zeigte sich eine frühe fronto–zentrale Negativierung um 200 ms und eine zentro–parietale Postivierung mit einem Maximum bei etwa 300 ms. Im folgenden Experiment sollen die Ergebnisse von Münte et al. (1998) aus dem Sprachverstehensbereich sowie die Ergebnisse von Habets et al. (2008) repliziert werden. Dabei spielen die folgenden Hypothesen eine Rolle:

1. Sätze mit einer nicht–chronologischen Reihenfolge sollten mehr Verarbeitungsressourcen fordern.
2. Das Arbeitsgedächtnis bzw. Aufmerksamkeitsaspekte sollten einen wesentlichen Einfluss haben.

Daraus folgen die zu erwartenden Beobachtungen: In den Sprechdaten sollte die unnatürliche Reihenfolge zu längeren Antwortlatenzen sowie zu mehr Fehlern und Interjektionen führen. Für die EEG–Daten gilt, dass bei den Sätzen mit einer nicht–chronologischen Reihenfolge mehr Verarbeitungskapazitäten benötigt werden sollten. Frontal sollte sich dies zeigen in einer Beteiligung des Arbeitsgedächtnisses (siehe auch Münte et al., 1998). Die erwartete erhöhte Aufmerksamkeitsleistung sollte an den zentro–parietalen Elektroden zu einer Amplitudenveränderung (P300) führen, analog zu den Ergebnissen von Habets et al. (2008).

5.2 Methodisches Vorgehen

5.2.1 Probanden

Untersucht wurden 26 Probanden (davon 14 Frauen, Median 24 Jahre, Bereich 21–33 Jahre). Es galten dieselben Voraussetzungen wie in Experiment I. Bei den Versuchspersonen handelte es sich um Schüler und Studenten der Logopädie bzw. Physiotherapie, Studenten der Medizinischen Hochschule und der Leibniz–Universität Hannover. Aufgrund technischer Probleme wurden die Ergebnisse einer Person nicht berücksichtigt, eine weitere Person produzierte mehr als 20% Fehler, so dass insgesamt die Daten von 24 Probanden (davon 13 Frauen) in die Untersuchung einfließen.

Vor dem eigentlichen Experiment wurde die individuelle Leistung des verbalen Arbeitsgedächtnisses mit der „Zahlenspanne Vorwärts und Rückwärts“ aus den „Wechsler Memory Scales“ bestimmt („WMS–R“; Härting et al., 2000).

5.2.2 Stimuli

In dieser Untersuchung wurden, wie auch schon in der vorigen, Netzwerke verwendet (Levelt, 1981, 1982, 1983; Oomen und Postma, 2001b), allerdings in einer leicht veränderten Version. Die hier eingesetzten Netzwerke setzten sich aus neun geometrischen Formen bzw. Symbolen (Kreuz, Ring, Herz, Kreis, Baum, Mond, Dreieck, Stern, Quadrat), in verschiedenen Farben (rot, blau, grün, gelb, braun, grau, lila, orange, schwarz) zusammen. Die Anordnung und Farbe der Symbole unterschied sich in jedem Netzwerk. Alle Begriffe für die verwendeten Symbole waren ein- und zweisilbig und hatten eine allgemeine Wortfrequenz (mündlich und schriftlich kombiniert) zwischen 3 und 111 pro Million Wörter (CELEX; Baayen et al., 1993). Das grammatikalische Geschlecht war ausbalanciert (maskulin: 5, neutrum: 4). Die Namensübereinstimmung der Begriffe und Farben wurde vorab sichergestellt, indem 20 Studenten die abgebildeten Figuren und Farben mündlich spontan benannten. Die Übereinstimmungsrate lag zwischen 90 und 100 % und kann somit als ausreichend angesehen werden. Für die Abbildung *Baum* nannten die Studenten häufig auch das Wort *Tanne*, allerdings korrigierten sie sich dabei durch die Ergänzung *Tanne oder Baum*. Alle Netzwerke wurden in „Powerpoint“ erstellt und anschließend in ein JPG–Format konvertiert. Insgesamt wurden 27 Netzwerkstimuli eingesetzt.

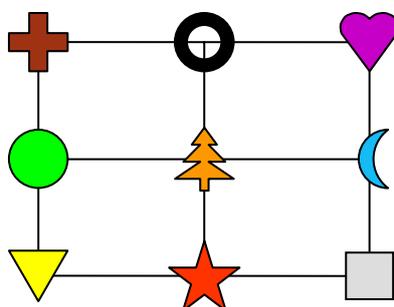


Abb. 14: Beispiel für die verwendeten Netzwerke. Die Verteilung und die Farben der Symbole waren in allen Netzwerken unterschiedlich.

5.2.3 Prozedere

Die Rahmenbedingungen waren identisch mit denen in Experiment I. Jeder Durchgang begann mit der Präsentation des Netzwerks ohne Pfeile (siehe Abb. 15). Nach einer Sekunde erschien ein schwarzer Pfeil zwischen zwei Figuren, nach einer weiteren Sekunde erschien entweder ein roter oder ein blauer Pfeil, den begonnenen Weg weiterführend. Dabei stand die Farbe des zweiten Pfeils für die Beschreibung in einer vorher bestimmten Reihenfolge (*nachdem/ bevor*). Die Bedeutung der Pfeilfarbe war über die Versuchspersonen hinweg balanciert, d. h. bei der Hälfte der Probanden stand der blaue Pfeil für die natürliche Reihenfolge: der erste Schritt sollte vor dem zweiten Schritt konzeptualisiert werden. Bei der anderen Hälfte der Probanden stand der rote Pfeil für die natürliche Reihenfolge. Die Sätze unterlagen keinen logischen Beschränkungen, zwischen den einzelnen Satzteilen bestand kein kausaler Zusammenhang. Nach einer weiteren Sekunde erschien noch einmal das Anfangsbild ohne Pfeile für 6 Sekunden.

Die Aufgabe der Probanden lautete, den Weg entweder in der natürlichen Reihenfolge (den Satz beginnend mit *nachdem*) oder in der unnatürlichen Reihenfolge zu beschreiben (beginnend mit *bevor*). Eine zusätzliche Aufforderung zum Sprechen wurde nicht gegeben, die Probanden sollten mit der Äußerung beginnen, sobald sie sicher wussten, was sie sagen sollten. Anschließend erschien ein Asterisk als Fixationspunkt für 1,5 Sekunden, bevor der nächste Durchgang begann.

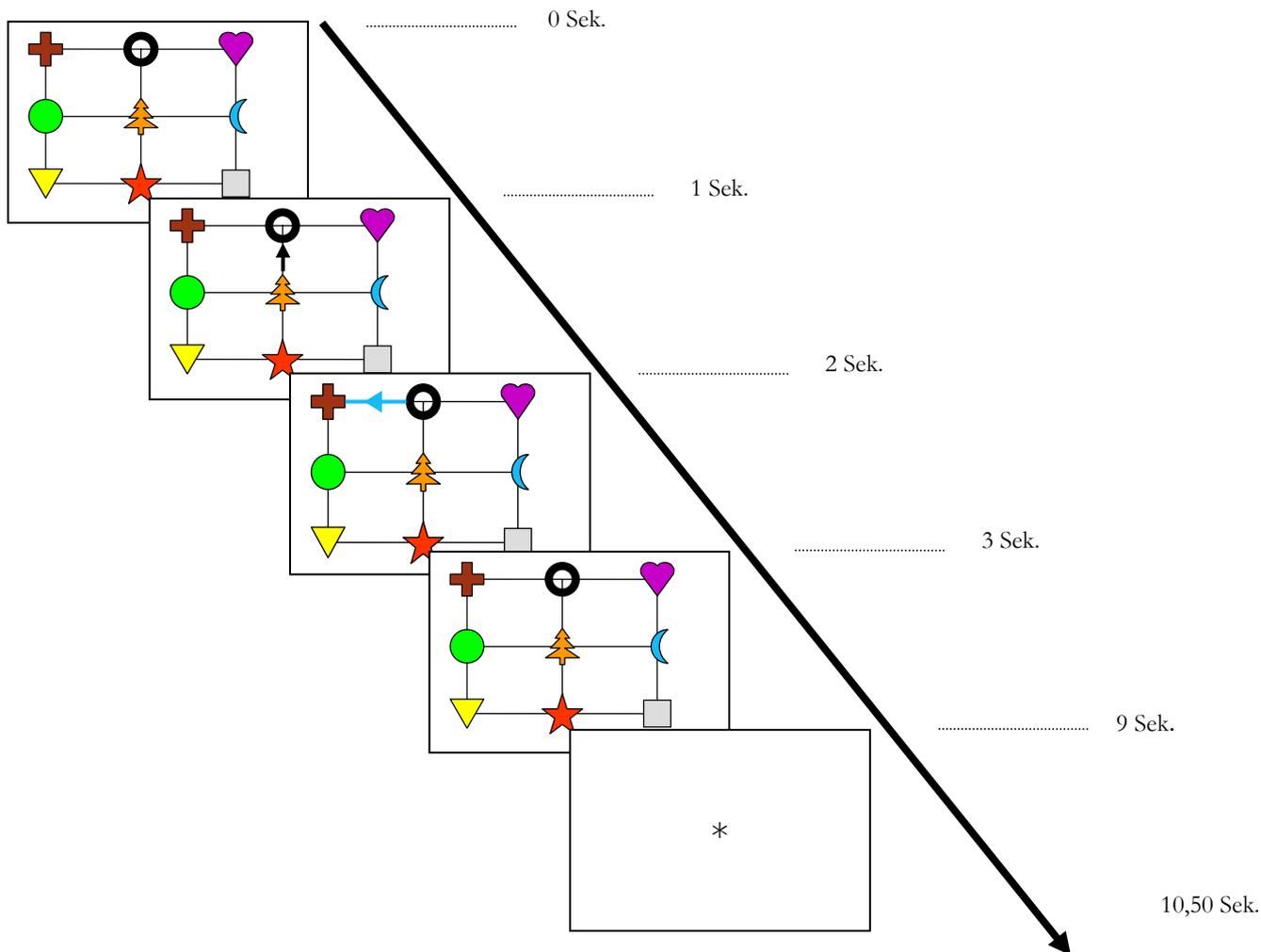


Abb. 15: Zeitlicher Verlauf eines Durchgangs (Trials; Gesamtdauer: 10,5 Sekunden). Die EEG-Aufnahme erfolgte synchronisiert mit dem Erscheinen des farbigen (zweiten) Pfeils. Zielantworten wären in diesem Fall: *Nachdem ich zum schwarzen Ring gehe, gehe ich zum braunen Kreuz* bzw. *Bevor ich zum braunen Kreuz gehe, gehe ich zum schwarzen Ring* — je nach pro Versuchsperson festgelegter Bedeutung der Pfeilfarbe.

Die unterschiedlichen Instruktionen sollten zu verschiedenen Sprechintentionen führen (siehe auch Levelt, 1989). Der Satzrahmen war in beiden Fällen identisch gehalten und unterschied sich

lediglich durch die initiale Konjunktion, um Variabilitäten im Antwortverhalten zu minimieren:

Aufgabenstellung	Beibehalten der chronologischen Reihenfolge	Beispiel
nachdem, S1, S2	+	Nachdem ich zum grünen Kreis gehe, gehe ich zum gelben Dreieck.
bevor S2, S1	–	Bevor ich zum gelben Dreieck gehe, gehe ich zum grünen Kreis.

Tab. 5: Gegenüberstellung der beiden Aufgabenstellungen mit Beispielsätzen

Je Aufgabenstellung (*bevor/nachdem*) waren 108 Äußerungen zu bilden, die Anordnung erfolgte zufällig. Insgesamt wurden damit 216 Stimuli präsentiert ([27 Netzwerke] x [4 Beschreibungen] x [2 Aufgabenstellungen]), die sich gleichmäßig über vier Blöcke verteilten. Zwischen den einzelnen Blöcken fand jeweils eine kurze Pause statt. Damit ergab sich exklusive der Pausen eine Ableitzeit von 2268 Sekunden, also knapp 38 Minuten. Insgesamt dauerte das Experiment mit Pausen etwa 45 Minuten und konnte somit in einer in einer Versuchssitzung absolviert werden.

Vor Beginn des eigentlichen Experiments wurde sichergestellt, dass die Probanden alle Instruktionen verstanden hatten, Farben und Begriffe vertraut waren und sie möglichst wenig blinzelten (siehe auch Kapitel 3.4. sowie die Beschreibung des methodischen Vorgehens bei Experiment I). Die Präsentation der Stimuli erfolgte mit dem Programm „Presentation 0.60“ (www.neurobehavioralsystems.com). Für eine Analyse der Versprecher und Interjektionen sowie der Antwortlatenzen wurden die Sprechdaten über einen externen PC mit dem Programm „Adobe Audition 1.0“ aufgezeichnet, eine ausführlichere Beschreibung der Datenaufzeichnung findet sich in Kapitel 4. Die Antworten wurden wie folgt klassifiziert (Levelt, 1983; Oomen und Postma, 2001b):

- Antwortlatenzen
- mittlere Äußerungslänge
- korrigierte und unkorrigierte Fehler:
 - semantisch: *bevor ich zum blauen–..., zum roten Dreieck gehe*
 - phonologisch: *nachdem ich zum delben Viereck gehe* (Substitution /d/ für /g/)
- nicht-verwertbare Antworten: z. B. Nullantworten, zu leises Sprechen etc.

5.2.4 Datenaufzeichnung und -analyse

Eine Beschreibung der Datenaufzeichnung findet sich Kapitel 4. Die ereigniskorrelierten Potenziale wurden für die zwei Aufgabenstellungen natürliche/unnatürliche Reihenfolge verglichen, wobei insbesondere das Zeitfenster von 100 ms vor Erscheinen des farbigen Pfeils bis 800 ms danach interessierte. Alle elektrophysiologischen Daten wurden mit einem Tiefpassfilter von 80 Hz gefiltert und mit einer Abtastrate von 250 Hz aufgezeichnet. Gemittelt wurden jeweils Epochen über 1024 ms, einschließlich des Intervalls von 100 ms vor der Präsentation des farbigen Pfeils. Die Artefaktkorrektur erfolgte durch die „Independent Component Analysis“ („ICA“; Makeig et al., 1996). Die erwarteten Effekte in Bezug auf die unterschiedliche zeitliche Anordnung wurden sowohl zeitlich als auch topographisch beschrieben. Die statistische Analyse erfolgte mit Hilfe von Varianzanalysen mit Messwiederholung (ANOVA) mit den Faktoren Reihenfolge (natürlich/unnatürlich), Zeitfenster und Elektrodenposition als Inner-subjektfaktoren. Zum Untersuchen des Einflusses des Arbeitsgedächtnisses auf die Makroplanung wurden die Probanden in zwei Gruppen eingeteilt. Der kritische Grenzwert war dabei ein Prozentrang < 50 in der „Zahlenspanne rückwärts“ aus den „Wechsler Memory Scales“ („WMS-R“; Härting et al. 2000). Da die beiden Gruppen jedoch heterogen verteilt waren (15/9), wurden diese Daten nicht weiter berücksichtigt.

5.3 Ergebnisse

5.3.1 Sprechdaten

In die Analyse der Sprechäußerungen flossen die Daten von 24 Probanden ein. Insgesamt wurden weniger als 15% Fehler produziert, womit zwischen 85 und 97% der Reaktionen verwertet werden konnten. Vier der Probanden fanden die unnatürliche Reihenfolge leichter, eine Probandin gab an, beide Aufgabenstellungen gleich schwer zu finden, für die übrigen Probanden war die natürliche Reihenfolge leichter. Die gemittelte Antwortlatenz nach Erscheinen des farbigen Pfeils beträgt für die natürliche Reihenfolge (*nachdem*) 938 ms (SD = 338 ms) und für die unnatürliche Reihenfolge (*bevor*) 974 ms (SD = 345 ms). Damit besteht zwar ein numerischer, aber kein statistisch relevanter Unterschied zwischen beiden Antwortmustern ($T(23) = -1,927, p = 0,066$):

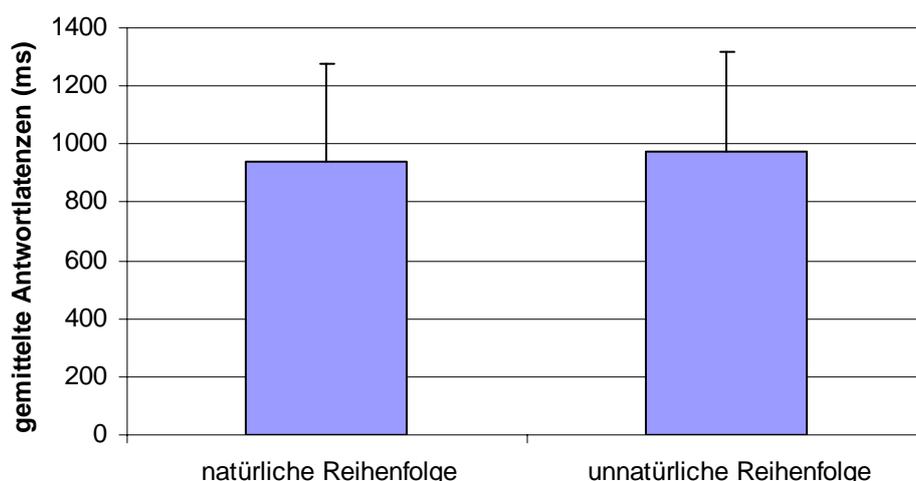


Abb. 16: Vergleich der mittleren Antwortlatenzen für beide Aufgabenstellungen

Ein Vergleich der Antwortlängen für die beiden Satztypen zeigt ebenfalls keinen statistisch relevanten Unterschied ($T(23) = 1,94, p = 0,065$): für die natürliche Reihenfolge benötigten Probanden im Mittel 3427 ms (SD = 751 ms) und für die unnatürliche Reihenfolge 3347 ms (SD = 751 ms):

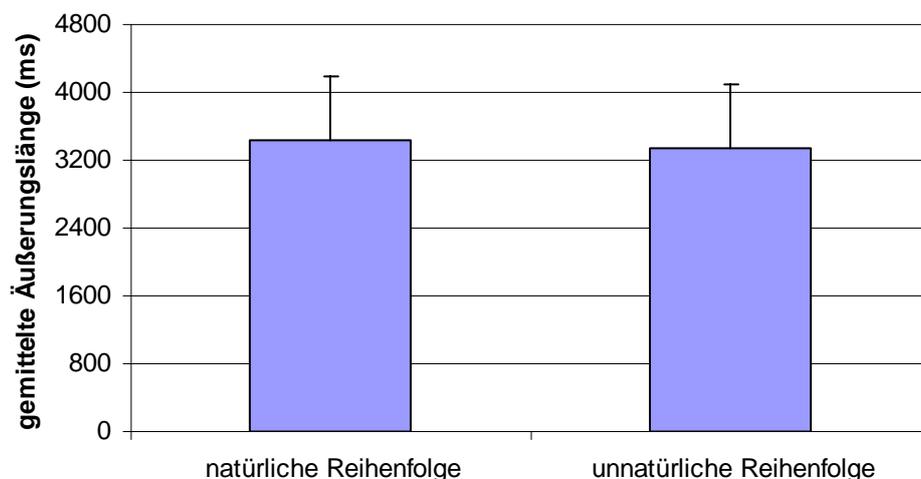


Abb. 17: Vergleich der mittleren Äußerungslängen für beide Aufgabenstellungen

Es besteht gleichfalls kein signifikanter Unterschied in der Fehleranzahl (korrigiert und nicht korrigiert) und in der Anzahl der Unterbrechungen > 300 ms zwischen beiden Aufgabenstellungen ($T(23) = -3,41, p = 0,736$).

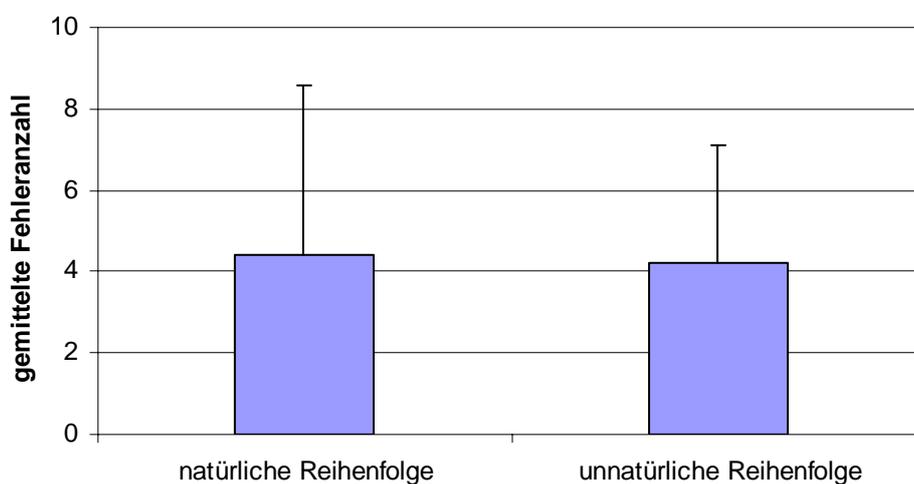


Abb. 18: Vergleich der korrigierten Fehler für beide Aufgabenstellungen

Die qualitative Fehleranalyse zeigt, dass meist semantische Fehler produziert wurden, es kam überwiegend zu Verwechslungen von Form und Farbe. Phonologische Fehler fanden sich kaum, bis auf sehr wenige Ausnahmen wurden alle Fehler korrigiert.

5.3.2 EEG-Daten

Die gemessenen Amplituden lagen im Bereich von etwa -1 bis $+7$ μV . Analysiert wurden die Faktoren:

- Aufgabenstellung: natürlich/unnatürlich,
- Elektrodenposition: 3 Ebenen für Mittellinien-, 5 Ebenen für Temporal- und 7 Ebenen für Parasagittalelektroden, und
- Hemisphäre: links/rechts; dieser Faktor wurde für die Mittellinienelektroden nicht weiter berücksichtigt.

Dargestellt sind jeweils die Ergebnisse der durchgeführten Varianzanalysen für die korrekten Äußerungen für die Zeit von 100 ms vor Erscheinen des farbigen Pfeils bis 800 ms danach (siehe Abb. 19). Die ereigniskorrelierten Potenziale unterscheiden sich ab etwa 200 ms nach Erscheinen des farbigen Pfeils durch eine größere Positivität für die unnatürliche Reihenfolge während der gesamten restlichen Zeitdauer. Besonders deutlich wird dies für die Mittellinienelektroden. Es folgt eine Positivierung mit einem Maximum an den zentro-parietalen Elektroden (P300). Aufgrund dieser Beobachtungen wurde die Zeit von 100 bis 700 ms nach Erscheinen des farbigen Pfeils in sechs identische Abschnitte von je 100 ms unterteilt. Für diese Abschnitte wurden die statistischen Analysen durchgeführt. Verglichen wurden die Mittelwerte aller Probanden jeweils für beide Aufgabenstellungen und die verschiedenen Elektrodenpositionen. Der Übersicht wegen werden alle Effekte in ein frühes (100 bis 300 ms nach Erscheinen des farbigen Pfeils) und ein spätes Zeitfenster (300 bis 700 ms nach Erscheinen des farbigen Pfeils) zusammengefasst.

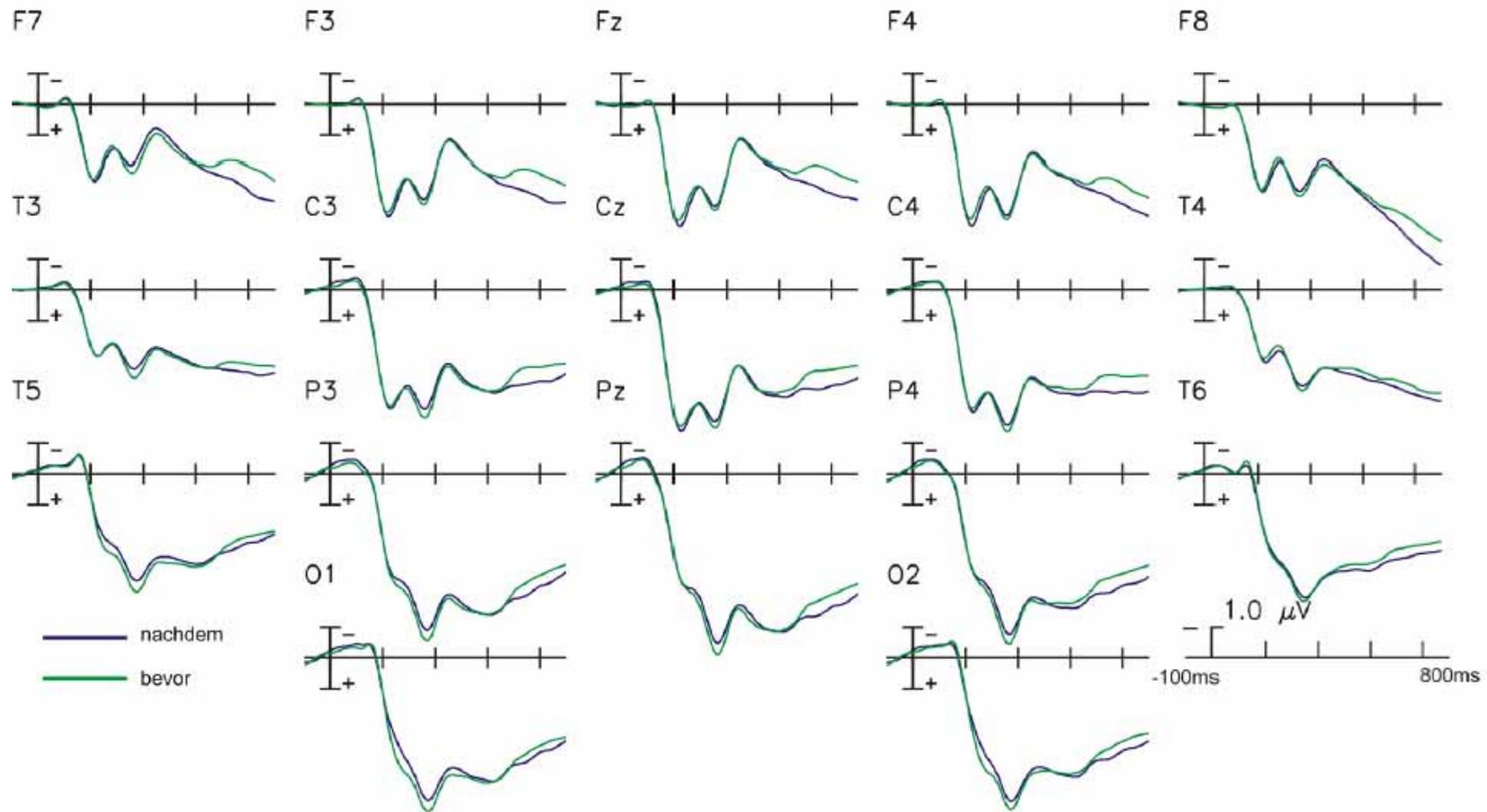


Abb. 19: Gesamtmittelpotenziale ($n = 24$) für die Mittellinien- (Fz, Cz, Pz), temporalen (F7/8, T3/4, T5/6) und parasagittalen Elektroden (F3/4, C3/4, P3/4, O1/2) im Zeitfenster von 100 ms vor Erscheinen des farbigen Pfeils bis 800 ms danach. Sichtbar ist eine höhere Negativität ab etwa 200 ms, die für die frontalen Elektroden ausgeprägter ist. Ab etwa 300 ms unterscheiden sich beide Antwortmuster voneinander. Dieser Unterschied nimmt im weiteren Verlauf zu und ist für die natürliche Reihenfolge mit einer höheren Positivität assoziiert. Beispiele für die beiden Aufgabenstellungen finden sich in Tab. 5.

Beobachtete Effekte zwischen 100 und 300 ms nach Erscheinen des farbigen Pfeils

Im Zeitfenster bis 300 ms besteht ein reliabler Unterschied für den Hauptfaktor Reihenfolge an den Mittellinienelektroden. Dieser Effekt manifestiert sich maximal zwischen 200 und 300 ms ($F(1, 23) = 12,30, p < 0,0001$), was zeigt, dass beide Reihenfolgen unterschiedlich verarbeitet werden.

Darüber hinaus kommt es zu signifikanten Wechselwirkungen (Interaktionen) zwischen den Faktoren Reihenfolge und Elektrodenposition an allen Elektroden. Zusätzlich bestehen an den temporalen und parasagittalen Elektroden signifikante Wechselwirkungen zwischen den Faktoren Reihenfolge und Hemisphäre, an den parasagittalen Elektroden zeigt sich eine Dreifachinteraktion (Reihenfolge – Elektrodenposition – Hemisphäre). Das deutet darauf hin, dass beide Aufgabenstellungen in der Tat zu unterschiedlichen topographischen Verteilungen führen.

	100–200 ms	200–300 ms
Mittellinienelektroden		
Reihenfolge Df (1, 23)	7,56 **	12,30 ***
Rf x E Df (6, 138)	6,50 ***	11,47 ***
temporale Elektroden		
Rf x E df (2, 46)	26,18 ***	43,10 ***
Rf x H dF (1, 23)	8,57 **	12,72 ***
parasagittale Elektroden		
Rf x E Df (4, 92)	11,11 ***	18,81 ***
Rf x H Df (1, 23)	5,09 *	4,21 *
E x H Df (4, 92)	2,78 *	–
Rf x H x E dF (4, 92)	2,80 *	–

Rf = Reihenfolge (natürlich/unnatürlich), E = Elektrodenposition (post./ant.); H = Hemisphäre (rechts/links);

* $p < 0,05$

** $p < 0,01$

*** $p < 0,005$ (jew. korrigiert nach Huynh–Feldt)

Tab. 6: Übersicht der signifikanten Effekte für das Zeitfenster bis 300 ms nach Erscheinen des farbigen Pfeils. Eine vollständige Zusammenstellung aller Ergebnisse befindet sich im Anhang.

Beobachtete Effekte zwischen 300 und 700 ms nach Erscheinen des farbigen Pfeils

Im späten Zeitfenster kommt es zwischen 300 und 400 ms zu einem reliablen Haupteffekt an den Mittellinien- ($F(1, 23) = 8,54, p < 0,01$) und den parasagittalen Elektroden ($F(1, 23) = 5,1, p < 0,01$). Darüber hinaus finden sich in diesem Zeitfenster an den temporalen und parasagittalen Elektroden signifikante Wechselwirkungen zwischen den Faktoren Reihenfolge und Hemisphäre, mit einem maximalen Effekt zwischen 500 und 600 ms (temporal ($F(1, 23) = 14,46, p < 0,005$, parasagittal ($F(1, 23) = 8,01, p < 0,01$). An den temporalen Elektroden zeigt sich eine zusätzliche Wechselwirkung zwischen den Faktoren Elektrodenposition und Hemisphäre, an den parasagittalen Elektroden kommt es zu einer Dreifachinteraktion (Reihenfolge – Elektrodenposition – Hemisphäre).

	300–400 ms	400–500 ms	500–600 ms	600–700 ms
Mittellinienelektroden				
Reihenfolge Df (1, 23)	8,54 **	–	–	–
temporale Elektroden				
Rf x H dF (1, 23)	10,54 ***	13,86 ***	14,46 ***	14,39 ***
E x H df (2, 46)	3,89 *	3,35 *	4,90 **	3,87 **
parasagittale Elektroden				
Reihenfolge dF (1, 23)	5,10 *	–	–	–
Rf x H Df (1, 23)	–	6,60 *	8,04 **	6,63 *
Rf x H x E dF (4, 92)	–	3,84 **	5,34 ***	4,63 ***

Rf = Reihenfolge (natürlich/unnatürlich), E = Elektrodenposition (post./ant.); H = Hemisphäre (rechts/links);

* $p < 0,05$

** $p < 0,01$

*** $p < 0,005$ (jew. korrigiert nach Huynh–Feldt)

Tab. 7: Übersicht der signifikanten Effekte für das Zeitfenster 300 bis 700 ms. Eine vollständige Zusammenstellung aller Ergebnisse befindet sich im Anhang.

5.4 Diskussion

Experiment II ging der Frage nach, inwiefern eine unterschiedliche zeitliche Anordnung von Ereignissequenzen die Beschreibungen von Probanden beeinflusst. Konkret wurde dabei die Erwähnreihenfolge manipuliert: während in der natürlichen Anordnung die chronologische und die Erwähnreihenfolge übereinstimmten, wichen in der unnatürlichen Anordnung beide Reihenfolgen voneinander ab. Vorab wurde die Hypothese aufgestellt, dass sich dieser Effekt der Anordnung auch in den erhobenen Daten finden lassen sollte. Dies ist jedoch nicht der Fall: In den Sprechdaten findet sich ein numerischer, aber kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen beiden Aufgabenstellungen. Damit können die in der Literatur beschriebenen Resultate nicht bestätigt werden (u. a. Clark, 1971, 1973; Trosberg, 1982; Stevenson und Pollitt, 1987). Die Betrachtung der produzierten Fehler und Pausen sowie der mittleren Äußerungslänge bringen ebenso wenig neue Erkenntnisse, da sich auch in Bezug auf diese Parameter keine Unterschiede zeigen. Das lässt den Schluss zu, dass beide Aufgabenstellungen einen vergleichbaren Schwierigkeitsgrad hatten (siehe auch Winskel, 2004). Aber war dem wirklich so?

Hier sind mehrere Einwände vorzubringen: die Probanden sollten ohne Zeitdruck reagieren; die Antworten sollten erfolgen, wenn sie sicher wussten, was sie sagen sollten. Dass die Probanden ihre Äußerungen sehr genau überwacht haben, zeigt die Tatsache, dass es kaum unkorrigierte Fehler gab. Bei den wenigen unkorrigierten Fehlern wurden meist die Bedingungen vertauscht. Das deckt sich mit der Idee der „ideal delivery“ (Clark und Clark, 1977; Ferreira und Smets, 2002, vgl. auch Kapitel 4), Probanden verzögern den Sprechbeginn, um potenzielle Fehler möglichst auszuschließen. Dadurch sind die Antwortlatenzen relativ hoch, insbesondere, wenn man sie mit denen des ersten Experiments vergleicht. Diese Vermutung wird gestützt durch die Resultate von Habets (2007), die ebenfalls Linearisierungsprozesse untersucht hat. In ihrem ersten Design wurden Probanden jeweils simultan Abbildungen präsentiert (z. B. Telefon, Buch), die in einer Ereignissequenz entsprechend angeordnet werden sollten. Über den Gegenständen war die Anordnung jeweils durch eine Zahl angedeutet (1, 2: *Nachdem die Frau telefoniert, liest sie.* bzw. 2, 1: *Bevor die Frau liest, telefoniert sie.*). Es fand sich ein signifikanter Unterschied in den Sprechdaten. In ihrem zweiten Design war die Reihenfolge farblich festgelegt: Probanden sahen nun sukzessiv zwei Gegenstandsabbildungen (z. B. Auto, Buch), gefolgt von einem farbigen Asterisk, der jeweils die Reihenfolge angab (rot: *Nachdem ich Auto fabre, lese ich.* bzw. gelb: *Bevor ich lese, fabre ich Auto.*). Der im ersten Design beobachtete Effekt hob sich auf, und die Antwortlatenzen fielen

von Experiment I zu Experiment II um etwa 150 ms höher aus. Habets (2007) führt das auf den erhöhten Schwierigkeitsgrad der farblichen Kodierung für die Probanden zurück.

Entscheidender ist aber die Tatsache, dass die Analyse der Antwortlatenzen keine Schlüsse zulässt in Bezug auf die beteiligten Prozesse bzw. Strategien. Beurteilt wird lediglich das Ziel, nicht aber die Schritte dorthin. Die Reaktionszeiten müssen daher als die Summe unterschiedlicher beteiligter Aktivitäten verstanden werden (Dien et al., 2004; Rahman; Levelt und van Turennout, 2003). Unklar bleibt, wie die Probanden tatsächlich vorgegangen sind, insbesondere, wenn man sich in Erinnerung ruft, dass der Schwierigkeitsgrad der beiden Aufgabenstellungen von den Probanden unterschiedlich beurteilt wurde. Zwar fiel den meisten die natürliche Reihenfolge leichter, allerdings gab es auch vier Probanden, die die unnatürliche Reihenfolge einfacher fanden und einen Probanden, der keinen Unterschied zwischen beiden Aufgabenstellungen feststellen konnte. Schaut man sich diese vier Probanden noch einmal an, so sieht man, dass bei dreien davon die Antwortlatenzen bei der unnatürlichen Reihenfolge in der Tat geringer sind.

Die Analyse der EEG-Daten ist in dieser Sicht weit informativer. Hier manifestiert sich ein signifikanter Unterschied zwischen beiden Antwortmustern (siehe auch Münte et al., 1998). Die unnatürliche Reihenfolge (*bevor*) ist durchgehend mit einer höheren Positivität assoziiert als die natürliche Reihenfolge (*nachdem*). Ähnliche Korrelationen finden sich bei anderen Aufgaben, in denen das Arbeitsgedächtnis besonders gefordert ist, wie auch dem Verstehen von Objektrelativsätzen (Müller, King und Kutas, 1998; King und Kutas 1995). Aber während sich für das Sprachverstehen eine höhere Negativierung bei der unnatürlichen Reihenfolge zeigt, verhält es sich hier genau anders herum.

Wichtig ist, sich das methodische Vorgehen noch einmal vor Augen zu führen: innerhalb des Experiments wurden die Stimuli sequenziell dargeboten, d. h. zuerst wurde auf dem Bildschirm ein schwarzer Pfeil gezeigt, und dann erschien der farbige Pfeil. Abhängig von der jeweiligen Farbe beschrieben die Probanden dann die Sequenz in der natürlichen oder der unnatürlichen Reihenfolge. Während in der natürlichen Reihenfolge das zuerst präsentierte Bild auch zuerst genannt werden musste, musste in der unnatürlichen Reihenfolge das zuletzt gesehene Bild zuerst beschrieben werden. Das bedeutet, dass sich hier die Arbeitsgedächtnisleistungen konfundierend auswirken: Im Fall der natürlichen Beschreibung musste das erste Bild länger im Arbeitsspeicher gehalten werden. Bei der chronologischen Beschreibung mussten die Probanden zwei Schritte zurückgehen, bei der nicht chronologischen aber nur einen (siehe auch Habets et al., 2008).

Darüber hinaus fand sich im späteren Zeitfenster an den zentro–parietalen Elektroden, wie auch in Experiment I, eine Positivierung ab etwa 300 ms. Diese fiel für die unnatürliche Bedingung signifikant höher aus. Sowohl die zeitliche als auch die topographische Anordnung sprechen dafür, dass es sich hierbei um eine P3000 handelt. Die vermehrten kognitiven Anforderungen bei der Beschreibung der unnatürlichen Reihenfolge (*bevor*) führen zu einer vermehrten Positivierung:

	Cz		Pz	
	Mittelwert	Standardabw.	Mittelwert	Standardabw.
natürliche Reihenfolge	0,98	1,56	1,89	1,56
unnatürliche Reihenfolge	2,05	1,46	3,04	1,84

Tab. 8: Vergleich der Amplituden (μV) zwischen 300 und 400 ms nach Erscheinen des farbigen Pfeils an den beiden Elektroden Cz und Pz. Sichtbar ist eine Positivierung (posterior > zentral), die für die unnatürliche Bedingung (*bevor*) deutlich höher ausfällt.

Eine mögliche Ursache hierfür ist die Aufrechterhaltung der entsprechenden Repräsentationen im Arbeitsgedächtnis. Wenn Personen die Vorstellungen, die sie über ihre unmittelbare mentale Umgebung gebildet haben, aktualisieren müssen, geht das einher mit einer Positivierung nach etwa 300 ms, der P3b. Dies wird in der „context–updating“-Hypothese zusammengefasst (Donchin, 1981; Donchin und Coles, 1988). Diese trifft hier zu, da Probanden in beiden Aufgabenstellungen unterschiedliche Diskursvorstellungen aufbauen mussten. Während es in den Sätzen mit der natürlichen Reihenfolge (*nachdem*) keinen Bruch zwischen Chronologie und Erwähnungsreihenfolge gab, war das in der unnatürlichen Reihenfolge (*bevor*) der Fall.

Die Beteiligung von Aufmerksamkeitsaspekten wird durch die Ergebnisse des eigenen vorigen Experiments (siehe Kapitel 4) weiter gestützt, in dem prozessbezogene Aspekte bei den Bildbeschreibungen untersucht wurden. Die komplexeren Bildbeschreibungen führten zu einer höheren parietalen Aktivität. Auch dieses Muster lässt sich mit der P300 zusammenfassen, wobei das Amplitudenausmaß die Intensität der beteiligten Prozesse widerspiegelt (Kok, 2001). Daraus folgt, dass sich in beiden Experimenten eine vergleichbare Komponente zeigte, die sehr wahrscheinlich mit Aufmerksamkeitsprozessen in Verbindung zu bringen ist.

Kapitel 6: Experiment III — Informationsauswahl in Bildbeschreibungen

6.1 Die Spezifizierung von Gegenständen

Sprecher haben bei der Generierung einer Äußerung mehrere Möglichkeiten, den Sachverhalt auszudrücken (Bock et al., 1992). Ein weißes weibliches Pferd kann je nach Situation als *Pferd*, *Schimmel* oder *Schimmelstute* bezeichnet werden (siehe auch Levelt, 1992). Welche Überlegungen spielen für den individuellen Sprecher hierbei eine Rolle?

Wie bereits in Kapitel 2 erwähnt, ist die Sprecherperspektive von wesentlicher Bedeutung (Clark, 1997; Levelt, 1989). Die Fähigkeit, unterschiedliche Perspektiven zu berücksichtigen, entwickelt sich bereits früh und ist innerhalb des Wortschatzerwerbs ein wichtiger Meilenstein (Golinkoff, 1993). In der Untersuchung von Clark und Svaib (1997) verwendeten zweijährige Kinder unterschiedliche Begriffe für identische Figuren: so war ein Bär mit einer Kamera entweder ein Bär, ein Fotograf oder aber ein Tier. Abhängig von der an sie gestellten Frage antworteten Kinder in der jeweiligen Gesprächssituation aus der hierfür notwendigen Perspektive. Damit Kinder zwischen drei und vier Jahren diese Begriffe auf verschiedenen Ebenen gebrauchten, zeigten Waxman und Hatch (1992) Kindern das Bild einer Rose und stellten unterschiedliche Fragen:

- (19) Is this a tree? No, a flower. (Basisebene)
Is this a dandelion? No, a rose. (Subordinierte Ebene)
Is this an animal? No, a plant. (Superordinierte Ebene)

89% der Kinder antworteten korrekt auf der Basisebene, 77% auf der subordinierten Ebene und immerhin 22% auf der superordinierten Ebene (Waxman und Hatch, 1992). Darüber hinaus sind Kinder, wie auch erwachsene Personen, in der Lage, ihre Sprechweise bzw. Fragen an den Gesprächspartner anzupassen (Tomasello, 1990). Selbst kleine Kinder von zwei Jahren verändern ihre Sprechweise, wenn sie mit noch kleineren Kindern oder Babys sprechen (Clark, 1997). Typische Beispiele bei Erwachsenen sind u. a. „motherese“ (z. B. Karmiloff und Karmiloff-Smith, 2002; Grimm, 2003) und „elderly-talk“ (siehe u. a. Cohen und Faulkner, 1986).

Man könnte also denken, dass Sprecher versuchen, alles dafür zu tun, dass die Zuhörer sie verstehen. Allerdings ist dies nicht immer der Fall. Oft überlassen die Sprecher es dem Zuhörer, passende Schlüsse zu ziehen, bzw. bestimmte Sachverhalte werden nur implizit dargestellt. In den Beispielen *Sie ist auf dem Wasser gelandet* oder *Er öffnete die Weinflasche* gehen die meisten von uns

automatisch davon aus, dass im ersten Fall etwas Fliegendes auf dem Wasser gelandet ist und dass im zweiten Satz wahrscheinlich ein Korkenzieher benutzt wurde, obwohl das in beiden Sätzen nicht explizit formuliert ist (Smith, 2000, Horton und Keysar, 1996). Die grammatikalisch realisierte Struktur bleibt im Vergleich zum konzeptuellen Inhalt reduziert bzw. unterspezifiziert. Dies trifft im Übrigen auch auf Pronominalisierungen zu (u. a. Metzinger und Brennan, 2003):

- (20) a. Die böse alte Hexe mästet Hänsel.
b. Sie mästet Hänsel.

Ähnliche Beispiele stammen aus der Textlinguistik (Rickheit, Sichelschmidt und Strohner, 2002). In den beiden Sätzen *Er ließ ein Glas Marmelade fallen. Der Boden klebte noch tagelang*, ist es dem Zuhörer überlassen, entsprechende Schlüsse zu ziehen. Aufgrund unseres vorhandenen Wissens schließen wir, dass:

- das Glas mit Marmelade zerbrochen ist, dass
- die Marmelade dabei auf dem Fußboden verteilt wurde, und dass
- der Fußboden zwar anscheinend gereinigt wurde, aber immer noch klebt.

Wie entscheidet also ein Sprecher, welche der vielen Informationen er auswählt, wenn er etwas beschreibt bzw. benennt? Die Selektion passender Informationen vor dem Sprechen verlangt einiges an Planung, Gedächtniszugriff, Überwachen des Diskurskontextes und das Erstellen von mentalen Textrepräsentationen (Roelofs, 2008, Horton und Keysar, 1996). Es ist wahrscheinlich, dass die meiste Aufmerksamkeit hierbei auf die Phase der Makroplanung fällt (Levelt, 1989).

Eine wesentliche Rolle in Bezug auf die zuvor gestellte Frage spielt der Objektkontext bzw. die Objektkonstellation. Ein geeigneter experimenteller Untersuchungsaufbau hierfür ist der „Referential Communication Task“ (Glucksberg, Kraus und Weisberg, 1966, Olson, 1970): Ein Sprecher beschreibt aus einer Objektauswahl einen Gegenstand, so dass ein Kommunikationspartner diesen eindeutig identifizieren kann. Hierbei wird die Menge der Kontextobjekte systematisch variiert, um auf diese Weise verschiedene Antwortmuster zu provozieren. Olson (1970) hat diesen Untersuchungsaufbau angewandt, um zu untersuchen, welche konzeptuellen Informationen Kinder auswählen, wenn sie einen Gegenstand unter vielen beschreiben. Deren Aufgabe war es, einem anderen Kind einen Baustein, unter dem ein Geschenk versteckt war, so genau zu beschreiben, dass es das Versteck eindeutig identifizieren konnte. Dabei lag das Geschenk in allen Fällen unter dem weißen runden Baustein, der Objektkontext wurde jedoch systematisch variiert, indem sich die übrigen Steine in Farbe (schwarz, weiß) und Form (rund,

eckig) unterschieden. Das hatte zur Folge, dass verschiedene Benennungen für die Identifikation des Zielobjekts notwendig waren:

Zielobjekt	Alternativobjekte	Benennung
		... der weiße
		... der runde
	  	... der weiße, runde

Tab. 9: „Referential Communication Task“: Das Benennverhalten verändert sich in Abhängigkeit vom jeweiligen Objektkontext (Olsen, 1970).

Die Kinder beschrieben den Baustein in allen Fällen informativ, so dass sich dieser eindeutig von den anderen abhob. Die Art der Antworten bzw. der Beschreibung desselben Objekts änderte sich dabei in Abhängigkeit des jeweiligen Objektkontextes. Die Kinder beschränkten sich meist auf die zur Spezifizierung notwendigen Attribute.

Damit entspricht Olsons Ergebnis den Maximen der Informativität und Quantität (Grice, 1979): Sprecher versuchen in kommunikativen Situationen, die wesentlichen Informationen zu beschreiben (informativer Aspekt), dabei jedoch nicht mehr als notwendig zu spezifizieren (minimale Spezifität). Herrmann und Deutsch (1976) konnten das Ergebnis zum Teil in eigenen Experimenten replizieren: sie untersuchten Kinder zwischen neun und elf Jahren, die ebenfalls in einer Spielsituation Gegenstände, in diesem Fall Fahrzeuge, informativ beschreiben sollten. Insgesamt fanden sich bei 27 der 28 Konstellationen signifikant häufiger minimal spezifische Antworten (in: Hermann und Grabowski, 1994). Die Sprecher verzichteten darauf, redundante Informationen zu geben, und beschränkten sich in ihren Beschreibungen auf die für die Erkennung wesentlichen Details. Zu ähnlichen Resultaten kommen auch Clark und Wilkes–Gibbs (1986).

Der informative Aspekt wird jedoch nicht immer erfüllt, manchmal fehlen wesentliche Informationen. Sprecher, insbesondere Kinder, gehen davon aus, dass Kommunikation ein kollaborativer Prozess ist. Das hat zur Folge, dass man in Kauf nimmt, dass es eventuell einige Wortwechsel dauern kann, bis die Nachricht verstanden ist bzw. dass man Nachfragen des Zuhörers bei Unklarheiten explizit erwartet (Wilkes–Gibbs und Clark, 1992; Clark und Wilkes–

Gibbs, 1986). Sprecher scheinen also die eigenen Formulierungskosten zu Lasten anderer zu minimieren (Smith, 2000).

Diese Ergebnisse finden sich jedoch nicht in allen durchgeführten Studien. So haben Deutsch und Pechmann (1982) gezeigt, dass Sprecher mindestens so häufig überspezifizieren wie minimal spezifizieren (siehe Hermann und Grabowski, 1994, für eine Zusammenfassung weiterer Studien). Kinder und Erwachsene sollten in diesen Experimenten eines von mehreren auf einem Tablett angeordneten Objekten informativ beschreiben. Zum Einsatz kamen verschiedene Gegenstände, die zusätzlich in Größe und Farbe variieren konnten. Nur 6% der Äußerungen waren Unterspezifizierungen, 28% waren Überspezifizierungen und enthielten somit redundante Informationen (Deutsch und Pechmann, 1982). Das ist mit dem Minimalitätsprinzip nicht ohne weiteres zu vereinbaren (siehe auch Levelt, 1989). Zu ähnlichen Ergebnissen kommen auch Ford und Olson (1975), die Kinder zwischen 4;0 und 7;0 Jahren untersucht haben: insbesondere die Antworten der älteren Kinder waren deutlich detaillierter, als es das Prinzip der minimalen Spezifität hätte erwarten lassen. Wie ist das zu erklären?

Sprecher reflektieren über die unterschiedliche Wahrnehmbarkeit von Informationen. Das trifft insbesondere auf das Merkmal Farbe zu (siehe auch Mangold und Pobel, 1988). Für den Zuhörer verläuft das Sprachverstehen häufig schneller und effizienter, je mehr Informationen vorhanden sind (Levelt, 1989). Man kann also sagen, dass Grices Minimalitätsprinzip auch auf die Hörerperspektive zutrifft, da der Suchprozess durch die Überspezifizierung für den Zuhörer optimiert wird und die Anforderungen hierdurch reduziert werden (siehe auch Smith, 2000). Einschränkend ist jedoch zu sagen, dass die Überspezifikation für den Hörer nur bei perceptuell auffälligen Objekten von Nutzen ist (Mangold, 2003).

Eine weitere Erklärung für das Auftreten von Über- und Unterspezifikationen bietet der Diskurskontext, wobei zu berücksichtigen ist, wie Kinder diesen definieren. Die durch Ford und Olson (1975) getesteten Kinder nutzten für ihre Beschreibungen nur die Adjektive, die innerhalb des Experiments tatsächlich von Bedeutung waren. Es zeigte sich, dass insbesondere ältere Kinder den relevanten Kontext dabei häufig weiter fassten und sich bei der Beschreibung eines Gegenstands nicht nur auf die aktuelle Beschreibungssituation, sondern auch auf vorige bezogen. Ab etwa 14 Jahren spielten dann zunehmend auch pragmatische Überlegungen eine Rolle, wenn sie sich in ihren Beschreibungen über die klassische Anordnung von Adjektiven hinweg setzten. So ist es im Englischen und Deutschen generell üblich, dass die Größe vor der Form genannt

wird. Allerdings wird diese Reihenfolge von Personen mit zunehmender linguistischer Kompetenz vernachlässigt. So wird das relevante Kriterium zuerst genannt, wenn sich dadurch die Anforderungen an den Gesprächspartner reduzieren lassen (siehe auch Schwenk und Danks, 1974):

- (21) a. Die rote große Tasse. (relevantes Kriterium Farbe)
b. Die große rote Tasse (relevantes Kriterium Größe)

Pechmann (1984, in: Herrmann und Deutsch, 1994) gibt eine ähnliche Erklärung: Im Deutschen existieren zur Fokussierung von Ereignissen unterschiedliche Möglichkeiten. Die Hervorhebung kann über die Satzstellung, den Gebrauch bestimmter Partikel oder die Akzentuierung erfolgen (Klabunde und Glatz, 2004). Die von Pechmann untersuchten Sprecher betonten nicht-redundante Informationen besonders stark und unterschieden damit sehr wohl zwischen redundanten und nicht redundanten Anteilen.

Mit zunehmendem Alter berücksichtigen die Kinder die Perspektive des Gesprächspartners. Dieses Einfühlungsvermögen in andere wird auch als kognitive Empathie bezeichnet und ist mit dem Begriff der „Theory of Mind“ („ToM“) assoziiert. Der Zusammenhang zwischen sozial-emotionalen und linguistischen Fähigkeiten einerseits und exekutiven Funktionen andererseits liegt nahe, ist aber noch nicht endgültig geklärt (De Villiers, 2007; Newton und de Villiers, 2007; Bird, Castelli, Malik et al., 2004; Fine, Lumsden und Blair, 2001, Astington und Jenkins, 1999). Neuroanatomisch ist hierbei der anteriore fronto-mediale Cortex relevant (Gallagher, Jack, Roepstorff und Frith, 2002; Fletcher et al., 1995). Insbesondere Patienten mit Schädel-Hirn-Trauma (Havet-Thomassin et al., 2006) und Personen mit Autismus (Baron-Cohen, 2001; Sodian und Frith, 1992) haben Schwierigkeiten mit Aspekten der sozialen Kognition, wie sie klassische ToM-Fähigkeiten erfordern. Rowe, Pollock, Polkey und Morris (2001) haben 31 Patienten mit links- und rechtsseitigen Frontalläsionen untersucht: in beiden Gruppen fanden sich Einschränkungen der ToM-Fähigkeiten und der exekutiven Leistungen (siehe auch Daffner, Mesulam, Scinto et al., 2000; Samson, Apperly, Kathirgamanathan und Humphreys, 2005; sowie die Metaanalyse von Amidon und Frith, 2006).

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die Beschreibungsart überwiegend perzeptuell basiert ist. Sprecher beschreiben für sie herausragende Informationen oder solche, die besonders häufig genannt werden (Hermann und Deutsch, 1976). Dabei findet sich eine Abhängigkeit von Überspezifikation und Sprechzielen: in Benennungen finden sich mehr Überspezifikationen als in

Instruktionen (Hermann und Grabowski, 1994). Bei der Auswahl von Sprechzielen spielt die Sprecherperspektive eine Rolle⁴. Die Reflexion über unterschiedliche Perspektiven ist insbesondere für die „Theory of Mind“ von Bedeutung. Neuroanatomisch scheinen fronto–mediale Strukturen hier beteiligt zu sein (siehe aber auch Bird et al.; 2004; Fine et al., 2001). Liu, Sabbagh, Gehring und Wellmann (2004) zeigten in einer Studie mit ereigniskorrelierten Potenzialen, dass bei ToM–Aufgaben der präfrontale Cortex von Bedeutung ist.

Für das hier beschriebene Experiment ist deshalb zu erwarten, dass zur Spezifikation von Informationen im Benennverhalten die Verhaltens– und EEG–Daten von den spezifischen Selektionsvorgängen während der Makroplanung abhängen sollten. Das führt zu folgenden Hypothesen:

1. Der Objektkontext bestimmt im wesentlichen Ausmaß die Anzahl der Fehler und Interjektionen.
2. Aufmerksamkeitsleistungen, insbesondere die zentrale Exekutive, werden maßgeblich bei dieser Aufgabe benötigt.

In Bezug auf die Antwortlatenzen ist daher eine positive Korrelation zwischen Objektkontexten und Vokalisationsbeginn zu erwarten. Je komplexer der Objektkontext und damit die Informationsmenge, die zuvor abgeglichen werden muss, desto länger sind die Antwortlatenzen bzw. desto mehr Fehler und Interjektionen treten auf. Der Einfluss des Objektkontextes auf die Makroplanung sollte sich ebenfalls in den neurologischen Korrelaten widerspiegeln. Erwartet werden erhöhte Aufmerksamkeitsleistungen durch die Probanden in Abhängigkeit vom jeweiligen Objektkontext. Hierbei sollen die zuvor gefundenen Resultate aus den ähnlichen eigenen Experimenten repliziert werden; konkret sollten die Aufgabenstellungen mit komplexeren Objektkontexten eine Positivierung (P300) zur Folge haben.

⁴ Ähnliches gilt für die Schriftsprache: Traxler und Gernsbacher (1993) haben gezeigt, dass auch hier die Kommunikation effizienter verläuft, wenn beim Schreiben die Einnahme der Leserperspektive erfolgt.

6.2 Methodisches Vorgehen

6.2.1 Probanden

Es wurden 27 gesunde Probanden zwischen 19 und 35 Jahren getestet (davon 14 Frauen, Median 25 Jahre). Es galten die auch bereits in den vorigen Experimenten verwendeten Kriterien. Bei den neu rekrutierten Personen handelte es sich meist um Studenten und Doktoranden der Medizinischen Hochschule bzw. der Leibniz-Universität Hannover und um Schüler der Logopädie.

6.2.2 Stimuli

Die Durchführung des Experiments basierte auf dem „Referential Communication Task“ (Glucksberg et al., 1966; Olson, 1970). Die verwendeten Objekte unterschieden sich dabei hinsichtlich der Form, der Farbe und/oder der Größe. Innerhalb des Experiments wurden sechs Symbole verwendet (Herz, Kreuz, Haus, Mond, Stern, Kreis), die in jeweils zwei unterschiedlichen Größen (groß, klein) und Farben (rot, blau) auftreten konnten. Bei den Symbolen handelte es sich um eine Auswahl der bereits zuvor verwendeten (siehe Experiment I und II): Hierzu wurden die Figuren in einer Voruntersuchung von 15 gesunden Probanden schriftlich benannt und in Bezug auf deren Schwierigkeitsgrad auf einer Skala von 1–3 (leicht/mittel/schwer) beurteilt. Für das Experiment wurden diejenigen Figuren verwendet, die die Probanden als eindeutig bzw. leicht beurteilten. Alle verwendeten Begriffe waren monosyllabisch und hatten eine Wortfrequenz (mündlich und schriftlich kombiniert) zwischen 34 und 131 pro Million Wörter (CELEX; Bayen et al., 1993). Das grammatikalische Geschlecht war ausbalanciert (maskulin: 3; neutrum: 3).

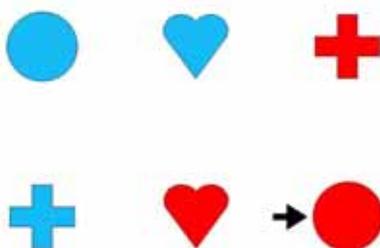


Abb. 20: Beispiel für die verwendeten Stimuli in Experiment III

Es ergaben sich 24 Konstellationen ([6 Symbole] x [2 Größen] x [2 Farben]), die innerhalb des Experiments durchpermutiert wurden. Jedes Objekt war sowohl Ziel- als auch Kontextobjekt. In Abhängigkeit vom jeweiligen Objektkontext wurden drei verschiedene Antwortmuster erwartet:

Antwortmuster	Objektkontext	Beispiele
dN: Artikel (Determiner) und Nomen	eine kritische Variable muss abgeglichen werden: Form	der Stern, das Herz, der Kreis, das Kreuz, der Mond, das Haus
daN: Artikel (Determiner), Adjektiv und Nomen	zwei kritische Variablen müssen abgeglichen werden: Form und Farbe	der rote Stern, der blaue Stern, das rote Herz, das blaue Herz, der rote Kreis, der blaue Kreis
daaN: Artikel, (Determiner) Adjektiv I+II und Nomen	drei kritische Variablen müssen abgeglichen werden: Form, Größe und Farbe	der große rote Stern, der kleine blaue Stern, das kleine rote Herz, der große blaue Stern, der kleine rote Stern, das kleine blaue Herz

Tab. 10: Beispiele für die verschiedenen Objektkontexte und die abzugleichenden Variablen für die drei verschiedenen Antwortmuster

Aufgabe war, lediglich die zur Identifikation minimal notwendigen Eigenschaften zu nennen. In diesem Licht ist insbesondere für die erwarteten Antwortmuster daN und daaN eine besondere Kontrolle notwendig, da der Objektkontext hier komplexer ist und mehrere Variablen abgeglichen werden müssen. Das wiederum sollte wiederum zu höheren kognitiven Anforderungen an die zentrale Exekutive führen.

6.2.3 Prozedere

Da intrinsische Faktoren das Benennverhalten der Versuchspersonen beeinflussen, wurde die folgende Instruktion vorgegeben, um Antwortvariabilitäten zu reduzieren: *Beschreiben Sie den Gegenstand, auf den der Pfeil zeigt, so knapp und eindeutig, wie es geht.* Das Augenmerk der Probanden wurde hierdurch a priori auf ein minimal spezifizierendes Benennverhalten gelegt. Hierdurch waren die Antworten vergleichbar, so dass eine Auswertung der EEG-Daten überhaupt stattfinden konnte. Die Darbietung der Stimuli erfolgte zufallsbasiert am PC (siehe auch Kapitel 3).

Für die Präsentation der Stimuli im Experiment wurde die folgende Zeitstruktur gewählt: Eine Bildfolge von sechs Symbolen wurde für jeweils 1 Sekunde präsentiert. Anschließend sahen die Probanden für 5,5 Sekunden die zuvor präsentierten Symbole in unveränderter Anordnung,

wobei jedoch ein Symbol mit einem Pfeil markiert war. Aufgabe der Probanden war es, diesen Gegenstand innerhalb des vorgegebenen Zeitfensters eindeutig zu benennen, eine zusätzliche Aufforderung zum Sprechen wurde nicht gegeben. Die EEG–Ableitung war synchronisiert mit dem Erscheinen des Pfeils. Es schloss sich ein Asterisk als Fixationspunkt an, der für 1,5 Sekunden eingeblendet blieb, bevor dann der folgende Durchgang begann. Je Reaktionsmuster (dN/daN/daaN) wurden 96 Stimuli präsentiert. Insgesamt ergab sich somit eine Ableitzeit von 2304 Sekunden, was etwa 39 Minuten entspricht und in einer Sitzung zu bewerkstelligen war. Das vollständige Experiment dauerte inklusive Pausen nicht länger als 45 Minuten.

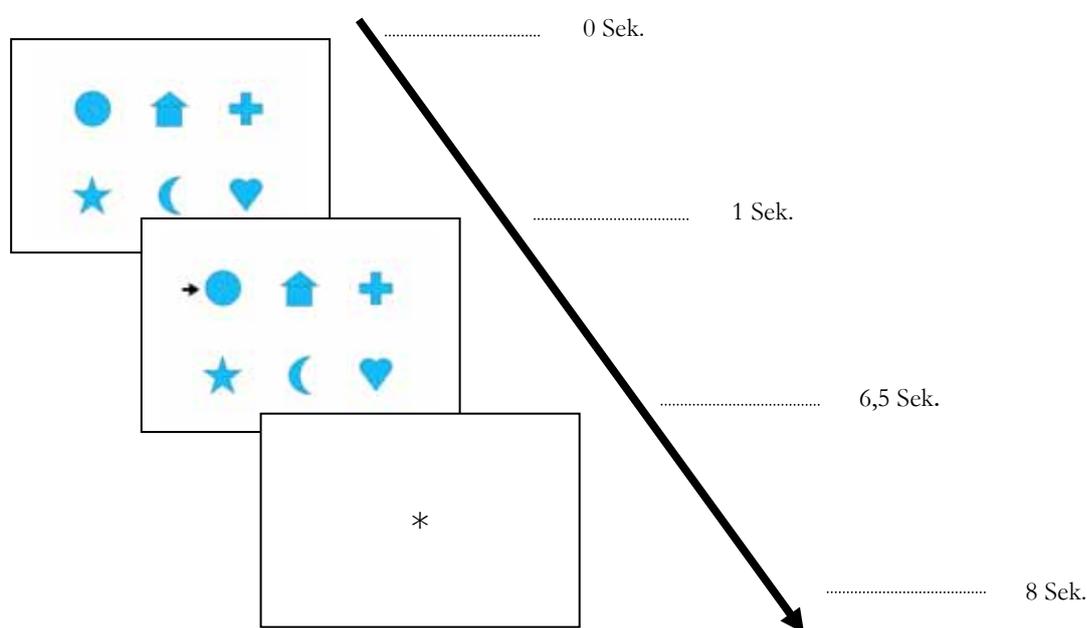


Abb. 21: Zeitlicher Verlauf eines Durchgangs (Trials; Gesamtdauer: 8 Sekunden). Die EEG–Aufnahme erfolgte synchronisiert mit dem Erscheinen des Pfeils. Die entsprechende Zielantwort wäre hier *der Kreis* (dN, einfacher Objektkontext).

Vor Beginn des eigentlichen Experiments wurde anhand von Übungsstimuli sichergestellt, dass die Probanden die Versuchsinstruktionen verstanden hatten und möglichst wenig blinzelten (siehe auch die methodischen Überlegungen zu Experiment I in Kapitel 4). Alle Stimuli aus der Übungsphase wurden im eigentlichen Experiment nicht mehr verwendet. Die Präsentation der Stimuli erfolgte mit dem Programm „Presentation 11.3“ (www.neurobehavioralsystems.com) mit integriertem Lautstärkeschwellwert („Voice Key“). Die Aufzeichnung der Sprechdaten begann, sobald ein zuvor bestimmter kritischer Lautstärkewert überschritten wurde. Alle Fehler der

Probanden wurden auf einem Protokollblatt vermerkt. Die Aufzeichnung von Sprechdaten mit Hilfe eines Voice Keys wird in der psycholinguistischen Forschung kritisch diskutiert, da diese häufig mit Fehlern behaftet ist (siehe hierzu u. a. Rastle und Davis, 2002). Zusätzlich wurden daher für eine genauere spätere Analyse der Versprecher und Interjektionen sowie der Antwortlatenzen alle Sprechdaten über einen externen PC mit dem Programm „Adobe Audition 1.0“ aufgezeichnet (Roßnagel, 2004, zum methodischen Vorgehen siehe die Beschreibung von Experiment I in Kapitel 4).

6.2.4 Datenaufzeichnung und -analyse

Die verwertbaren Antworten wurden unter folgenden Gesichtspunkten analysiert und kodiert (Levelt, 1983; Deutsch und Pechmann, 1982):

- korrigierte Äußerung:
- überspezifiziert/unterspezifiziert,
- sonstige Fehler (semantisch, phonologisch)
- unkorrigierte fehlerhafte Äußerung
- nicht-verwertbare Antworten: z. B. Nullantworten, zu leises Sprechen etc.

Für die Analyse der Antwortlatenzen wurden nur die korrekten Äußerungen berücksichtigt (siehe Ratcliff, 1993), die Beschreibung der Datenaufzeichnung findet sich Kapitel 4. Die ereignis-korrelierten Potenziale wurden jeweils für die drei Aufgabenstellungen (dN/daN/daaN bzw. einfacher/mittlerer/komplexer Objektkontext) verglichen, wobei insbesondere das Zeitfenster von 100 ms vor bis 800 ms nach Erscheinen des Pfeils interessierte. Es wurden ebenfalls nur die korrekten Antworten berücksichtigt, falsche Reaktionen flossen in die Analyse nicht mit ein. Die Artefaktkorrektur erfolgte visuell und durch die „Blind Source Separation“ („BSS“; Joyce, Gorodnitsky und Kutas, 2004). Alle elektrophysiologischen Daten wurden mit einem Tiefpassfilter von 80 Hz gefiltert und mit einer Abtastrate von 250 Hz aufgezeichnet. Gemittelt wurden jeweils Epochen über 1024 ms, einschließlich des Intervalls von 100 ms vor der Präsentation des Pfeils. Die Bestimmung der relevanten Zeitfenster erfolgte nach visueller Inspektion, alle Berechnungen erfolgten getrennt für verschiedene Zeitfenster jeweils für die drei Aufgabenstellungen dN/daN/daaN und die Elektrodenpositionen Mittellinie, parasagittal und temporal. Für die statistische Analyse der Sprech- und EEG-Daten kamen einfaktorielle Varianzanalysen mit Messwiederholung (ANOVA) zum Einsatz. Alle berichteten p-Werte sind

entsprechend korrigiert (Huynh und Feldt, 1980). Die erwarteten Effekte zur Selektion von Informationen während der Konzeptualisierung werden sowohl zeitlich als auch topographisch beschrieben.

6.3 Ergebnisse

6.3.1 Sprechdaten

Analysiert wurden zunächst die Antwortlatenzen, d. h. die Zeit zwischen der Präsentation des mit dem Pfeil markierten Symbols und der erfolgten verbalen Reaktion. Alle Angaben beziehen sich auf korrekte Äußerungen, die nicht mehr als zwei Standardabweichungen vom Mittelwert abwichen, die übrigen Reaktionen sind hier nicht weiter verwertet. Im Durchschnitt konnten bei den Probanden ($n = 27$) 92,8% der Äußerungen (Bereich 85 bis 96 %) analysiert werden.

Die gemittelte Antwortlatenz für die Aufgabenstellung dN betrug 970 ms (SD = 270 ms), für die Aufgabenstellung daN 1204 ms (SD = 344 ms) und für die Aufgabenstellung daaN 1177 ms (SD = 365 ms). Eine einfaktorielle Varianzanalyse (ANOVA) mit Messwiederholung (abhängige Variable: Latenz; Faktor: Aufgabenstellung) ergab einen signifikanten Unterschied für die Mittelwerte ($F(2, 52) = 16,65, p < 0,0001$).

Post hoc durchgeführte T-Tests für gepaarte Stichproben mit anschließender Bonferroni-Korrektur zeigten signifikante Unterschiede zwischen den Paaren dN – daN ($T(26) = -10,92, p < 0,0001$) und zwischen dN – daaN ($T(26) = -6,62, p < 0,0001$), nicht aber zwischen dnN – daaN ($T(26) = 1,59, p = 0,125$).

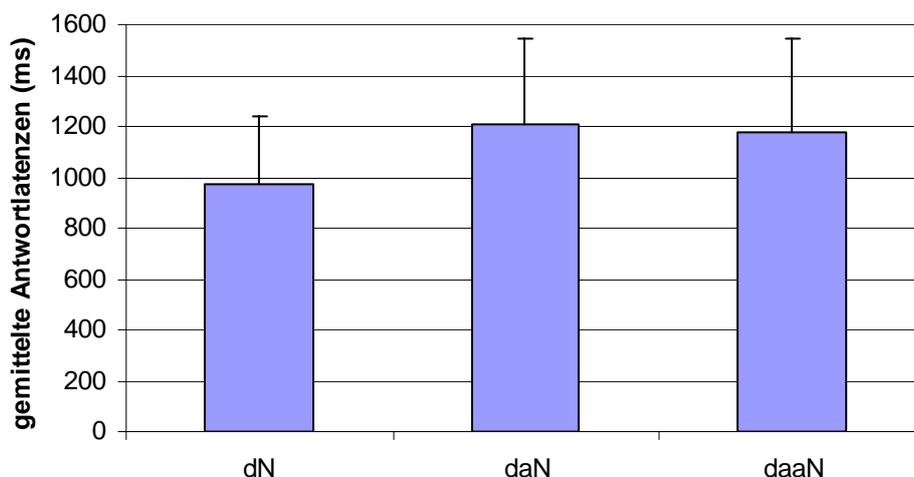


Abb. 22: Übersicht der Antwortlatenzen mit den jeweiligen Standardabweichungen für die drei verschiedenen Aufgabenstellungen

In einem zweiten Schritt wurde die Gesamtfehleranzahl (korrigiert und nicht korrigiert) in allen Aufgabenstellungen miteinander verglichen. Abbildung 23 zeigt, dass die Zahl der korrigierten Fehler mit den Aufgabenstellungen signifikant zunimmt ($F(2, 52) = 10,87, p < 0,0001$), die Zahl der nicht korrigierten Fehler ist in allen Aufgabenstellungen nahezu identisch ($F(2, 52) = 0,43, p = 0,651$):

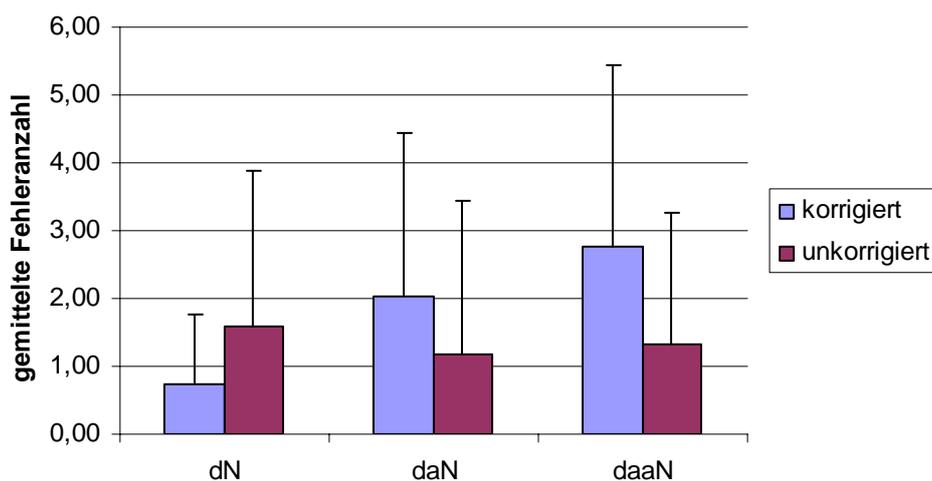


Abb. 23: Anzahl der korrigierten und nicht korrigierten Fehler mit den jeweiligen Standardabweichungen für alle Probanden

6.3.2 EEG-Daten

Die gemessenen Amplituden lagen im Bereich von etwa $-0,5$ bis $+8 \mu\text{V}$. Die Gesamtmittelpotenziale für die korrekten Äußerungen sind in Abbildung 24 dargestellt. Analyisierte Faktoren waren:

- Aufgabenstellung: dN/daN/daaN,
- Elektrodenposition: 3 Ebenen für Mittellinien-, 5 Ebenen für Temporal- und 7 Ebenen für Parasagittalelektroden, und
- Hemisphäre: 2 Ebenen: links/rechts; dieser Faktor wurde für die Mittellinienelektroden nicht weiter berücksichtigt.

Von Beginn an wurden unterschiedliche Amplitudenausprägungen für die Aufgabenstellungen sichtbar. Dies resultierte in einer frühen leichten Negativierung bei etwa 150 bis 180 ms, die für dN (einfache Aufgabenstellung) am größten ausfiel. Diese wurde abgelöst von einer Positivität mit einem Maximum bei etwa 300 ms (P300). Letzterer Effekt war an den zentro-parietalen Elektroden am stärksten ausgeprägt. Die drei Aufgabenstellungen unterscheiden sich ab etwa 350 ms deutlich voneinander. Insgesamt nahm die Amplitude für dN (einfache Aufgabenstellung) schneller ab als für daN und daaN (komplexere Aufgabenstellungen). Frontal fand sich nach einer Abnahme der Positivität ab etwa 450 ms wieder eine größere Positivierung. Aufgrund dieser Beobachtungen wurde die Zeit von 100 bis 700 ms nach Erscheinen des Pfeils in sechs identische Zeitfenster von je 100 ms unterteilt. Die statistische Analyse der Daten erfolgte anhand der Mittelwerte aller Probanden jeweils für die verschiedenen Aufgabenstellungen und Elektrodenposition durch ANOVAs mit Messwiederholungen. Der Übersicht wegen sind im Folgenden jeweils die frühen (bis 300 ms nach Erscheinen des Pfeils) und späten Zeitfenster (bis 700 ms nach Erscheinen des Pfeils) zusammengefasst. Die beobachteten signifikanten Effekte sind in Tab. 13 zusammengefasst. Um aufzuzeigen, welche der drei Aufgabenstellungen sich jeweils in welchem Umfang voneinander unterschieden, wurden post hoc gesonderte Paarvergleiche durchgeführt (siehe Tabellen 11 und 12 für eine Aufstellung der signifikanten Paarvergleiche). Eine Übersicht aller beobachteten Effekte befindet sich im Anhang.

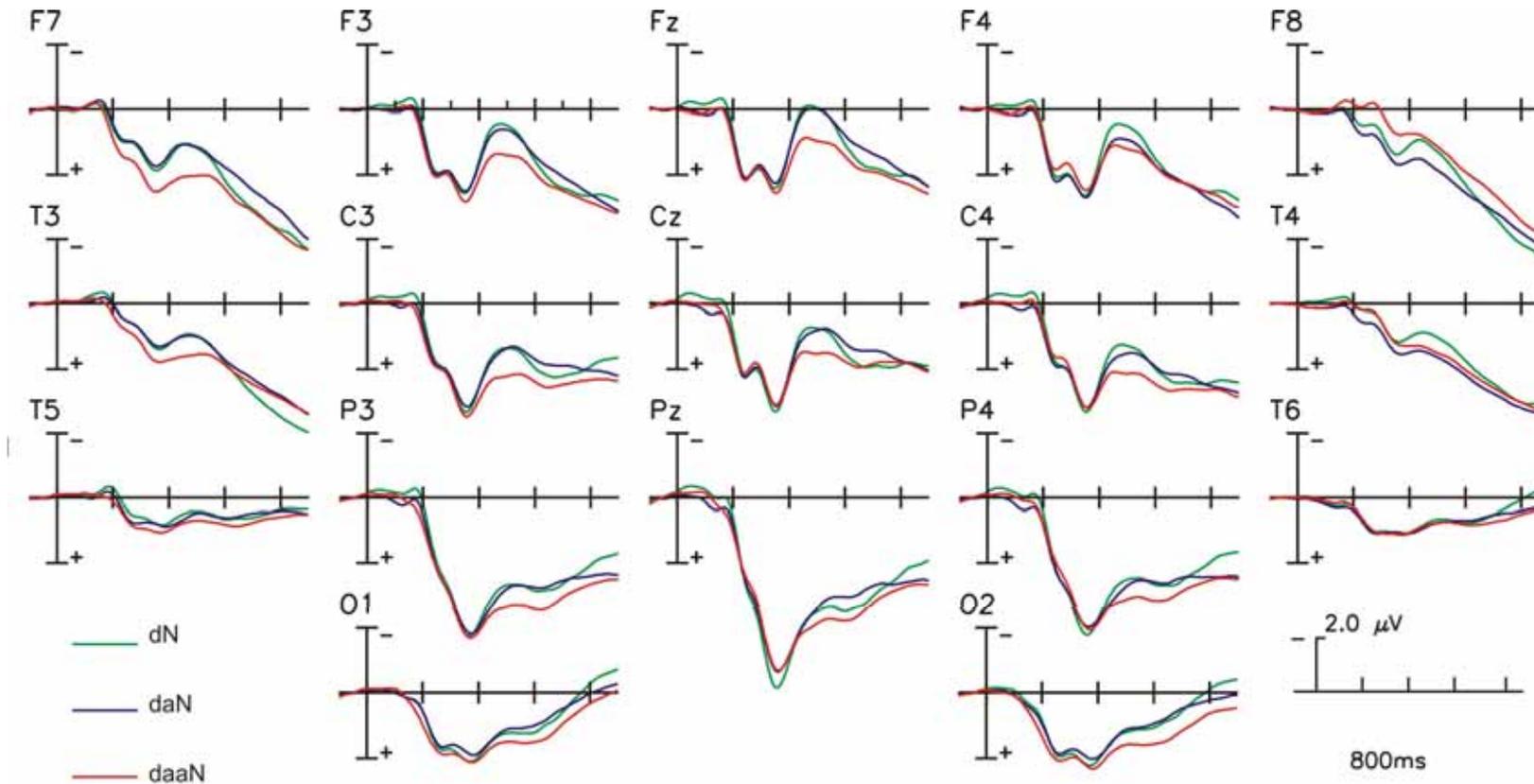


Abb. 24: Gesamtmittelpotenziale der EKP ($n = 27$) im Vergleich zwischen den verschiedenen experimentellen Aufgabenstellungen für die Mittellinienelektroden (Fpz, Fz, Fcz, Cz, Cpz, Pz, Oz), temporalen (F7/8, T3/4, T5/6) und parasagittalen Elektroden (F3/4, C3/4, P3/4, O1/2) im Zeitfenster von 100 ms vor Erscheinen des Pfeils bis 800 ms danach. Sichtbar ist eine Positivierung ab etwa 200 ms, ab etwa 300 ms unterscheiden sich die drei Aufgabenstellungen deutlich voneinander: daaN ist mit einer positiveren Amplitude assoziiert. Beispiele für die drei Aufgabenstellungen sind in Tab. 10 aufgelistet.

Beobachtete Effekte zwischen 100 und 300 ms nach Erscheinen des Pfeils

An den temporalen Elektroden findet sich eine signifikante Interaktion für die beiden Faktoren Aufgabenstellung und Hemisphäre ($F(2, 52) = 4,95/18,9$; $p < 0,05/0,005$, jeweils im Zeitfenster 100 bis 200 und 200 bis 300 ms). Zwischen 200 und 300 ms kam es zu zusätzlichen Interaktionen zwischen Elektrodenposition und Hemisphäre ($F(2, 52) = 14,62$; $p < 0,001$) bzw. zu einer Dreifachinteraktion Aufgabenstellung – Elektrodenposition – Hemisphäre ($F(4, 104) = 11,08$; $p < 0,00010$). Das lässt die Vermutung zu, dass sich die Aufgabenstellungen hinsichtlich der Verarbeitung in beiden Hemisphären bzw. der Elektrodenposition unterscheiden.

Parasagittal wurde ein signifikanter Haupteffekt für die verschiedenen Aufgabenstellungen sichtbar ($F(2, 52) = 4,94$; $p < 0,01$). Der Objektkontext spielte eine entscheidende Rolle, es bestanden signifikante Unterschiede zwischen dN – daaN und daN – daaN (siehe Tab. 11). Zwischen 200 und 300 ms kam es zu einer signifikanten Interaktion zwischen Elektrodenposition und Hemisphäre ($F(2, 52) = 10,35$, $p < 0,0002$). Letzteres weist darauf hin, dass die verschiedenen Objektkontexte in beiden Hemisphären unterschiedliche Reaktionsmuster hervorriefen.

Paarvergleiche:		dN – daN		dN – daaN		daN – daaN	
temporale Elektroden							
		F	p<	F	p<	F	p<
Aufg. x H df (1, 26)	100–200 ms	–	–	–	–	10,22	0,0036***
	200–300 ms	–	–	17,09	0,0003***	52,33	0,001***
E x H df (2, 52)	100–200 ms	–	–	4,52	0,0158*	–	–
	200–300 ms	6,02	0,0046***	22,24	0,001***	15,93	0,001***
Aufg. x E x H df (2, 52)	200–300 ms	4,45	0,0179*	7,21	0,0017***	23,91	0,001***
parasagittale Elektroden							
Aufg. df (1, 26)	100–200 ms	10,35	0,0034***	5,75	0,0240*	–	–
Aufg. x E (4, 104)	100–200 ms	3,25	0,0149*	–	–	–	–
Aufg. x H df (1, 26)	200–300 ms	–	–	13,76	0,001***	21,16	0,001***
Aufg. x E x H df (4, 104)	200–300 ms	–	–	–	–	2,85	0,0441*

Aufg. = Aufgabenstellung (dN/daN/daaN), E = Elektrodenposition (ant./post.), H = Hemisphäre (links/rechts),

* p < 0,05

** p < 0,01

*** p < 0,005 (jew. korrigiert nach Huynh–Feldt)

Tab. 11: Übersicht der signifikanten Effekte für die durchgeführten Paarvergleiche zwischen 100 und 300 ms nach Erscheinen des Pfeils. Angegeben sind jeweils die F–Werte und das jeweilige Signifikanzniveau.

Beobachtete Effekte zwischen 300 und 700 ms nach Erscheinen des Pfeils

An den Mittellinienelektroden trat zwischen 400 und 500 ms ein signifikanter Haupteffekt auf ($F(2, 52) = 4,31; p < 0,019$), d. h., dass die Konstellation des Objektkontextes zu unterschiedlichen Verarbeitungsroutinen führte. Post hoc durchgeführte Paarvergleiche zeigten dabei einen signifikanten Unterschied zwischen dN – daaN, nicht aber zwischen den beiden übrigen Paarungen von Aufgabenstellungen (siehe Tab. 12).

Für die temporalen Elektroden waren zwischen 300 und 600 ms signifikante Interaktionen festzustellen zwischen den beiden Faktoren Aufgabenstellung und Hemisphäre ($F(2, 52) = 22,33/16,93/7,65; p < 0,001$). Zwischen 300 und 400 ms kam es zu einer Interaktion zwischen Elektrodenposition und Hemisphäre ($F(2, 52) = 6,65; p < 0,001$). Es zeigte sich außerdem im gesamten Zeitfenster eine Dreifachinteraktion Aufgabenstellung – Hemisphäre – Elektrodenposition. Diese lag maximal zwischen 300 und 400 ms und nahm dann in der Amplitudenausprägung ab ($F(4,104) = 12,48/8,89/4,9/4,17; p < 0,001$). Post hoc durchgeführte Paarvergleiche ergaben einen signifikanten Haupteffekt für die Verarbeitung der Paare mit einfachen und komplexen Aufgabenstellungen (dN – daN und dN – daaN) sowie signifikante Interaktionen zwischen Aufgabenstellung und Hemisphäre, Aufgabenstellung und Elektrodenposition und eine Dreifachinteraktion Aufgabenstellung – Hemisphäre – Elektrodenposition.

An den parasagittalen Elektroden wurde zwischen 400 und 600 ms ein signifikanter Haupteffekt sichtbar ($F(2, 52) = 5,39/5,06; p < 0,05$). Außerdem kam es zwischen 300 und 500 ms zu einer Interaktion zwischen Aufgabenstellung und Hemisphäre ($F(2, 52) = 8,37/3,78; p < 0,005/0,05$) sowie einer Dreifachinteraktion Aufgabenstellung – Hemisphäre – Elektrodenposition ($F(8, 208) = 2,29/2,26; p < 0,05$). Die post hoc durchgeführte Betrachtung der Paarvergleiche ergab einen signifikanten Haupteffekt für die Verarbeitung bei den Paaren dN – daaN und daN – daaN sowie eine signifikante Interaktion zwischen Aufgabenstellung und Hemisphäre für dN – daaN und daN – daaN, außerdem eine Dreifachinteraktion Aufgabenstellung – Hemisphäre – Elektrodenposition im gesamten Zeitbereich für die Paarung daN – daaN.

Paarvergleiche:		dN – daN		dN – daaN		daN – daaN	
Mittellinienelektroden							
		F	p<	F	p<	F	p<
Aufg. df (1, 26)	400–500 ms	–	–	7,33	0,0118*	–	–
temporale Elektroden							
Aufg. df (1, 26)	400–500 ms	4,27	0,0490*	4,29	0,0483*	–	–
Aufg. x H df (1, 26)	300–400 ms	4,05	0,0237*	22,20	0,001***	48,40	0,001***
	400–500 ms	–	–	13,06	0,0013***	41,24	0,001***
	500–600 ms	–	–	–	–	20,09	0,001***
	600–700 ms	–	–	–	–	12,97	0,0013***
E x H df (2, 52)	300–400 ms	–	–	11,29	0,001***	8,98	0,0005***
	400–500 ms	–	–	4,02	0,0250*	–	–
Aufg. x E x H df (2, 52)	300–400 ms	4,05	0,0237*	8,85	0,0005***	24,78	0,001***
	400–500 ms	4,71	0,0132*	5,28	0,0082**	17,01	0,001***
	500–600 ms	–	–	3,33	0,0434*	8,29	0,0008***
	600–700 ms	–	–	4,10	0,0223*	5,82	0,0052**
parasagittale Elektroden							
Aufg. df (1, 26)	400–500 ms	–	–	8,33	0,0077**	4,32	0,0476*
	500–600 ms	–	–	5,93	0,0221*	7,46	0,0024**
	600–700 ms	–	–	–	–	6,64	0,0160
Aufg. x H df (1, 26)	300–400 ms	–	–	11,34	0,0024***	16,36	0,0004***
	400–500 ms	–	–	–	–	9,72	0,0044***
	500–600 ms	–	–	–	–	7,59	0,0106*
Aufg. x E x H df (4, 104)	300–400 ms	–	–	–	–	4,43	0,0024***
	400–500 ms	–	–	–	–	5,19	0,0007***
	500–600 ms	–	–	–	–	4,51	0,0021***
	600–700 ms	–	–	–	–	4,19	0,0195*

Aufg. = Aufgabenstellung (dN/daN/daaN), E = Elektrodenposition (ant./post.), H = Hemisphäre (links, rechts),

* p < 0,05

** p < 0,01

*** p < 0,005 (jew. korrigiert nach Huynh–Feldt)

Tab. 12: Übersicht der signifikanten Effekte für die durchgeführten Paarvergleiche im Zeitfenster zwischen 300 und 700 ms nach Erscheinen des Pfeils. Angegeben sind jeweils die F-Werte und die entsprechenden Signifikanzniveaus.

Zusammenfassend fand sich in den EEG-Daten für alle drei Aufgabenstellungen eine Positivierung mit einem Maximum an den zentro-parietalen Elektroden. Dabei waren zwischen den verschiedenen Aufgabenstellungen deutliche Unterschiede sichtbar, wobei die positive Amplitude für den komplexen Objektkontext (daaN) durchweg höher ausfiel.

	100–200 ms	200–300 ms	300–400 ms	400–500 ms	500–600 ms	600–700 ms
Mittellinienelektroden (Fpz, Fz, Fcz, Cz, Cpz, Pz, Oz)						
Aufg. dF (2, 52)	–	–	–	4,31*	–	–
temporale Elektroden (F7/8, T3/4, T5/6)						
Aufg. x H df (2, 52)	4,95*	18,90***	22,33***	16,93***	7,65***	4,61*
E x H df (2, 52)	–	14,62***	6,65***	–	–	–
Aufg. x H x E df (4, 104)	–	11,08***	12,48***	8,89***	4,90***	4,17***
parasagittale Elektroden (Fp1/2, F3/4, C3/4, P3/4, O1/2)						
Aufg. dF (2, 52)	4,94*	–	–	5,39**	5,06**	–
Aufg. x H dF (2, 52)	–	10,35***	8,37***	3,78*	–	–
Aufg. x H x E dF (8, 208)	–	–	2,29*	2,26*	–	–

Aufg. = Aufgabenstellung (dN/daN/daaN), E = Elektrodenposition (post./ant.), H = Hemisphäre (links/rechts),
 * $p < 0,05$
 ** $p < 0,01$
 *** $p < 0,005$ (jew. korrigiert nach Huynh-Feldt)

Tab. 13: Übersicht aller signifikanten Effekte für die drei Elektrodenpositionen in den analysierten Zeitfenstern, angegeben sind jeweils die F-Werte (eine Zusammenstellung aller beobachteten Effekte befindet sich im Anhang).

6.4 Diskussion

Das dritte Experiment beschäftigte sich mit der Frage, ob unterschiedlich gestaltete Objektkonstellationen die Informationsselektivität in Bildbeschreibungen beeinflussen. Konkret wurden dabei die verschiedenen Objektkontexte manipuliert. Damit wichen die Anforderungen für die drei getesteten Aufgabenstellungen sowohl visuell als auch konzeptuell voneinander ab. Während im Falle des einfachen Objektkontextes (dN: *der Kreis*) jeweils nur ein Merkmal abzugleichen war, mussten in den komplexeren Konstellationen zwei (daN: *der rote Kreis*) bzw. drei Merkmale (daaN: *der große rote Kreis*) erfasst werden. Entsprechend unterschieden sich die zu erwartenden

Antworten der Probanden hinsichtlich ihres Informationsgehalts. Der Effekt der Aufgabenstellung sollte sich sowohl in den Sprech- als auch in den EEG-Daten zeigen.

Dies konnte in den Resultaten bestätigt werden. In den Sprechdaten fand sich ein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den verschiedenen Aufgabenstellungen. Das zeigt, dass den Aufgaben tatsächlich unterschiedliche Schwierigkeitsgrade zugrunde lagen. In den komplexeren Aufgabenstellungen benötigten die Sprecher mehr Zeit, um relevante Informationen abzugleichen; dies ging einher mit höheren Anforderungen an die Verarbeitungskapazitäten (Smith, 2000). Wie erwartet hatte das auch Konsequenzen für die mittleren Äußerungslängen, die sich für alle Aufgabenstellungen signifikant unterschieden.

Insgesamt wurden meist korrekte Antworten produziert, bei den korrigierten Fehlern handelte es sich insbesondere um semantische Fehler. Dahingegen waren die nicht korrigierten Fehler vermehrt Abweichungen vom Prinzip der minimalen Spezifität, es kam zu Überspezifikationen, die offensichtlich nicht registriert wurden (siehe auch Olson, 1970; Deutsch und Pechmann, 1982). Interessanterweise blieb die Anzahl der nicht korrigierten Fehler in allen drei Aufgabenstellungen relativ konstant, während die korrigierten Fehler dagegen mit der Zunahme der Objektkonstellation signifikant anstiegen. Das deutet darauf hin, dass die automatisierten Aufmerksamkeitsreserven, die Sprecher auf die Durchführung verwenden, für alle drei Aufgabenstellungen nahezu identisch waren. Die Überwachung fehlerhafter Äußerungen ist abhängig von den Arbeitsgedächtnisleistungen bzw. den generellen kognitiven Anforderungen (Levelt, 1983, Oomen und Postma, 2001a). Dabei korrespondiert die Fehleranzahl mit den Anforderungen einer Aufgabe, d. h. je höher die Anforderungen innerhalb einer Aufgabe, desto höher ist die erwartete Fehleranzahl. Insofern ist die Aufgabenstellung in Experiment III in gewisser Weise mit einer Doppelaufgabe zu vergleichen: während ein Teil der Aufmerksamkeit für die Überwachung von Fehlern benötigt wird, wird ein anderer Teil darauf verwendet, die Aufgabenstellung zu berücksichtigen (Kok, 2001).

Zu hinterfragen ist, ob die Unterschiede in den Reaktionszeiten dadurch erklärt werden können, dass sich die verschiedenen Aufgabenstellungen auch syntaktisch voneinander unterscheiden. Während in der Bildbeschreibung mit dem einfachen Objektkontext (dN: *der Kreis*) nur eine Nominalphrase mit Artikel und Substantiv produziert werden musste, war es in den Bildbeschreibungen mit komplexeren Objektkontexten notwendig, mehrere Merkmale abzugleichen und entsprechend zu nennen. In der mittleren Aufgabenstellung mussten die Probanden eine erweiterte

Nominalphrase mit einer adjektivischen Ergänzung produzieren (daN: *der rote Kreis*), in der Aufgabenstellung mit dem komplexen Objektcontext mussten zwei Merkmale abgeglichen werden, so dass die korrekte Antwort aus einer erweiterten Nominalphrase mit doppelter adjektivischer Ergänzung bestand (daaN: *der große rote Kreis*). Entscheidend ist aber, dass die Probanden in allen drei Antwortkonstellationen die entsprechende Kongruenz zwischen Artikel und Substantiv herstellen mussten. Außerdem führte die Hinzufügung der Genusinformationen in allen Fällen zur identischen Markierung durch [-e] am Adjektiv: *das große rote Dreieck (neutrum)* bzw. *der kleine blaue Kreis (maskulin)*. Im Gegensatz zum ersten Experiment mussten Probanden daher hier in allen Aufgabenstellungen syntaktisches Wissen aktivieren. Das spricht dafür, dass die unterschiedlichen Ergebnisse der Sprechdaten insbesondere durch die konzeptuellen Anforderungen zustande kamen.

Die Unterschiede in den Sprechdaten konnten elektrophysiologisch bestätigt werden. Es zeigte sich ein signifikanter Haupteffekt im direkten Vergleich der Aufgabenstellungen dN – daN und dN – daaN, nicht aber für daN – daaN. Wie auch in den vorigen Experimenten fand sich im frühen Zeitfenster eine erhöhte Negativierung, die für die Aufgabenstellung mit dem einfachen Objektcontext (dN) am höchsten ausfiel:

	Fz		Cz	
	Mittelwert	Standardabw.	Mittelwert	Standardabw.
dN	-0,13 μ V	0,83 μ V	0,02 μ V	0,78 μ V
daN	0,17 μ V	0,74 μ V	0,42 μ V	0,67 μ V
daaN	0,18 μ V	0,74 μ V	0,31 μ V	0,65 μ V

Tab. 14: Mittelwerte und Standardabweichungen für die Mittellinienelektroden Fz und Cz im Zeitfenster 100–200 ms. Deutlich ist eine höhere Negativität, die frontal besonders ausgeprägt ist. Eine tabellarische Übersicht der numerischen Werte befindet sich im Anhang.

Die höhere Negativität mit einem frontalen Fokus weist auf eine Beteiligung des Arbeitsgedächtnisses hin. Probanden sollten in dieser Aufgabenstellung nur das Substantiv nennen, die Farbe war redundant. Die Nennung des Merkmals Farbe musste bewusst unterdrückt werden. Die P300 und die damit verbundenen Kapazitätsanforderungen sind nicht nur durch die Schwere der Aufgabenstellung geprägt, sondern darüber hinaus auch von Kontroll- und Aufmerksamkeitsprozessen (Kok, 2001). Insbesondere posteriore Regionen des rostralen medialen frontalen

Cortex (MFC) sind für die Unterdrückung von Antworten verantwortlich, was auch als „response inhibition“ bezeichnet wird (Amodio und Frith, 2006, Ridderinkhof, et al., 2004; Gallagher und Frith, 2003). Elektrophysiologisch spiegelt die Negativität die Erkennung des Stimulismusters („stimulus set“) wider, während die später auftretende Positivität mit dem Antwortmuster („response set“) assoziiert ist (Kok, 2001)

Darüber kam es, wie auch in den beiden anderen Experimenten, zu einer vermehrten Positivität ab etwa 300 ms (P300), die für die Aufgabenstellung daaN deutlich länger anhält. Diese späte Positivierung lässt sich durch erhöhte Aufmerksamkeitsleistungen bzw. generelle kognitive Kapazitäten erklären. Sie ist ein Maß für die zeitliche Abstimmung mentaler Prozesse (siehe Fogelson et al., 2009; Polich, 2007).

Kapitel 7: Diskussion — Konzeptualisierung beim Beschreiben komplexer Anordnungen

Die Ergebnisse der durchgeführten Experimente haben gezeigt, dass EKPs auch zur Untersuchung von Sprachproduktion eingesetzt werden können, wenn sich die Analyse der elektrophysiologischen Daten auf die Phasen der Planung vor der eigentlichen Artikulation beschränkt (siehe u. a. Eulitz et al., 2000; Liotti et al., 2000). Der Diskussionsteil dieser Arbeit gliedert sich in 5 Teile: zunächst werden die Ergebnisse der durchgeführten Experimente noch einmal dargestellt und interpretiert (Abschnitt 7.1–7.3). Anschließend wird insbesondere auf topographische Aspekte eingegangen und die Frage diskutiert, ob es sich bei den beobachteten Effekten um konzeptuelle oder eher generell kognitive Phänomene handelt (Abschnitt 7.4). Im abschließenden Abschnitt 7.5 werden Ausblicke auf mögliche zukünftige Experimente in Bezug auf Konzeptualisierungsprozesse gegeben.

7.1 Gibt es ein neurologisches Korrelat der Komplexität?

Das erste Experiment untersuchte, ob Konzeptualisierungsprozesse neurophysiologisch nachgewiesen werden können. Konkret wurde geschaut, inwieweit sich die Planungskomplexität innerhalb der Makroplanung auf die neuronalen Korrelate auswirkt. In den Ergebnissen zeigte sich eine zentro–parietale Positivierung ab 300 Millisekunden, die für die Aufgabenstellungen mit höherer Komplexität größer ausfiel.

Sowohl zeitlich als auch topographisch entspricht der beobachtete Effekt einer P300. Diese Komponente ist u. a. assoziiert mit Aufmerksamkeits– und Orientierungsprozessen, Entscheidungsfindung und generellen Verarbeitungskapazitäten (Fogelson et al., 2009; Münte et al., 2000; Donchin und Coles, 1988). Dabei resultiert die P300 aus einem komplexen Zusammenspiel von Aufmerksamkeit und Arbeitsgedächtnis (u. a. Polich, 2007). In Experiment I wurden die konzeptuellen Anforderungen systematisch manipuliert, was für die Probanden mit einem erhöhten Schwierigkeitsgrad einherging. Dies führte in den komplexen Bedingungen zu längeren Reaktionszeiten und zu einer Amplitudenerhöhung. Dabei gilt, dass die P300 mit höheren Anforderungen steigt (Ullsperger, Metz und Gille, 1998; Kok, 2001). Das legt nahe, dass mit dem Experiment ein neurologisches Korrelat für die Komplexität aufgezeigt werden konnte.

Problematisch für die Interpretation der Ergebnisse von Experiment I ist allerdings, dass die syntaktischen Anforderungen möglicherweise als Störfaktor wirkten, da die Aufgabenstellungen unterschiedliche verbale Reaktionsmuster zur Folge hatten. Innerhalb des Experiments wurden drei verschiedene Konzeptualisierungsstufen getestet, die sich auch in der syntaktischen Komplexität unterschieden. Während die Probanden in der einfachen Bedingung nur die Richtung anzugeben brauchten, mussten sie in den komplexeren Bedingungen syntaktisches Wissen aktivieren und eine erweiterte Präpositionalphrase produzieren: *nach oben zum (gelben) Dreieck*. Dabei hat die Hinzufügung der Farbe den Schwierigkeitsgrad nicht entscheidend erhöht (siehe auch Kapitel 4), syntaktisch ist das Farbadjektiv unabhängig von der Nennung des Substantivs und wird vielmehr durch die Präposition bestimmt. Insofern könnte man die gefundenen Resultate auch mit syntaktischer Komplexität erklären, da in den EEG-Daten der Unterschied zwischen den beiden komplexen Bedingungen nicht signifikant ausfiel. Ergebnisse bildgebender Studien zeigen, dass der Frontallappen und insbesondere der mediale Gyrus frontalis superior (mSFG) beteiligt sind, wenn die linguistische Komplexität manipuliert wird (Indefrey et al., 2001; 2004; Chein, Fissel, Jacobs und Fiez, 2002; Heim et al., 2002; Haller et al., 2005; Braun et al., 2001).

Sinnvoll wäre es daher gewesen, wenn die Probanden identische syntaktische Strukturen produziert hätten. Eine syntaktisch basierte Interpretation der Ergebnisse wird unwahrscheinlicher, wenn in vergleichbaren Experimenten eine ähnliche Komponente gefunden wird, ohne dass satzstrukturelle Unterschiede bestehen.

7.2 Elektrophysiologie verschiedener Linearisierungsprozesse

Experiment II beschäftigte sich mit der zeitlichen Anordnung von Ereignissequenzen. Dabei waren die Antworten in beiden Aufgabenstellungen syntaktisch in Hinblick auf Äußerungslänge und Komplexität identisch, sie unterschieden sich lediglich durch die temporale Konjunktion *bevor* bzw. *nachdem*. Elektrophysiologisch war die unnatürliche Reihenfolge (*bevor*) assoziiert mit erhöhten Aufmerksamkeitsleistungen, die sich insbesondere im Zeitfenster ab 300 ms als P300 manifestierten. Damit zeigte sich hier eine vergleichbare Komponente wie auch bereits im ersten Experiment.

Vieles spricht dafür, dass die Generierung der P300 durch die Einbindung in ein neuronales Netzwerk zwischen frontalen und temporal-parietalen Strukturen ermöglicht wird (Fogelson et

al., 2009; Polich, 2007). Studien mit funktioneller Bildgebung belegen, dass der mittlere temporale Gyrus (MTG) und der inferiore frontale Gyrus (IFG; BA 45) bei Bildbenenn- und Wortgenerierungsaufgaben beteiligt sind (Indefrey und Levelt, 2000, 2004). Das erwähnte Netzwerk steuert auch Aufmerksamkeits- und Gedächtnisleistungen (Chein et al., 2002). Insofern können die gefundenen erhöhten Verarbeitungskapazitäten auf die Umkehr der natürlichen Reihenfolge (*bevor*) zurückgeführt werden. Das stützt die These des Aufbaus unterschiedlicher Diskursrepräsentationen auf neuronaler Ebene, die elektrophysiologisch durch die erhöhten Aufmerksamkeitsreserven mit der daraus resultierenden Positivierung nach 300 ms im Sinne der „context-updating“-Hypothese erklärt werden kann (Donchin und Coles, 1988). Insbesondere der mediale Gyrus frontalis superior (mSFG) bzw. der anteriore cinguläre Cortex (ACC) und der inferiore Parietallappen (IPL) sind verantwortlich für die Aufrechterhaltung und Aktualisierung von Gedächtnisrepräsentationen (Ridderinkhof et al., 2004). Dem Arbeitsgedächtnis bzw. dem mittleren frontalen Gyrus (MFG) fällt dabei eine entscheidende Rolle zu, da hier die entsprechenden Repräsentationen bzw. Diskursvorstellungen aufrecht erhalten werden, was elektrophysiologisch die bereits beschriebene Positivierung zur Folge hat (Polich, 2007).

Ye, Habets, Jansma und Münte (2010) haben Linearisierungsprozesse mittels fMRT untersucht. Interessanterweise konnten sie zeigen, dass für die natürliche und unnatürliche Reihenfolge kein Unterschied zwischen den Verbindungen zwischen dem MTG und dem inferioren frontalen Gyrus pars orbitalis (IFGorb) bestand. Der linke IFGorb ist assoziiert mit gespeicherten konzeptuellen und episodischen Repräsentationen (Badre und Wagner, 2005, 2007). Um die entsprechenden Diskursrepräsentationen aufzubauen, ist der Zugriff auf Weltwissen notwendig (Hagoort, Hald, Bastiaansen und Peterson, 2004; Levelt, 1999). Die Tatsache, dass sich kein funktioneller Unterschied zwischen den beiden Reihenfolgen feststellen ließ, zeigt, dass in beiden Fällen gleichermaßen auf gespeicherte Gedächtnisinhalte zurückgegriffen wird (Ye et al., 2010). Das erklärt evtl. mit, warum sich auch in den Sprechdaten kein signifikanter Unterschied zwischen beiden Aufgabenstellungen fand.

Darüber hinaus deuten Ergebnisse weiterer bildgebender Studien darauf hin, dass bei Sätzen mit unnatürlicher Reihenfolge zudem vermehrt auch der mediale präfrontale Cortex (mPFC), der MFG, der Hippocampus und die Basalganglien involviert sind (Ye, Kutas, St. George, Sereno und Münte, in Revision; in: Ye et al., 2010). Insofern hat Experiment II zeigen können, dass die beiden verschiedenen Linearisierungsprozesse für die Prozess- und Strukturebene auf unterschiedliche neurologische Korrelate zurückzuführen sind.

Ein konfundierender Faktor innerhalb des Linearisierungsexperiments war die Beteiligung unterschiedlich stark ausgeprägter Arbeitsgedächtnisleistungen. Die Probanden mussten durch die sequenzielle Präsentation der Stimuli in der natürlichen Reihenfolge zwei Schritte, in der unnatürlichen Reihenfolge aber nur einen Schritt zurückgehen. Um diesen Aspekt auszuschließen, könnten die Stimuli simultan präsentiert werden. Auf diese Weise würde man den Einfluss des Arbeitsgedächtnisses für beide Antwortmuster identisch halten. Alternativ wäre es auch möglich, ein längeres Zeitintervall zwischen Darbietung und Produktion zu wählen.

7.3 Lassen sich Selektionsprozesse neurophysiologisch nachweisen?

Experiment III untersuchte den neurophysiologischen Einfluss von Selektionsvorgängen mit Hilfe von drei verschiedenen Aufgabenstellungen, in denen der Objektkontext manipuliert wurde. Alle drei Aufgabenstellungen führten zu unterschiedlichen Ergebnissen bei den Sprech- und den EEG-Daten. In den Sprechdaten bestanden signifikante Unterschiede bei den Antwortlatenzen: je komplexer der Objektkontext, desto später erfolgt der Sprechbeginn. Dieser Unterschied zeigte sich auch in den ereigniskorrelierten Potenzialen. Wie auch in den vorigen Experimenten kam es zu einer P300 mit einem Maximum an den zentro-parietalen Elektroden.

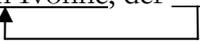
Wesentlich beim dritten Experiment war die Tatsache, dass im Fall der ersten Aufgabenstellung mit dem einfachsten Objektkontext (dN) die Antworten der Probanden unterspezifiziert blieben: sie mussten lediglich die Form nennen, die Farbe hierbei aber ausblenden. So wurde als Stimulus z. B. ein rotes Herz präsentiert, der Proband musste aber lediglich *das Herz* sagen. In dieser Aufgabenstellung kam es zu den meisten nicht korrigierten Fehlern: es fanden sich signifikant mehr unkorrigierte Überspezifikationen, bei denen Probanden zusätzlich das Merkmal Farbe nannten. Für die Überwachung von Fehlern bzw. Aufmerksamkeitsprozessen werden u. a. der postMFC (Ridderinkhof et al., 2004; Barch, Braver, Akbudak et al., 2001) sowie der ACC und DLPFC (dorsolaterale präfrontale Cortex; Hyafil, Summerfield und Koechlin, 2009; Koechlin und Summerfield, 2007; Roelofs et al., 2006) genannt. Eine elektrophysiologische Komponente, die ebenfalls hiermit in Verbindung gebracht wird, ist die so genannte „Error-Related-Negativity“ (ERN). Hierunter wird eine fehlerbezogene Negativierung verstanden, die einen Konflikt zwischen Intention und tatsächlicher Handlung zeigt (Luu und Tucker, 2001). Demgegenüber ist der antMFC vor allem bei Aufgaben involviert, bei denen soziale Interaktion bzw. auch kommunikative Intentionen eine Rolle spielen (siehe Amodio und Frith, 2006, für eine

Metaanalyse). Elektrophysiologisch haben Liu et al. (2004) in einer Studie mit ereigniskorrelierten Potenzialen „false-belief-Aufgabenstellungen“ untersucht. Sie fanden eine erhöhte Amplitude, die sich auf eine Beteiligung des ACC zurückführen lässt.

Insofern deuten die gefundenen eigenen Ergebnisse darauf hin, dass Selektionsprozesse zu unterschiedlichen neurologischen Verarbeitungsprozessen führen. Die Daten stützen daher die Ergebnisse aus bildgebenden Untersuchungen über die Bedeutung frontaler Strukturen für exekutive Funktionen, Perspektivierung und Kontrollfunktionen.

Abschließend sei noch einmal auf die Gemeinsamkeiten zwischen Pronominalisierungen und den hier untersuchten Selektionsprozessen hingewiesen. Pronominalisierungen sind dadurch gekennzeichnet, dass die syntaktischen Oberflächenstrukturen im Vergleich zu den Tiefenstrukturen reduziert sind (Smith, 2000; Clark und Wilkes-Gibbs, 1986; Olson, 1970). Befindet sich ein Ereignis im Fokus aller Beteiligten, wird häufig statt des vollständigen Referenten ein Pronomen verwendet. Hierfür muss das Pronomen semantisch und syntaktisch an einen Antezedenten gebunden sein, der auch als Ko-Referenz bezeichnet wird (Guhde et al., 2004). Während bei einer Nominalisierung das entsprechende Substantiv explizit genannt wird, müssen Sprecher bzw. Hörer im Falle einer Pronominalisierung eine Referenz herstellen zwischen dem Personalpronomen und der dazugehörigen Anapher im Sprachdiskurs (Nieuwland und van Berkum, 2005; Anderson und Holcomb, 2005; Van Berkum, Zwitserlood, Hagoort und Brown, 2003; Van Berkum, Kornneef, Otten und Nieuwland, 2007):

(22) Das ist der Sohn von Ivonne, der so gut sprechen kann.



Lammers, Jansma, Hammer und Münte (2008, 2006) haben für das Sprachverstehen mit ereigniskorrelierten Potenzialen nachgewiesen, dass für die Interpretation solcher Sätze semantisches und syntaktisches Wissen integriert werden muss. Elektrophysiologisch zeigt sich das mit einer N400, gefolgt von einer späteren P600. Habets (2007) hat Pronominalisierungsprozesse für die Sprachproduktion elektrophysiologisch untersucht, indem sie Sätze mit Nominalisierungen und Pronominalisierungen verglich. Probanden produzierten kurze Sätze zu sequenziell präsentierten Abbildungen: *Die Frau fährt Auto, sie liest ein Buch* (Pronominalisierung), oder *Die Frau liest ein Buch, der Mann fährt Auto* (Nominalisierung). Neben einer stärker ausfallenden Negativierung ab etwa 280 ms an den frontalen Elektroden für die die nominalisierten Sätze gab es eine spätere Positivierung an den zentro-parietalen Elektroden. Diese fiel für die Pronominalisierungen höher aus. Habets führt die fronto-zentrale Negativierung auf Arbeitsgedächtnisleistungen zurück,

während sie die spätere zentro–parietale Positivierung mit erhöhten konzeptuellen Aufmerksamkeitsleistungen erklärt, die benötigt werden, um die entsprechende Referenz zum Antezedenten herzustellen.

Damit trat in den Untersuchungen zur Pronominalisierung ein ähnlicher Effekt zutage wie in den Experimenten zur Selektionsspezifität. Insofern kann man sagen, dass in beiden Aufgaben vergleichbare kognitive Prozesse beteiligt sind, die ähnliche Aktivierungsmuster zur Folge haben.

7.4 Zur Bedeutung von Aufmerksamkeitsprozessen innerhalb der Konzeptualisierung

In allen drei Experimenten fanden sich ähnliche Komponenten, nämlich eine Positivierung nach etwa 300 ms, die für die Aufgabenstellungen mit höheren Belastungen an das Arbeitsgedächtnis größer ausfiel. Die Frage ist, ob es sich bei dieser P300 um die direkte Auswirkung konzeptueller Prozesse handelt, oder wurde hierdurch eher der Grad der Aufmerksamkeit bei den jeweiligen konzeptuellen Prozessen abgebildet?

Sprechen als Problemlösungsprozess geschieht mit dem Ziel, Hindernisse bzw. Missverständnisse zu vermeiden bzw. überwinden. Im Idealfall verfügen dabei Sprecher und Hörer über einen gemeinsamen „Common Ground“ (Horton und Keysar, 1996; Levelt, 1989; Mangold und Pobel, 1989; Garrod und Anderson, 1986).

Für die Generierung einer präverbalen Botschaft sind u. a. Fokussierung, Perspektivierung, Aufmerksamkeitskontrolle usw. von Bedeutung. Damit stehen konzeptuelle Prozesse unter der Kontrolle der zentralen Exekutiven, da diese die notwendigen Konsequenzen für die evtl. Initialisierung von Prozessen steuert (Levelt, 1989, Hermann und Grabowski, 1994). Ein Sprecher greift während der konzeptuellen Makroplanung auf kontrollierte kognitive Reserven zurück: er wählt spezifische Informationen aus, strukturiert und linearisiert diese entsprechend (Hagoort und Levelt, 2009; Roelofs, 2008; Hagoort, 2007). Dabei stimmt er seine Perspektive auf die des Gesprächspartners ab, um die Kommunikation zu optimieren und die Verarbeitungsanforderungen entsprechend zu reduzieren („audience design“, Horton, 2007; Metzger und Brennan, 2003).

Dabei sind nicht nur Leistungen des Arbeitsgedächtnisses notwendig, sondern auch deklaratives (semantisches) und prozedurales (grammatisches) Wissen im Langzeitgedächtnis (Ullman, 2004, 2008). Horton (2007) hat gezeigt, dass Sprecher und Hörer dabei in kommunikativen Situationen

partnerspezifisches Wissen nutzen: in einer Benennstudie verkürzten sich die Latenzen signifikant, wenn beide Partner auf ähnliche Gedächtnisinhalte zurückgriffen (siehe auch Horton und Gerrig, 2005; Metzinger und Brennan, 2003). Das legt nahe, dass Prozesse bei der erstmaligen Automatisierung mit bestimmten Gesprächspartnern assoziiert und so als episodisches Wissen langfristig gespeichert werden. Es ist daher möglich, dass eine spezifische Person den Zugriff auf Wortstrukturen erleichtert, bzw. dass jemand sich an eine bestimmte Situation erinnert, sobald er die spezifische Person sieht oder an sie denkt.

Der Fokusspeicher baut entsprechende Informationsstrukturen auf, indem er auf spezifische Wissensstrukturen zugreift, entsprechende Perspektiven einnimmt und Ereignisse linearisiert. Dabei sind Aufmerksamkeits- und Arbeitsgedächtnisleistungen notwendig:

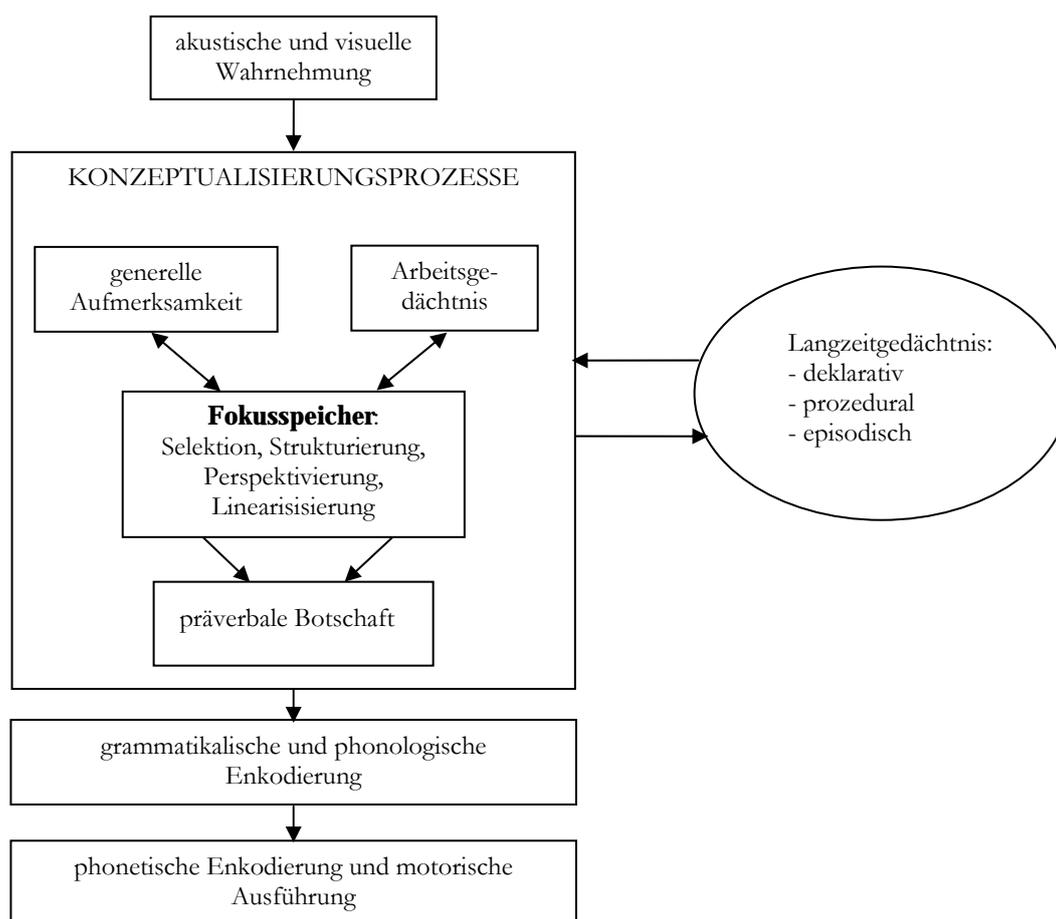


Abb. 25: Zusammenfassende Darstellung der Abläufe innerhalb der Sprachproduktion. Wesentliche Aspekte der angenommenen Konzeptualisierungsprozesse sind dabei abgebildet, alle weiteren Enkodierungsschritte sind der Übersichtlichkeit halber lediglich angedeutet.

Elektrophysiologisch ist die P300 eine generelle Komponente, die mit Aufmerksamkeitsprozessen in Verbindung steht. Aufgrund der breiten Verteilung an der Kopfoberfläche ist die genaue Bestimmung der Generatoren schwierig. Insofern ist es wahrscheinlich, dass unterschiedliche kognitive Prozesse bei der Entstehung der hier gefundenen Komponenten mehr oder weniger stark beteiligt waren.

Arbeitsgedächtnisleistungen sind ein Aspekt, der für die Entstehung einer P300 bzw. P3b diskutiert wird. Donchin und Coles (1988) fassen das mit der „context–updating–Hypothese“ zusammen (siehe auch Diskussion in Kapitel 5): die Repräsentationen des Kurzzeitgedächtnisses müssen aufrechterhalten werden, wenn die aktuelle Diskursvorstellung (Modell der Kommunikationssituation) aktualisiert wird.

Des Weiteren spielen Aufmerksamkeitsaspekte eine Rolle, wobei die Amplitudenausprägung mit der Menge an Aufmerksamkeit korreliert, die einer Aufgabe gewidmet wird. Die P300 fungiert somit als Aufmerksamkeitsindikator und gibt an, wie gut ankommende Informationen verarbeitet und integriert werden (Wickens et al., 1981; Kok, 2001).

Die Latenz der P300 wird als Maß für die Geschwindigkeit interpretiert, mit der die präsentierten Stimuli verarbeitet werden (u. a. McCarthy und Donchin, 1981). In den durchgeführten Studien zeigte sich zwischen den verschiedenen Aufgabenstellungen keine Veränderungen in der Latenz, deutlich sichtbar waren dahingegen Amplitudenunterschiede, die in erster Linie auf die beschriebenen Aufmerksamkeits- und Arbeitsgedächtnisaspekte zurückgeführt werden können.

Ye et al. (2010) haben für die zeitliche Linearisierung ein komplexes linkshemisphärisch organisiertes neuronales Netzwerk aufgezeigt. Dieses besteht aus dem mittleren temporalen Gyrus, dem medialen Gyrus frontalis superior bzw. dem anterioren cingulären Cortex, dem linken mittleren frontalen Gyrus und dem linken angulären Gyrus bzw. dem inferioren Parietallappen.

Von Bedeutung sind auch hier wieder insbesondere frontale Strukturen bzw. die Beteiligung des Arbeitsgedächtnisses bei sprachlichen Leistungen (u. a. Fogelson et al., 2009, Smith und Jonides, 1999). Während frontale Anteile im Wesentlichen das Maß der Aufmerksamkeit steuern und ermöglichen (Roelofs, 2008; Dien et al., 2004), sorgen parietale Anteile dafür, dass Gedächtnisinhalte länger aufrechterhalten werden (Polich, 2007). Läsionsstudien belegen ebenfalls die Bedeutung des frontalen Cortex für Kontroll- und Gedächtnisfunktionen. Beispielsweise zeigen Parkinsonpatienten mit demenziellen Symptomen eine abwesende P3a, die unmittelbar auf die

Intaktheit des Frontallappens zurückgeführt werden kann (Fogelson et al., 2009; Polich, 2007; Zeng et al., 2002). Patienten mit gestörten Exekutivfunktionen und Aphasiepatienten zeigen vergleichbare Leistungen.

Damit ist festzuhalten, dass mit dem beobachteten Effekt der Positivierung der generelle Ressourcenverbrauch innerhalb der Konzeptualisierung abgebildet wurde. Dieser ist in erster Linie auf den veränderten Schwierigkeitsgrad innerhalb der verschiedenen Aufgabenstellungen zurückzuführen.

Ist nun die in den eigenen Experimenten gefundene P300 ein Korrelat für Konzeptualisierungsprozesse? Insbesondere die Ergebnisse des zweiten Experiments sowie die aktuellen Daten von Ye et al. (2010) sprechen dafür, dass Unterschiede in der Konzeptualisierung aufgezeigt werden konnten. Interessanter ist aber, sich zu vergegenwärtigen, welche Prozesse Einfluss auf die Konzeptualisierungsschritte haben. Die Diskussion um die P600 hat gezeigt, dass es wahrscheinlich nicht hilfreich ist, nur von isolierten linguistischen Prozessen zu sprechen. Aus was besteht ein syntaktischer Prozess, wie würde man ihn definieren? Eine EKP-Komponente kann nicht mit einzelnen linguistischen Aspekten gleichgesetzt werden, da beispielsweise Syntax aus mehr als einem Verarbeitungsprozess besteht (Poeppl und Embick, 2005). Bezogen auf die Untersuchungsfrage dieser Arbeit ist es daher wenig hilfreich, von spezifischen linguistisch-konzeptuellen Komponenten zu sprechen, da diese Betrachtungsweise zu grob wäre. Aufschlussreicher dürfte sein, spezifische ausgewählte Prozesse auf einer kleinschrittigen Ebene zu untersuchen. Notwendig sind daher weitere Studien, die die innerhalb der Konzeptualisierung beteiligten Subprozesse und damit verwandte Prozesse detailliert beschreiben.

7.5 Ausblick: Konzeptualisierungsprozesse und EKPs

Mit den durchgeführten Experimenten wurden Konzeptualisierungsprozesse mit Hilfe ereigniskorrelierter Potenziale untersucht. Da hierbei relatives Neuland betreten wurde, war es schwierig, vorab konkrete Hypothesen aufzustellen und Untersuchungsparadigmen zu entwickeln. Die Experimente sind daher als Versuch zu sehen, sich den komplexen kognitiven Zusammenhängen zu nähern. Prinzipiell konnte gezeigt werden, dass auch die Generierung komplexer sprachlicher Äußerungen neurophysiologisch untersucht werden kann. Post hoc könnten allerdings verschiedene methodologische Aspekte für zukünftige Studien optimiert werden bzw. andere Aspekte untersucht werden, um auf diese Weise die gewonnenen Ergebnisse zu replizieren und zu präzisieren.

Bei den Ergebnissen der Experimente I und III ist der konfundierende Faktor der syntaktischen Komplexität zu berücksichtigen. Um diesen Aspekt in Folgestudien auszuschließen, sollte ein Studiendesign entwickelt werden, das die syntaktische Komplexität der unterschiedlichen Antworten möglichst gleich hält. So könnte man den Einfluss der Perspektive auf die Generierung syntaktischer Strukturen untersuchen, z. B. indem Probanden entweder eine aktive oder eine passive Konstruktion generieren müssen (*Ball – Kind – werfen* versus *Kind – werfen – Ball*) (siehe z. B. Haller et al., 2005, Bock et al., 1992, für die Beschreibung möglicher methodischer Vorgehensweisen). Negativ wäre aber auch hier wieder anzumerken, dass sich die Zielantworten syntaktisch unterschieden. Alternativ könnte man die Belebtheit der beteiligten Personen bzw. Objekte manipulieren (siehe z. B. van Nice und Dietrich (ohne Jahresangabe); Onishi, Murphy und Bock, 2008; Fox Tree und Meijer, 1999) oder auch die Prototypikalität von Begriffen bzw. den semantischen Informationsgehalt von Verben (z. B. *Kuchen machen* versus *backen*) (Fox Tree und Meijer, 1999).

Verschiedene Patientenpopulationen (z. B. Parkinson- und Aphasiepatienten) sind beschrieben, die mit den untersuchten Prozessen ebenfalls Schwierigkeiten haben (z. B. Papathanasiou et al., 1991; Havet–Thomassin, 2006; Tompkins et al., 1994). Es wäre daher interessant zu sehen, ob die genutzten Methoden geeignet sind, um entsprechende Patientenpopulationen zu untersuchen. Die gewonnenen neurophysiologischen Daten könnten dann mit den Läsionsdaten kombiniert und letztendlich therapeutisch genutzt werden.

Die Einnahme einer spezifischen Perspektive spielt innerhalb des Aufbaus konzeptueller Strukturen eine wesentliche Rolle (siehe u. a. Samson et al., 2005). Daher würde die genauere

Beschreibung des Zusammenhangs zwischen Selektionsvorgängen bzw. dem Einnehmen einer bestimmten Perspektive einerseits und klassischen ToM-Fähigkeiten andererseits evtl. auch dazu beitragen, Konzeptualisierungsprozesse genauer zu spezifizieren. Erwartet würde auch hier wieder, dass bestimmte Patientengruppen (z. B. AHDS, Autismus, SHT) ähnliche Beeinträchtigungen in beiden Aufgaben zeigten.

Zum Schluss bleibt zu sagen, dass die Konzeptualisierung ein hoch komplexer Prozess ist, der in der vorliegenden Arbeit nur ansatzweise untersucht werden konnte. Verschiedene mögliche weitere Einflussfaktoren (siehe oben) blieben unbeachtet. Weitere Experimente sind daher sinnvoll, um das vorhandene Wissen über den Prozess der Konzeptualisierung zu vertiefen und neue Erkenntnisse zu gewinnen.

Kapitel 8: Zusammenfassung

In dieser Dissertation geht es um konzeptuelle Prozesse innerhalb der Sprachproduktion auf der Grundlage des Modells von Levelt (1989, 1999). Ziel ist es, diese mit Hilfe von ereignis-korrelierten Potenzialen neurophysiologisch näher zu untersuchen. Nach Levelt besteht die Konzeptualisierung aus zwei Phasen, die sich zeitlich überlappen können: Während der Makroplanung überlegt der Sprecher, was er sagen möchte. Im folgenden Schritt der Mikroplanung entscheidet er, mit welchen Mitteln er den Sprechakt gestaltet.

In insgesamt drei Experimenten beschreiben gesunde Probanden visuell dargebotene Stimuli, wobei unterschiedliche Aspekte innerhalb der Makroplanung untersucht werden. Experiment I untersucht den Einfluss der konzeptuellen Komplexität auf die Satzplanung. In Experiment II werden Linearisierungsprozesse bei der zeitlichen Anordnung von Ereignissequenzen näher betrachtet, während Experiment III sich mit Selektionsprozessen bei Bildbeschreibungen beschäftigt.

Analysiert werden die Sprech- und die EEG-Daten. In den Sprechdaten zeigen sich z. T. signifikante Unterschiede zwischen den untersuchten Aufgabenstellungen. Elektrophysiologisch findet sich in allen Experimenten eine Positivierung an den zentro-parietalen Elektroden ab 300 ms, eine so genannte P300. Diese Komponente kann mit erhöhten Aufmerksamkeitsanforderungen begründet werden. Dabei korreliert das Amplitudenausmaß der Positivierung mit den jeweiligen Anforderungen bzw. dem Schwierigkeitsgrad.

Außerdem findet sich eine frühe Negativierung mit einem Maximum an den frontalen Elektroden, was für eine Beteiligung des Arbeitsgedächtnisses in den verschiedenen Aufgabenstellungen spricht. Hierbei sind u. a. Aufmerksamkeitsaspekte von Bedeutung, die innerhalb der Konzeptualisierung entsprechend koordiniert werden.

Die Ergebnisse werden vor dem Hintergrund aktueller Befunde aus der funktionellen Bildgebung, Patientenstudien sowie elektrophysiologischen Studien diskutiert. Abschließend werden Ausblicke in Bezug auf weitere mögliche Studien gegeben.

Bibliographie

- Aitchison, J. (1998). *Words in the mind. An introduction to the mental lexicon*. Blackwell Publishers Ltd., Oxford.
- Amidon, A. u. Carey, P. (1975). Why five-year-olds can't understand "before" and "after". *Journal of Verbal Learning and Verbal Behaviour*, 11, 417-423.
- Amodio, D. M. u. Frith, C. D. (2006). Meeting of minds: the medial frontal cortex and social cognition. *Nature Reviews Neuroscience*, 7, 268-276.
- Anderson, J. E. u. Holcomb, P. (2005). An electrophysiological investigation of the effects of coreference on word repetition and synonymy. *Brain and Language*, 94(2), 200-216.
- Ansell, B. J. u. Flowers, C. R. (1982). Aphasic adults' use of heuristic and structural linguistic cues for sentences analysis. *Brain and Language*, 16, 61-72.
- Astington, J. u. Jenkins, J. M. (1999). A longitudinal study between the relation of language and Theory-of-Mind development. *Developmental Psychology*, 35(5), 1311-1320.
- Baayen, R. H.; Piepenbrock, R. u. van Rijn, H. (1993). *The CELEX Lexical Data Base*. Linguistic Data Consortium, University of Pennsylvania, Philadelphia.
- Baddeley, A. (1996). Exploring the central executive. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 49(1), 5-28.
- Baddeley, A. (2000). The episodic buffer: a new component of working memory? *Trends in Cognitive Neuroscience*, 4(11), 417-423.
- Baddeley, A. (2003). Working memory: looking back and looking forward. *Nature Reviews Neuroscience*, 4, 829-839.
- Baddeley, A. u. Hitch, G. (1974). Working memory. *Psychology of Learning and Motivation*, 8, 47-89.
- Badre, D. u. Wagner, A. D. (2005). Frontal lobe mechanisms that resolve proactive interference. *Cerebral Cortex*, 15, 2003-2012.
- Badre, D. u. Wagner, A. D. (2007). Left ventrolateral prefrontal cortex and the cognitive control of memory. *Neuropsychologia*, 45, 2883-2901.
- Barch, D. M.; Braver, T. S.; Akbudak, E.; Conturo, T.; Ollinger, J. u. Snyder, A. (2001). Anterior cingulate cortex and response conflict: effects of response modality and processing domain. *Cerebral Cortex*, 11(9), 837-848.
- Baron-Cohen, S. (2001). Theory of mind in normal development and autism. *Prisme*, 34, 174-183.
- Berg, T. u. Schade, U. (1992). The role of inhibition in a spreading-activation model of language production. I. The psycholinguistic perspective. *Journal of Psycholinguistic Research*, 21(6), 405-434.
- Bird, C. M.; Castelli, F.; Malik, O.; Frith, U. u. Husain, M. (2004). The impact of extensive medial frontal lobe damage on "Theory of mind" and cognition. *Brain*, 127, 914-928.
- Blackmer, E. R. u. Mitton, J. L. (1991). Theories of monitoring and the timing of repairs in spontaneous speech. *Cognition*, 39, 173-194.
- Blank, S. C.; Scott, S. K.; Murphy, K.; Warburton, E. u. Wise, R. J. S. (2002). Speech production: Wernicke, Broca, and beyond. *Brain*, 125, 1829-1838.
- Bloom, P. N. (2000). *How children learn the meanings of words*. MIT Press, Cambridge, Massachusetts.

- Bloom, P. N. (2002). Mindreading, communication, and learning the names for things. *Journal of Mind and Language*, 17(1&2), 37-54.
- Bock, K. (1995). Sentence production: from mind to mouth. In: J. L. Miller u. P. D. Eimas (Hrsg.), *Handbook of Perception and Cognition. Vol. II: Speech, Language, and Communication.*, 181-216. Academic Press, Orlando, Florida.
- Bock, K.; Konopka, A. u. Middleton, E. (2006). Spoken language production: psycholinguistic approach. In: K. Brown (Hrsg.) *Encyclopedia of Language and Linguistics.*, Vol. 12), 103-112. Elsevier, Oxford.
- Bock, K.; Loebell, H. u. Murray, R. (1992). From conceptual roles to structural relations: bridging the syntactic cleft. *Psychological Review*, 99(1), 150-171.
- Braun, A. R.; Guillemin, L. H. u. Varga, M. (2001). The neural organization of discourse: an H₂¹⁵O- PET study of narrative production of American and English sign language. *Brain*, 124, 2028-2044.
- Brown, C. M. u. Hagoort, P. (Hrsg.). (2003). *The Neurocognition of Language*. Oxford University Press, Oxford.
- Butterworth, B. (1980). *Language production*. Academic Press, London.
- Caplan, D. (2001). Functional neuroimaging studies of syntactic processing. *Journal of Psycholinguistic Research*, 30(3), 297-320.
- Caplan, D. u. Waters, G. S. (1999). Verbal working memory and sentence comprehension. *Behavioral and Brain Sciences*, 22, 77-126.
- Caramazza, A. (1997). How many levels of processing are there in lexical access? *Cognitive Neuropsychology*, 14(1), 177-208.
- Caramazza, A. u. Miozzo, M. (1997). The relation between syntactic and phonological knowledge in lexical access: evidence from the 'tip-of-the-tongue' phenomenon. *Cognition*, 64, 309-343.
- Caramazza, A. u. Zurif, E. B. (1976). Dissociations of algorithmic and heuristic processes in language comprehension: evidence from aphasia. *Brain and Language*, 3, 572-582.
- Carroll, M.; von Stutterheim, C. u. Nüse, R. (2004). The *language and thought* debate: a psycholinguistic approach. In: T. Pechmann u. C. Habel (Hrsg.), *Trends in Linguistics: Multidisciplinary approaches to language production.*, 183-218. De Gruyter, Berlin.
- Caspari, I. u. Parkinson, S. R. (2005). Effects of memory impairments on discourse. *Journal of Neurolinguistics*, 13, 15-36.
- Chen, J. M.; Fissel, K.; Jacobs, S. u. Fiez, J. A. (2002). Functional heterogeneity within Broca's area during verbal working memory. *Physiology and Behavior*, 77, 635-639.
- Cholin, J.; Levelt, W. J. M. u. Schiller, N. O. (2006). Effects of syllable frequency in speech production. *Cognition*, 99, 205-235.
- Clark, E. V. (1971). On the acquisition of the meaning of before and after. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behaviour*, 10, 266-275.
- Clark, E. V. (1973). How children describe time and order. In: C. A. Ferguson u. D. I. Slobin (Hrsg.), *Studies of Child Language Development*, 585-606. Holt, Rinehart & Winston, New York.
- Clark, E. V. (1997). Conceptual perspective and lexical choice in acquisition. *Cognition*, 64, 1-37.

- Clark, E. V. u. Svaib, T. A. (1997). Speaker perspective and reference in young children. *First Language*, 17, 57-74.
- Clark, H. H. u. Clark, E. V. (1977). *Psychology and Language: an Introduction to Psycholinguistics*. Harcourt Brace Jovanovich, New York.
- Clark, H. H. u. Fox Tree, J. E. (2002). Using *uh* and *um* in spontaneous speaking. *Cognition*, 84, 73-111.
- Clark, H. H. u. Wilkes-Gibbs, D. (1986). Referring as a collaborative process. *Cognition*, 22, 1-39.
- Cohen, G. u. Faulkner, D. (1986). Does 'elderspeak' work? The effect of intonation and stress on comprehension and recall of spoken discourse in old age. *Language and Communication*, 6(1/2), 91-98.
- Connolly, J. F.; D'Arcy, R. C. N.; Newmann, R. L. u. Kemps, R. (2000). The application of cognitive event-related brain potentials (ERPs) in language-impaired individuals: review and case studies. *International Journal of Psychophysiology*, 38, 55-70.
- Connor, L. T.; MacKay, A. J. u. White, D. A. (2000). Working memory: a foundation for executive abilities and higher-order cognitive skills. *Seminars in Speech and Language*, 21(2), 109-119.
- Costa, A.; Caramazza, A. u. Sebastian-Galles, N. (2000). The cognate facilitation effect: Implications for models of lexical access. *Journal of experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 26(5), 1283-1296.
- Coulson, S.; King, J. W. u. Kutas, M. (1998). ERPs and domain specificity: beating a straw horse. *Language and Cognitive Processes*, 13(6), 653-672.
- Coulson, S.; King, J. W. u. Kutas, M. (1998). Expect the unexpected: event-related brain response to morphosyntactic violations. *Language and Cognitive Processes*, 13(1), 21-58.
- Daffner, K. R.; Mesulam, M. M.; Scinto, L. F. M.; Acar, D.; Calvo, V.; Faust, R. et al. (2000). The central role of the prefrontal cortex in directing attention to novel events. *Brain*, 123, 927-939.
- De Boysson-Bardies, B. u. Vihman, M. M. (1991). Adapting to language: evidence from babbling and first words in four languages. *Language*, 67(2), 297-319.
- De Villiers, J. (2007). The interface of language and Theory of Mind. *Lingua*, 117, 1858-1878.
- Dell, G. S.; Chang, F. u. Griffin, Z. M. (1999). Connectionist models of language production: lexical access and grammatical encoding. *Cognitive Science*, 23(4), 517-542.
- Dell, G. S. u. O'Seaghdha, P. G. (1992). Stages of lexical access in language production. *Cognition*, 42, 287-314.
- Demonét, J.-F.; Price, C.; Wise, R. u. Frackowiak, R. S. J. (1994). A PET study of cognitive strategies in normal subjects during language tasks: influence of phonetic ambiguity and sequence processing on phoneme monitoring. *Brain*, 117, 671-682.
- Deutsch, W. u. Pechmann, T. (1982). Social interaction and the development of definite descriptions. *Cognition*, 11, 159-184.
- Dien, J.; Spencer, K. M. u. Donchin, E. (2004). Parsing the late positive complex: mental chronometry and the ERP components that inhabit the neighborhood of the P300. *Psychophysiology*, 41, 665-678.
- Donchin, E. (1981). Presidential address 1980. Surprise? ... Surprise! *Psychophysiology*, 18(5), 493-513.

- Donchin, E. u. Coles, M. G. H. (1988). Is the P300 component a manifestation of context updating? *Behavioral and Brain Sciences*, 11(3), 355-425 (einschließlich Kommentaren).
- Donchin, E.; Ritter, W. u. MacCallum, W. C. (1978). Cognitive psychophysiology: the endogenous components of the ERP. In: E. Callaway; P. Tueting u. S. Koslow (Hrsg.), *Brain Event-Related Potentials in Man*, 349-441. Academic Press, New York.
- Dronkers, N. F. (1996). A new brain region for coordination speech articulation. *Nature*, 384, 159-161.
- Duncan-Johnson, C. C. u. Donchin, E. (1982). The P300 component of the event-related brain potential as an index of information processing. *Biological Psychology*, 14, 1-52.
- Duong, A. u. Ska, B. (2002). Production of narratives: picture sequence facilitates organizational but not conceptual processing in less educated subjects. *Brain and Cognition*, 46, 121-124.
- Ehrlich, J. S.; Obler, L. K. u. Clark, L. (1997). Ideational and semantic contributions to narrative production in adults with dementia of the Alzheimer's type. *Journal of Communication Disorders*, 30, 79-99.
- Elbers, L. (1982). Operating principles in repetitive babbling: a cognitive continuity approach. *Cognition*, 12, 45-63.
- Eulitz, C.; Hauk, O. u. Cohen, R. (2000). Electroencephalographic activity over temporal brain areas during phonological encoding in picture naming. *Clinical Neurophysiology*, 111, 2088-2097.
- Favart, M. u. Coirier, P. (2006). Acquisition of the linearization process in text composition in third to ninth graders: effects of textual superstructure and macrostructural organization. *Journal of Psycholinguistic Research*, 35, 305-338.
- Feagans, L. (1980). How to make sense of temporal/spatial 'before' and 'after'. *Journal of Child Language*, 7, 529-537.
- Ferreira, F. u. Henderson, J. M. (1998). Linearization strategies during language production. *Memory and Cognition*, 26(1), 88-96.
- Ferreira, F. u. Smets, B. (2002). How incremental is language production? Evidence from the production of utterances requiring the computation of arithmetic sums. *Journal of Memory and Language*, 46(1), 57-84.
- Fine, C.; Lumsden, J. u. Blair, J. R. J. (2001). Dissociations between 'theory of mind' and executive functions in a patient with early left amygdala damage. *Brain*, 124, 287-298.
- Fletcher, P. C.; Happ, F.; Frith, U.; Baker, S. C.; Dolan, R. J.; C., F. R. S. et al. (1995). Other minds in the brain: a functional imaging study of "theory of mind" in story comprehension. *Cognition*, 57, 109-128.
- Fogelson, N.; Shah, M.; Scabini, D. u. Knight, R. T. (2009). Prefrontal cortex is critical for contextual processing: evidence from brain lesions. *Brain*, 132, 3002-3010.
- Ford, W. u. Olson, D. (1975). The elaboration of the noun phrase in children's descriptions of objects. *Journal of Experimental Child Psychology*, 19, 371-382.
- Fox Tree, J. E. u. Clark, H. H. (1997). Pronouncing "the" as "thee" to signal problems in speaking. *Cognition*, 62, 151-167.
- Fox Tree, J. E. u. Meijer, P. J. A. (1999). Building syntactic structure in speaking. *Journal of Psycholinguistic Research*, 28(1), 71-92.

- French, L. A. u. Brown, A. L. (1977). Comprehension of *before* and *after* in logical and arbitrary sequences. *Journal of Child Language*, 4, 247-256.
- Friederici, A. D. (1995). Language processing: a model based on neuropsychological and neurophysiological data. *Brain and Language*, 50, 259-281.
- Friederici, A. D. u. Kotz, S. A. (2003). The brain basis of syntactic processes: functional imaging and lesion studies. *NeuroImage*, 20, 8-17.
- Friederici, A. D.; Steinhauer, K.; Mecklinger, A. u. Meyer, M. (1998). Working memory constraints on syntactic resolution as revealed by electrical brain responses. *Biological Psychology*, 47, 193-221.
- Frisch, S.; Kotz, S. A.; von Cramon, Y. D. u. Friederici, A. D. (2003). Why the P600 is not just a P300: the role of the basal ganglia. *Clinical Neurophysiology*, 114, 336-340.
- Fromkin, V. (1971). The non-anomalous nature of anomalous utterances. *Language*, 47(1), 27-52.
- Gallagher, H. L.; Jack, A. I.; Roepstorff, A. u. Frith, C. D. (2002). Imaging the intentional stance in a competitive game. *NeuroImage*, 16, 814-821.
- Garrett, M. (1992). Disorders of lexical selection. *Cognition*, 42, 143-180.
- Garrett, M. F. (1988). Processes in language production. In: F. J. Newmeyer (Hrsg.) *Linguistics: The Cambridge Survey*, Vol. III: Language: Psychological and Biological Aspects, 133-175. Cambridge University Press, Cambridge.
- Garrod, S. u. Anderson, A. (1987). Saying what you mean in dialogue: a study in conceptual and semantic co-ordination. *Cognition*, 27, 181-218.
- Glaser, W. R. (1992). Picture naming. *Cognition*, 42, 61-105.
- Glucksberg, S.; Krauss, R. M. u. Weisberg, R. (1966). Referential communication in nursery school children: method and some preliminary findings. *Journal of Experimental Child Psychology*, 3, 333-342.
- Goldman-Eisler, F. (1973). *Psycholinguistics: Experiments in Spontaneous Speech* (2. Ausgabe ed.). Academic Press, London.
- Golinkoff, R. M. (1993). When is communication a "meeting of minds"? *Journal of Child Language*, 20, 199-207.
- Good, D. A. u. Butterworth, B. (1980). Hesitancy as a conversational resource: some methodological implications. In: H.-W. Dechert u. M. Raupach (Hrsg.), *Temporal Variables in Speech: Studies in Honour of Frieda Goldman-Eisler*. Mouton, Den Haag.
- Gorrell, P.; Crain, S. u. Fodor, J. D. (1989). Contextual information and temporal terms. *Journal of Child Language*, 16, 623-632.
- Grice, H. P. (1979). Logik und Konversation. In: G. Meggle (Hrsg.) *Handlung, Kommunikation, Bedeutung*, 243-265. Suhrkamp, Frankfurt am Main.
- Grimm, H. (2003). *Störungen der Sprachentwicklung: Grundlagen - Ursachen - Diagnose*. Hogrefe, Göttingen.
- Grossman, M.; Kalmanson, J.; Bernhardt, N.; Morris, J.; Stern, M. B. u. Hurtig, H. I. (2000). Cognitive resource limitations during sentence comprehension in Parkinson's Disease. *Brain and Language*, 73, 1-16.

- Guhde, M.; Habel, C. u. Tschander, L. (2004). Incremental generation of interconnected preverbal messages. In: T. Pechmann u. C. Habel (Hrsg.), *Interdisciplinary Approaches to Language Production*, 7-52. De Gruyter, Berlin.
- Gunter, T. C.; Stowe, L. A. u. Mulder, G. (1997). When syntax meets semantics. *Psychophysiology*, 34, 660-676.
- Habets, B. (2007). *Neural Processes Underlying Conceptualisation in Language Production*. unveröffentlichte Promotionsschrift, Otto-von-Guericke-Universität, Magdeburg.
- Habets, B.; Jansma, B. M. u. Münte, F. M. (2008). Neurophysiological correlates of linearization in language production. *BMC Neuroscience*, 9(77).
- Hagoort, P. (2003). How the brain solves the binding problem for language: a neurocomputational model for syntactic processing. *NeuroImage*, 20, 18-29.
- Hagoort, P. (2005). On Broca, brain, and binding: a new framework. *Trends in Cognitive Sciences*, 9(9), 416-423.
- Hagoort, P.; Brown, C. M. u. Groothusen, J. (1993). The syntactic positive shift (SPS) as an ERP measure of syntactic processing. *Language and Cognitive Processes*, 8(4), 439-483.
- Hagoort, P.; Brown, C. M. u. Osterhout, L. (1999). The neurocognition of syntactic processing. In: C. M. Brown u. P. Hagoort (Hrsg.), *The Neurocognition of Language*, 273-316. Oxford University Press, Oxford.
- Hagoort, P.; Hald, L.; Bastiaansen, M. u. Peterson, K. M. (2004). Integration of word meaning and world knowledge in language comprehension. *Science*, 304, 438-441.
- Hagoort, P. u. Levelt, W. J. M. (2009). The speaking brain. *Science*, 326, 372-373.
- Haller, S.; Radue, E. W.; Erb, M.; Grodd, W. u. Kircher, T. (2005). Overt sentence production in event-related fMRI. *Neuropsychologica*, 43, 807-814.
- Happé, F.; Brownell, H. u. Winner, E. (1999). Acquired 'theory of mind' impairments following stroke. *Cognition*, 70, 211-240.
- Harley, T. A. (1984). A critique of top down independent levels models of speech production: evidence from non-plan internal speech errors. *Cognitive Science*, 8, 191-218.
- Harris Wright, H. u. Shisler, R. J. (2005). Working memory in aphasia: theory, measures, and clinical implications. *American Journal of Speech and Language Pathology*, 14, 107-118.
- Härting, C.; Markowitsch, H. J.; Neufeld, H.; Calabrese, P.; Deisinger, K. u. Kessler, J. (2000). Wechsler Gedächtnis Test - Revidierte Fassung (WMS-R). Huber Verlag, Bern.
- Hauk, O.; Rockstroh, B. u. Eulitz, C. (2001). Grapheme monitoring in picture naming: an electrophysiological study of language production. *Brain Topography*, 14(1), 3-13.
- Havet-Thomassin, V.; Allain, P.; Etcharry-Bouyx, F. u. Le Gall, D. (2006). What about theory of mind after severe brain injury? *Brain Injury*, 20(1), 83-91.
- Heim, S.; Opitz, B. u. Friederici, A. D. (2002). Broca's area in the human brain is involved in the selection of grammatical gender for language production: evidence from event-related functional magnetic resonance imaging. *Neuroscience Letters*, 328, 101-104.
- Herrmann, T. u. Deutsch, W. (1976). *Psychologie der Objekterkennung*. Huber Verlag, Bern.
- Herrmann, T. u. Grabowski, J. (1994). *Sprechen. Psychologie der Sprachproduktion*. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, Berlin, Oxford.

- Hickok, G. (2001). Functional anatomy of speech perception and speech production: psycholinguistic implications. *Journal of Psycholinguistic Research*, 30(3), 225-235.
- Horton, W. S. (2007). The influence of partner-specific memory associations in language production: Evidence from picture naming. *Language and Cognitive Processes*, 22(7), 1114-1139.
- Horton, W. S. u. Gerrig, R. J. (2005). The impact of memory demands on audience design during language production. *Cognition*, 96, 127-142.
- Horton, W. S. u. Keysar, B. (1996). When do speakers take into account common ground? *Cognition*, 59, 91-117.
- Howarth, B. u. Anderson, A. H. (2006). Introducing objects in spoken dialogue: the influence of conversational setting and cognitive load on the articulation and use of referring expressions. *Language and Cognitive Processes*, 22(2), 272-296.
- Huynh, H. u. Feldt, L. A. (1980). Conditions under which mean square ratios in repeated measure designs have exact F-distributions. *Journal of the American Statistical Association*, 65, 1582-1589.
- Hyafil, A.; Summerfield, C. u. Koechlin, E. (2009). Two mechanisms for task switching in the prefrontal cortex. *The Journal of Neuroscience*, 19(16), 5135-5142.
- Indefrey, P.; Brown, C. M.; Hellwig, F.; Amunts, K.; Herzog, H.; Seitz, R. J. et al. (2001). A neural correlate of syntactic encoding during speech production. *PNAS*, 98(10), 5933-5936.
- Indefrey, P.; Hellwig, F.; Herzog, H.; Seitz, R. J. u. Hagoort, P. (2004). Neural responses to the production and comprehension of syntax in identical utterances. *Brain and Language*, 89, 312-319.
- Indefrey, P. u. Levelt, W. J. M. (2000). The neural correlates of language production. In: M. Gazzaniga (Hrsg.) *The New Cognitive Neurosciences*, 845-865. MIT Press, Cambridge, Massachusetts.
- Indefrey, P. u. Levelt, W. J. M. (2004). The spatial and temporal signatures of word production components. *Cognition*, 92, 101-141.
- Jansma, B. M.; Rodriguez-Fornells, A.; Möller, J. u. Münte, T. F. (2004). Electrophysiological studies of speech production. In: T. Pechmann u. C. Habel (Hrsg.), *Trends in Linguistics. Multidisciplinary Approaches to Language Production*, 361-395. De Gruyter, Berlin.
- Jescheniak, J. D. (2002). *Sprachproduktion. Der Zugriff auf das lexikale Gedächtnis beim Sprechen* (Vol. 12). Hogrefe Verlag für Psychologie, Göttingen, Bern, Toronto, Seattle.
- Jescheniak, J. D. u. Levelt, W. J. M. (1994). Word frequency effect in speech production: retrieval of syntactic information and of phonological form. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 20(4), 824-843.
- Johnson, H. L. (1975). The meaning of *before* and *after* for preschool children. *Journal of Experimental Child Psychology*, 19, 88-99.
- Johnson, R. J. (1986). The triarchic model of P300 amplitude. *Psychophysiology*, 24(4), 367-384.
- Johnson, R. J. (1988). Scalp-recorded P300 activity in patients following unilateral temporal lobectomy. *Brain*, 111, 1517-1529.
- Johnson, R. J. (1993). On the neural generators of the P300 component of the event-related potential. *Psychophysiology*, 30, 90-97.
- Joyce, C. A.; Gorodnitsky, I. F. u. Kutas, M. (2004). Automatic removal of eye movement and blink artifacts from EEG data using blind component separation. *Psychophysiology*, 41(2), 313-325.

- Kaan, E. (2007). Event related potentials and language processing: a brief overview. *Language and Linguistics Compass*, 1(6), 571-591.
- Kaan, E.; Harris, A.; Gibson, E. u. Holcomb, P. (2000). The P600 as an index of syntactic integration difficulty. *Language and Cognitive Processes*, 15(2), 159-201.
- Karmiloff, K. u. Karmiloff-Smith, A. (2002). *Pathways to Language. From Fetus to Adolescent*. Harvard University Press, Harvard.
- Kavanaugh, R. (1979). Observations on the role of logically constrained sentences in the comprehension of 'before' and 'after'. *Journal of Child Language*, 6, 353-357.
- Keller-Cohen, D. (1987). Context and strategy in acquiring temporal connectives. *Journal of Psycholinguistic Research*, 16(2), 165-183.
- Kempen, G. u. Hoenkamp, E. (1987). An incremental procedural grammar for sentence formulation. *Cognitive Science*, 11, 201-258.
- Kempen, G. u. Huijbers, P. (1983). The lexicalization process in sentence production and naming: indirect election of words. *Cognition*, 14(2), 185-209.
- King, J. W. u. Kutas, M. (1995). Who did what and when? Using word- and clause-level ERPs to monitor working memory usage in reading. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 7(3), 376-395.
- Kircher, T. T. J.; Brammer, M. J.; Levelt, W. J. M.; Bartels, M. u. McGuire, P. K. (2004). Pausing for thought: engagement of left temporal cortex during pauses in speech. *NeuroImage*, 21, 84-90.
- Klabunde, R. u. Glatz, D. (2004). On the production of focus. In: T. Pechmann u. C. Habel (Hrsg.), *Multidisciplinary Approaches to Language Production*, 117-138. De Gruyter, Berlin.
- Koechlin, E.; Ody, C. u. Kouneiher, F. (2003). The architecture of cognitive control in the human prefrontal cortex. *Science*, 302, 1181-1185.
- Koechlin, E. u. Summerfield, C. (2007). An information theoretical approach to prefrontal executive function. *Trends in Cognitive Neuroscience*, 11(6), 229-235.
- Kok, A. (2001). On the utility of P3 amplitude as a measure of processing capacity. *Psychophysiology*, 38, 557-577.
- Kotz, S. A. u. Friederici, A. D. (2003). Electrophysiology of normal and pathological language processing. *Journal of Neurolinguistics*, 16, 43-58.
- Kotz, S. A.; Frisch, S.; von Cramon, Y. D. u. Friederici, A. D. (2003). Syntactic language processing: ERP lesion data on the role of the basal ganglia. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 9, 1053-1060.
- Kutas, M. u. Donchin, E. (1980). Preparation to respond as manifested by movement-related brain potentials. *Brain Research*, 202, 95-115.
- Kutas, M.; Federmeier, K. D. u. Sereno, M. I. (1999). Current approaches to mapping language in electromagnetic space. In: C. M. Brown u. P. Hagoort (Hrsg.), *Neurocognition of Language*, 359-392. Oxford University Press, New York.
- Kutas, M. u. Hillyard, S. A. (1980). Reading senseless sentences: Brain potentials reflect semantic incongruity. *Science*, 207, 203-205.
- Kutas, M.; McCarthy, G. u. Donchin, E. (1977). Augmenting mental chronometry: The P300 as a measure of stimulus evaluation time. *Nature*, 197, 792-795.

- Kutas, M. u. van Petten, C. K. (1994). Psycholinguistics electrified: Event-related brain potential investigations. In: M. A. Gernbacher (Hrsg.) *Handbook of Psycholinguistics*, 83-143. Academic Press, San Diego.
- Kutas, M.; van Petten, C. K. u. Kluender, R. (2006). Psycholinguistics electrified II (1994-2005). In: M. A. Gernbacher u. M. Traxler (Hrsg.), *Handbook of Psycholinguistics*, 2. Ausgabe ed., 659-724. Elsevier, New York.
- La Heij, W.; Happel, B. u. Mulder, M. (1990). Components of stroop-like interference in word reading. *Acta Psychologica*, 73, 115-129.
- Lambon Ralph, M. A.; Pobric, G. u. Jefferies, E. (2009). Conceptual knowledge is underpinned by the temporal pole bilaterally: convergent evidence from rTMS. *Cerebral Cortex*, 19, 832-838.
- Lamers, M.; Jansma, B. M.; Hammer, A. u. Münte, T. F. (2006). Neural correlates of semantic and syntactic processes in the comprehension of case marked pronouns: Evidence from German and Dutch. *BMC Neuroscience*, 7(23).
- Lamers, M.; Jansma, B. M.; Hammer, A. u. Münte, T. F. (2008). Differences in the processing of anaphoric reference between closely related languages: neurophysiological evidence. *BMC Neuroscience*, 9(55).
- Leuninger, H. (2001). *Reden ist Schweigen, Silber ist Gold. Gesammelte Versprecher*. Deutscher Taschenbuchverlag, München.
- Levelt, C. C.; Schiller, N. O. u. Levelt, W. J. M. (1999). A developmental grammar for syllable structure in the production of child language. *Brain and Language*, 68, 291-299.
- Levelt, W. J. M. (1981). The speaker's linearization problem. *Phil. Trans. R. Soc. London*, 295, 305-315.
- Levelt, W. J. M. (1982). Linearization in describing spatial networks. In: S. Peters u. E. Saarinen (Hrsg.), *Processes, Beliefs and Questions. Essays on Formal Semantics of Natural Language and Natural Language Processing*, 199-220. Reidel, Dordrecht.
- Levelt, W. J. M. (1983). Monitoring and self-repair in speech. *Cognition*, 14, 41-104.
- Levelt, W. J. M. (1989). *Speaking: from intention to articulation*. MIT Press, Cambridge, Massachusetts.
- Levelt, W. J. M. (1992). Accessing words in speech production: stages, processes and representations. *Cognition*, 42, 1-22.
- Levelt, W. J. M. (1999). Producing spoken language: a blueprint of the speaker. In: C. M. Brown u. P. Hagoort (Hrsg.), *Neurocognition of Language*, 82-122. Oxford University Press, New York.
- Levelt, W. J. M. u. Maasen, B. (1981). Lexical search and order of mention in sentence production. In: W. Klein u. W. J. M. Levelt (Hrsg.), *Crossing the Boundaries in Linguistics*, 221-252. Reidel, Dordrecht.
- Levelt, W. J. M.; Praamstra, P.; Meyer, A. S.; Helenius, P. u. Salmelin, R. (1998). An MEG study of picture naming. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 105, 553-567.
- Levelt, W. J. M.; Roelofs, A. u. Meyer, A. S. (1999). A theory of lexical access in speech production. *Behavioral and Brain Sciences*, 22, 1-75.
- Levelt, W. J. M.; Schriefers, H.; Vorberg, D.; Meyer, A. S.; Pechmann, T. u. Havinga, J. (1991). The time course of lexical access in speech production: a study of picture naming. *Psychological Review*, 98(1), 122-142.

- Levelt, W. J. M. u. Wheeldon, L. (1994). Do speakers have access to a mental syllabary? *Cognition*, 50, 239-269.
- Liotti, M.; Woldorff, G. D.; Perrez, R. u. Meyberg, H. S. (2000). An ERP-study of the temporal course of the Stroop colour-word interference effect. *Neuropsychologica*, 38, 701-711.
- Liu, D.; Sabbagh, M. A.; Gehring, W. J. u. Wellman, H. M. (2004). Decoupling beliefs from reality in the brain: an ERP study of theory of mind. *Cognitive Neuroscience and Neuropsychology*, 15(6), 991-995.
- Luu, P. u. Tucker, D. M. (2001). Regulating action: alternating activating of midline frontal and motor cortical networks. *Clinical Neurophysiology*, 112, 1295-1306.
- Macaruso, P.; Bar-Shalom, E.; Crain, S. u. Shankweiler, D. (1989). Comprehension of temporal terms by poor and good readers. *Language and Speech*, 32(1), 45-67.
- Mahon, B. Z. u. Caramazza, A. (2009). Concepts and categories: a cognitive neuropsychological perspective. *Annual Review of Psychology*, 60, 27-51.
- Makeig, S.; Jung, T.-P.; Bell, A. J. u. Sejnowski, T. J. (1996). Independent component analysis of electroencephalographic data. In: *Advances of Neural Information Processing Systems 8*. MIT Press, Cambridge, Massachusetts.
- Mangold, R. (2003). Sprechen über Objekte. In: G. Rickheit; G. Ungeheuer u. H. E. Wiegand (Hrsg.), *Psycholinguistik: ein internationales Handbuch*, 368-376. De Gruyter, Berlin.
- Mangold, R. u. Pobel, R. (1988). Informativeness and instrumentality in referential communication. *Journal of Language and Social Psychology*, 7(3-4), 181-191.
- Marini, A.; Boewe, A.; Caltagirone, C. u. Carlomagno, S. (2005). Age-related differences in the production of textual descriptions. *Journal of Psycholinguistic Research*, 34(5), 439-463.
- Martín-Loeches, M.; Muñoz, F.; Casado, P.; Melcón, A. u. Fernández-Frías, C. (2005). Are the anterior negativities to grammatical violations indexing working memory? *Psychophysiology*, 42, 508-519.
- McCarthy, G. u. Donchin, E. (1981). A metric for thought: A comparison of P300 latency and reaction time. *Science*, 211, 77-80.
- McCarthy, G. u. Wood, C. C. (1985). Scalp Distributions of Event-Related Potentials: An Ambiguity Associated with Analysis of Variance Models. *Electroencephaly and Clinical Neurophysiology*, 62, 203-208.
- Mecklinger, A.; von Cramon, D. Y. u. Matthes-von Cramon, G. (1998). Event-related potential evidence for a specific recognition memory deficit in adult survivors of cerebral hypoxia. *Brain*, 121, 1919-1935.
- Metzing, C. u. Brennan, S. E. (2005). When conceptual pacts are broken: partner-specific effects on the comprehension of referring expressions. *Journal of Memory and Language*, 49, 201-213.
- Meyer, A. S. (1992). Investigation of phonological encoding through speech error analyses: achievements, limitations, and alternatives. *Cognition*, 42, 181-211.
- Miller, C. A. (2006). Developmental relationships between language and theory of mind. *American Journal of Speech and Language Pathology*, 15(2), 142-154.
- Möller, J.; Jansma, B. M.; Rodriguez-Fornells, A. u. Münte, T. F. (2007). What the brain does before the tongue slips. *Cerebral Cortex*, 17, 1173-1178.

- Morsella, E. u. Miozzo, M. (2002). Evidence for a cascade model of lexical access in speech production. *Journal of experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 28(3), 555-563.
- Mortensen, L.; Meijer, A. S. u. Hymphreys, G. W. (2006). Age-related effects on speech production: a review. *Language and Cognitive Processes*, 21(1), 238-290.
- Müller, H. M.; King, J. W. u. Kutas, M. (1998). Elektrophysiologische Verarbeitung natürlichsprachlicher Sätze mit unterschiedlicher Belastung des Arbeitsgedächtnis. *Klinische Neurophysiologie*, 29, 321-330.
- Müller, O. u. Hagoort, P. (2006). Access in lexical information in language comprehension: semantics before syntax. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 18(1), 84-96.
- Münte, T. F.; Schiltz, K. u. Kutas, M. (1998). When temporal terms belie conceptual order: An electrophysiological approach. *Nature*, 395, 71-73.
- Münte, T. F.; Urbach, T. P.; Düzel, E. u. Kutas, M. (2000). Event-related brain potentials in the study of human cognition and neuropsychology. In: F. Boller; J. Grafmann u. G. Rizzolatti (Hrsg.), *Handbook of Neuropsychology, Vol. I*, 139-235. Elsevier Science, Amsterdam.
- Murray, L. L. u. Stout, J. C. (1998). Discourse comprehension in Huntington's and Parkinson's diseases. *American Journal of Speech and Language Pathology*, 8, 137-148.
- Natsopoulos, D. u. Abdazi, H. (1986). Understanding linguistic sequence and simultaneity: a literature review and some new data. *Journal of Psycholinguistic Research*, 15(3), 243-273.
- Natsopoulos, D.; Mentenopoulos, G.; Bostantzopoulou, S.; Katsarou, Z.; Grouios, G. u. Logothetis, J. (1991). Understanding relational time terms *before* and *after* in Parkinsonism. *Brain and Language*, 40, 440-458.
- Natsopoulos, D. u. Xerimeritou, A. (1988). Comprehension of "before" and "after" by educable mentally retarded children. *Journal of Applied Developmental Psychology*, 9, 181-199.
- Newton, A. M. u. de Villers, J. (2007). Thinking while talking. Adults fail nonverbal false-belief reasoning. *Psychological Science*, 18(7), 574-579.
- Ni, W.; Constable, R. T.; Mencl, W. E.; Pugh, K. R.; Fullbright, R. K.; Shaywitz, S. E. et al. (2000). An event-related neuroimaging study distinguishing form and content in sentence processing. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 12(1), 120-133.
- Nickels, L. (1997). *Spoken Word Production and its Breakdown in Aphasia*. Psychology Press, Hove.
- Nieuwland, M. S. u. van Berkum, J. J. A. (2006). When peanuts fall in love: N400 evidence for the power of discourse. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 18(7), 1098-1111.
- Nittono, H.; Naeishi, Y.; Nakajima, Y. u. Ullsperger, P. (1999). Event-related potential correlates of individual differences in working memory capacity. *Psychophysiology*, 36, 745-754.
- Olson, D. (1970). Language and thought. *Psychological Review*, 77, 257-273.
- Onishi, C. u. Ballairgeon, R. (2005). Do 15-month-old infants understand false beliefs? *Science*, 308, 255-258.
- Oomen, C. C. E. u. Postma, A. (2001a). Effects of time pressure on mechanisms of speech production and self-monitoring. *Journal of Psycholinguistic Research*, 30(2), 163-184.
- Oomen, C. C. E. u. Postma, A. (2001b). Effects of divided attention on the production of filled pauses and repetitions. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 44, 997-1104.

- Osterhout, L. u. Holcomb, P. J. (1993). Event-related potentials and syntactic anomaly: Evidence of anomaly detection during the perception of continuous speech. *Language and Cognitive Processes*, 8(4), 413-437.
- Patel, A. D.; Gibson, E.; Ratner, J.; Besson, M. u. Holcomb, P. J. (1998). Processing syntactic relations in language and music: an event-related potential study. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 10(6), 717-733.
- Pechmann, T. u. Habel, C. (Hrsg.). (2004). *Multidisciplinary Approaches to Language Production*. Walter de Gruyter, Berlin.
- Perner, J. u. Ruffman, T. (2005). Infants' insight into the mind: how deep? *Science*, 308, 214-216.
- Picton, T. W.; Bentin, S.; Berg, P.; Donchin, E.; Hillyard, S. A.; Johnson, R. J. et al. (2000). Guidelines for using human event-related potentials to study cognition: recording standards and publication criteria. *Psychophysiology*, 37, 127-152.
- Poeppel, D. u. Embick, D. (2005). Defining the relation between linguistics and neuroscience. In: A. Cutler (Hrsg.) *Twenty-first century psycholinguistics: four cornerstones*, 103-118. Lawrence Erlbaum Ass., Mahwah, New Jersey.
- Polich, J. (2007). Updating P300: an integrative theory of P3a and P3b. *Clinical Neurophysiology*, 118, 2128-2148.
- Postma, A. (2000). Detection of errors during speech production: a review of speech monitoring models. *Cognition*, 77, 97-131.
- Prabhakaran, V.; Narayanan, K.; Zhao, Z. u. Gabrieli, J. D. E. (2000). Integration of diverse information in working memory within the frontal lobe. *Nature*, 3(1), 85-90.
- Price, C.; Indefrey, P. u. van Turenout, M. (1999). The neural architecture underlying the processing of written and spoken word forms. In: C. M. Brown u. P. Hagoort (Hrsg.), *Neurocognition of Language*, 211-240. Oxford University Press, New York.
- Price, C.; Wise, R. J. S.; Warburton, E. A.; Moore, C. J.; Howard, D.; Patterson, K. et al. (1996). Hearing and saying: the functional neuro-anatomy of auditory word processing. *Brain*, 119, 919-931.
- Rahman, R. A.; Levelt, W. M. J. u. van Turenout, M. (2003). Phonological encoding is not contingent on semantic feature retrieval: an electrophysiological study on object naming. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 29(5), 850-860.
- Rapp, B. (Hrsg.) (2001). *The Handbook of Cognitive Psychology. What deficits reveal about the Human Brain?* Psychology Press, Hove.
- Rastle, K. u. Davis, M. H. (2002). On the complexities of measuring naming. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 28(2), 307-314.
- Ratcliff, R. (1993). Methods for dealing with reaction time outliers. *Psychological Bulletin*, 114(3), 510-522.
- Rickheit, G, Sichelschmidt, G. u. Strohner, L. (2002). *Psycholinguistik. Die Wissenschaft vom sprachlichen Verhalten und Erleben*. Stauffenberg Verlag, Tübingen.
- Ridderinkhof, K. R.; Ullsperger, M.; Crone, E. A. u. Nieuwenhuis, S. (2004). The role of the medial frontal cortex in cognitive control. *Science*, 306, 443-447.

- Rodriguez-Fornells, A.; Schmitt, B. M.; Kutas, M. u. Münte, T. F. (2002). Electrophysiological estimates of the time course of semantic and phonological encoding during listening and naming. *Neuropsychologica*, 40, 778-787.
- Roelofs, A. (1997). The WEAVER model of word-form encoding in speech production. *Cognition*, 64, 249-284.
- Roelofs, A. (2008). Attention to spoken word planning: Chronometric and neuroimaging evidence. *Language and Linguistics Compass*, 2/3, 389-405.
- Roelofs, A.; van Turenout, M. u. Coles, M. G. H. (2006). Anterior cingulate cortex activity can be independent of response conflict in Stroop-like tasks. *PNAS*, 103(37), 13884–13889.
- Roßnagel, C. S. (2004). Lost in thought: cognitive load and the processing of addressees' feedback in verbal communication. *Experimental Psychology*, 51(3), 191-200.
- Rowe, A. D.; Bullock, P. R.; Polkey, C. E. u. Morris, R. E. (2001). "Theory of mind" impairments and their relationship to executive functioning following frontal lobe excisions. *Brain*, 124, 600-616.
- Rugg, M. D. u. Coles, M. G. H. (1997). *Electrophysiology of Mind. Event-Related Potentials and Cognition*. Oxford University Press, Oxford, New York, Tokio.
- Rüsseler, J.; Heldmann, M. u. Möller, J. (2005). Ereigniskorrelierte Potenziale in der klinischen Neuropsychologie. *Zeitschrift für medizinische Psychologie*, 14, 1-12.
- Sahin, N.; Pinker, S.; Cash, S. S.; Schomer, D. u. E., H. (2009). Sequential processing of lexical, grammatical, and phonological information within Broca's area. *Science*, 326, 445-449.
- Samson, D.; Apperly, I. A.; Kathirgamanathan, U. u. Humphreys, G. W. (2005). Seeing it my way: a case of selective deficit in inhibiting self-perspective. *Brain*, 128, 1102-1111.
- Sasanuma, A. u. Kamio, A. (1976). Aphasic's comprehension of sentences expressing temporal order of events. *Brain and Language*, 3, 495-506.
- Schmitt, B. M.; Münte, T. F. u. Kutas, M. (2000). Electrophysiological estimates of the time course of semantic and phonological encoding during implicit picture naming. *Psychophysiology*, 37(473-484).
- Schmitt, B. M.; Rodriguez-Fornells, A.; Kutas, M. u. Münte, T. F. (2001). Electrophysiological estimates of semantic and syntactic information access during tacit picture naming and listening to words. *Neuroscience Research*, 41, 293-298.
- Schmitt, B. M.; Schiltz, K.; Zaake, W.; Kutas, M. u. Münte, T. F. (2001). An electrophysiological analysis of the time course of conceptual and syntactic encoding during tacit picture naming. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 13, 510-522.
- Schober, M. F. u. Clark, H. H. (1989). Understanding by addressee and overhearers. *Cognitive Psychology*, 21, 211-232.
- Schriefers, H.; Meyer, A. S. u. Levelt, W. J. M. (1990). Exploring the time course of lexical access in language production: picture-word interference studies. *Journal of Memory and Language*, 29, 86-102.
- Schriefers, H.; Meyer, A. S. u. Levelt, W. J. M. (1992). Lexical access in the production of noun phrases. *Cognition*, 35, 33-54.
- Schwenk, M. A. u. Danks, J. H. (1974). A developmental study of the pragmatic communication rule for prenominal adjective ordering. *Memory and Cognition*, 2(1A), 149-152.

- Shattuck-Hufnagel, S. (1992). The role of word structure in segmental serial ordering. *Cognition*, 42, 213-249.
- Slobin, C. (1996). From "thought and language" to "thinking for speaking". In: J. J. Gumperz u. S. C. Levinson (Hrsg.), *Rethinking Linguistic Relativity*, 70-96. Cambridge University Press, Cambridge.
- Smith, E. E. u. Jonides, J. (1999). Storage and executive processes in the frontal lobes. *Science*, 283, 1657-1661.
- Smith, M. (2000). Conceptual structures in language production. In: L. R. Wheeldon (Hrsg.), *Aspects of Language Production*, 331-374. Psychology Press, Hove.
- Sodian, B. u. Frith, U. (1992). Deception and sabotage in autistic, retarded, and normal children. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 33(3), 509-605.
- Steinhauer, K. u. Connolly, J. F. (2008). Event-related potentials in the study of language. In: B. Stemmer u. H. A. Whitaker (Hrsg.), *Handbook of the Neuroscience of Language*, 91-104. Academic Press, Elsevier, Amsterdam.
- Stevenson, R. J. u. Pollitt, C. (1987). The acquisition of temporal terms. *Journal of Child Language*, 14, 533-545.
- Stuss, D. T.; Gallop, G. G. J. u. Alexander, M. P. (2001). The frontal lobes are necessary for "theory of mind". *Brain*, 124, 279-286.
- Tenbrink, T. (2007). *Space, Time, and the Use of Language: an Investigation of Relationships*. De Gruyter, Berlin.
- Thorpe, S.; Fize, D. u. Marlot, C. (1996). Speed of processing in the human visual system. *Nature*, 381, 520-522.
- Todd, J. J. u. Marois, R. (2004). Capacity limit of visual short term memory in human posterior parietal cortex. *Nature*, 428, 751-754.
- Tomasello, M.; Conti-Ramsden, G. u. Ewert, B. (1990). Young children's conversations with their mothers and fathers: differences in breakdown and repair. *Journal of Child Language*, 17, 115-130.
- Tompkins, C. A.; Bloise, C. G. R.; Timko, M. L. u. Baumgärtner, A. (1994). Working memory and inference revision in brain damaged and normally aging adults. *Journal of Speech and Hearing Research*, 37, 896-912.
- Traxler, M. J. u. Gernbacher, M. A. (1993). Improving written communication through perspective-taking. *Language and Cognitive Processes*, 8(3), 311-334.
- Trosberg, A. (1982). Children's comprehension of 'before' and 'after' reinvestigated. *Journal of Child Language*, 9, 381-402.
- Ullman, M. T. (2004). Contributions of memory circuits to language: the declarative/procedural model. *Cognition*, 92, 231-270.
- Ullman, M. T. (2008). The role of memory systems in disorders of language. In: B. Stemmer u. H. A. Whitaker (Hrsg.), *Handbook of the Neuroscience of Language*, 189-198. Elsevier, Amsterdam.
- Ullsperger, P.; Metz, A.-M. u. Gille, H.-G. (1988). The P300 component of the event-related brain potential and mental effort. *Ergonomics*, 31(8), 1127-1137.

- Van Berkum, J. J. A.; Koorneef, A. W.; Otten, M. u. Nieuwland, M. S. (2007). Establishing reference in language comprehension: an electrophysiological perspective. *Brain Research*, 1146, 158-171.
- Van Berkum, J. J. A.; Zwitserlood, P.; Hagoort, P. u. Brown, C. M. (2003). When and how do listeners relate a sentence to the wider discourse? Evidence from the N400 effect. *Cognitive Brain Research*, 17, 701-718.
- Van Nice, K. Y. u. Dietrich, R. (ohne Jahresangabe). *Task-sensitivity of animacy effects: Evidence from German picture descriptions*. Unveröffentlichtes Manuskript, Institut für deutsche Sprache und Linguistik, Humboldt-Universität, Berlin.
- Van Turenout, M.; Hagoort, P. u. Brown, C. M. (1997). Electrophysiological evidence on the time course of semantic and phonological processes in speech production. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 23, 787-806.
- Van Turenout, M.; Hagoort, P. u. Brown, C. M. (1998). Brain activity during speaking. From syntax to phonology in 40 milliseconds. *Science*, 280, 572-574.
- Van Turenout, M.; Hagoort, P. u. Brown, C. M. (1999). The time course of grammatical and phonological processing during speaking. Evidence from event-related brain potentials. *Journal of Psycholinguistic Research*, 28(6), 649-676.
- Verleger, R. (1997). On the utility of P3 latency as an index of mental chronometry. *Psychophysiology*, 34, 131-156.
- Vigliocco, G.; Antonini, T. u. Garrett, M. F. (1997). Grammatical gender is on the tip of Italian tongues. *Psychological Science*, 8(4), 314-317.
- Vigliocco, G.; Vinson, D. P.; Martin, R. C. u. Garrett, M. F. (1999). Is “count” and “mass” information available when the noun is not? An investigation of tip of the tongue states and anomia. *Journal of Memory and Language*, 40, 534-558.
- Von Stutterheim, C. u. Nüse, R. (2003). Processes of conceptualization in language production: language-specific perspectives and event-construal. *Linguistics*, 41(5), 851-881.
- Vos, S. H.; Gunther, T. C.; Kolk, H. H. J. u. Mulder, G. (2001). Working memory constraints on syntactic processing: an electrophysiological investigation. *Psychophysiology*, 38, 41-63.
- Wagner, T. D. u. Smith, E. E. (2003). Neuroimaging study of working memory: a meta-analysis. *Cognitive, Affective, and Behavioral Neuroscience*, 3(4), 255-274.
- Waters, G. S. u. Caplan, D. (1997). Working memory and on-line sentence comprehension in patients with Alzheimer's disease. *Journal of Psycholinguistic Research*, 26(4), 377-400.
- Waxman, S. R. u. Hatch, T. (1992). Beyond the basics: preschool children label label objects flexibly at multiple hierarchical levels. *Journal of Child Language*, 19, 153-166.
- Wickens, C. D.; Heffley, E. F.; Kramer, A. F. u. Donchin, E. (1981). The event-related brain potential as an index of attention allocation in complex displays. *Proceedings of the Human Factors Society, 24th Annual Meeting*, 297-301.
- Wilkes-Gibbs, D. u. Clark, H. H. (1992). Coordinating beliefs in conversation. *Journal of Memory and Language*, 31, 183-194.
- Wimmer, H. u. Perner, J. (1983). Beliefs about beliefs: Representation and constraining function of wrong beliefs in young children's understanding of deception. *Cognition*, 13, 103-128.

Winskel, H. (2004). The acquisition of temporal reference cross-linguistically using two acting-out comprehension tasks. *Journal of Psycholinguistic Research*, 33, 333-355.

Wright, H. u. Shisler, R. J. (2005). Working memory in aphasia: theory measures, and clinical implications. *American Journal of Speech and Language Pathology*, 14, 107-118.

Ye, Z.; Habets, B.; Jansma, B. M. u. Münte, T. F. (2010). Neural basis of linearization in speech production. *Journal of Cognitive Neuroscience*. Im Druck.

Zeng, X.-H.; Hirata, K.; Tanaka, H.; Hozumi, A. u. Yamazaki, K. (2002). Insufficient processing resources in Parkinson's Disease. Evaluation using multimodal event-related potential paradigm. *Brain Topography*, 14(4), 299-311.

Anhang

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1:	“A blueprint of a speaker” (Levelt, 1999; Rickheit et al., 2002).....	11
Abb. 2:	Inkrementelle Sprachverarbeitung.....	15
Abb. 3:	Von der Intention zur verbalen Botschaft	19
Abb. 4:	Arbeitsgedächtniss nach Baddeley (2000)	21
Abb. 5:	Zeitlicher Verlauf innerhalb der Sprachproduktion	25
Abb. 6:	Nomen und Adjektive in Nominalphrasen.....	38
Abb. 7:	Beispiel Stimulus Experiment I	41
Abb. 8:	Zeitlicher Ablauf Experiment I	43
Abb. 9:	Resultate Versprecher und Interjektionen	47
Abb. 10:	Resultate Antwortlatenzen	48
Abb. 11:	Gesamtmittelpotenziale.	50
Abb. 12:	Topographische Verteilung.	51
Abb. 13:	Gesamtmittelpotenzial für die Cz über die fünf verschiedenen Äußerungen.	52
Abb. 14:	Beispiel Stimulus Experiment II.....	61
Abb. 15:	Zeitlicher Ablauf Experiment II.....	63
Abb. 16:	Resultate Antwortlatenzen	66
Abb. 17:	Resultate Äußerungslängen	67
Abb. 18:	Vergleich der korrigierten Fehler.....	67
Abb. 19:	Gesamtmittelpotenziale	69
Abb. 20:	Beispiel Stimulus Experiment III	81
Abb. 21:	Zeitlicher Ablauf Experiment III	83
Abb. 22:	Resultate Antwortlatenzen	86
Abb. 23:	Vergleich der korrigierten und nicht korrigierten Fehler	86
Abb. 24:	Gesamtmittelpotenziale	88
Abb. 25:	Abläufe innerhalb der Sprachproduktion.....	103

Tabellenverzeichnis

Tab. 1:	Syntaktische Funktionen innerhalb eines Satzrahmens	13
Tab. 2:	Zusammenfassung Aufgabenstellungen Experiment I	44
Tab. 3:	T-Werte nach der Bonferroni-Korrektur	48
Tab. 4:	Vergleich Sätze mit <i>bevor</i> und <i>nachdem</i>	57
Tab. 5:	Gegenüberstellung Aufgabenstellungen Experiment II	64
Tab. 6:	Signifikante Effekte bis 300 ms	70
Tab. 7:	Signifikante Effekte zwischen 300 und 700 ms	71
Tab. 8:	Amplituden Cz und Pz zwischen 300 und 400 ms	74
Tab. 9:	„Referential Communication Task“ (Olson,1970).....	77
Tab. 10:	Objektkontexte für verschiedene Antwortmuster, Experiment III	82
Tab. 11:	Signifikante Effekte für Paarvergleiche bis 300 ms	90
Tab. 12:	Signifikante Effekte für Paarvergleiche zwischen 300 und 700 ms	92
Tab. 13:	F-Werte der signifikanten Effekte für die drei Elektrodenpositionen.....	93
Tab. 14:	Amplituden der Mittellinienelektroden Fz und Cz zwischen 100 und 200 ms	95

Experiment II: Linearisierung von Ereignissequenzen

Tabellarische Zusammenfassung der Effekte und Interaktionen für die verschiedenen Zeitfenster. Angegeben sind jeweils die korrigierten F–Werte.

	100–200 ms	200–300 ms	300–400 ms	400–500 ms	500–600 ms	600–700 ms
Mittellinienelektroden (Fpz, Fz, Fcz, Cz, Cpz, Pz, Oz)						
Reihenfolge Df (1, 23)	7,56**	12,30***	8,54**	2,35	0,06	1,36
Interaktion:						
Rf – E Df (6, 138)	6,50***	11,47***	1,89	1,51	0,49	0,48
Temporale Elektroden (F7/8, T3/4, T5/6)						
Reihenfolge df (1, 23)	1,50	0,40	1,01	0,66	0,06	1,31
Interaktionen:						
Rf x E df (2, 46)	26,18***	43,10***	0,49	0,33	0,26	2,24
Rf x H dF (1, 23)	8,57**	12,72***	10,54***	13,86***	14,46***	14,39***
E x H df (2, 46)	0,25	1,69	3,89*	3,35*	4,90**	3,87**
Rf x H x E df (2, 46)	0,43	1,80	1,60	2,02	2,11	2,50
Parasagittale Elektroden (Fp1/2, F3/4, C3/4, P3/4, O1/2)						
Reihenfolge dF (1, 23)	2,37	2,42	5,10**	1,96	0,09	0,70
Interaktionen:						
Rf x E Df (4, 92)	11,11***	18,81***	0,99	1,77	0,76	0,84
Rf x H Df (1, 23)	5,09*	4,21*	2,46	6,60*	8,04**	6,63*
E x H Df (4, 92)	2,78*	1,07	1,18	1,19	0,95	0,94
Rf x H x E dF (4, 92)	2,80*	1,65	1,74	3,84**	5,34***	4,63***

Rf = Reihenfolge (natürlich, unnatürlich), E = Elektrodenposition (post./ant.); H = Hemisphäre (rechts/links); alle p–Werte sind korrigiert nach Huynh–Feldt

- * p < 0,05
- ** p < 0,01
- *** p < 0,005

Experiment III: Informationsauswahl in Bildbeschreibungen

Tabellarische Zusammenfassung der Effekte und Interaktionen für die verschiedenen Zeitfenster. Angegeben sind jeweils die korrigierten F–Werte.

	100–200 ms	200–300 ms	300–400 ms	400–500 ms	500–600 ms	600–700 ms
Mittellinienelektroden (Fpz, Fz, Fcz, Cz, Cpz, Pz, Oz)						
Aufgabenstellung dF (2, 52)	1,41	0,15	0,36	4,31*	2,16	0,50
Interaktion:						
Aufg. x E dF (12, 312)	1,63 .	1,61	1,24	1,12	1,25	1,55
Temporale Elektroden (F7/8, T3/4, T5/6)						
Aufgabenstellung dF (2, 52)	1,29	0,92	0,77	2,91	1,01 .	0,17
Interaktionen:						
Aufg. x E df (4, 104)	0,94	1,04	0,72	0,85	0,40	0,71
Aufg. x H df (2, 52)	4,95*	18,90***	22,33***	16,93***	7,65***	4,61*
Aufg. x H df (2, 52)	3,14	14,62***	6,65***	1,41	0,06	0,04
Aufg. x H x E df (4, 104)	1,58	11,08***	12,48***	8,89***	4,90***	4,17***
Parasagittale Elektroden (Fp1/2, F3/4, C3/4, P3/4, O1/2)						
Aufgabenstellung dF (2, 52)	4,94**	0,11	0,24	5,39**	5,06**	2,83
Interaktionen:						
Aufg. x E dF (8, 208)	1,93	1,84	0,63	1,08	0,81	1,40
Aufg. x H dF (2, 52)	1,71	10,35***	8,37***	3,78*	2,39	2,05
Aufg. x H dF (4, 104)	1,33	1,87	0,63	0,61	0,71	0,70
Aufg. x H x E dF (8, 208)	1,35	2,25*	2,29*	2,26*	1,85	1,92

Aufg. = Aufgabenstellung (dN/daN/daaN), E = Elektrodenposition (post./ant.); H= Hemisphäre (rechts/links); alle p-Werte sind korrigiert nach Huynh-Feldt

* p < 0,05

** p < 0,01

*** p < 0,005

Übersicht der Paarvergleiche in Experiment III:

Mittellinienelektroden

Faktoren	100–200 ms	200–300 ms	300–400 ms	400–500 ms	500–600 ms	600–700 ms
Aufgabenstellung						
dF (1, 26)						
dN – daN				2,80		
dN – daaN				7,33*		
daN – daaN				2,05		
Interaktion:						
Aufg. x H dF (6, 156)						
dN – daN				0,7		
dN – daaN				0,82		
daN – daaN				3,47***		

Aufg. = Aufgabenstellung (dN/daN/daaN), E = Elektrodenposition (post./ant.); H= Hemisphäre (rechts/links); alle p-Werte sind korrigiert nach Huynh-Feldt

* p < 0,05

** p < 0,01

*** p < 0,005

Paarvergleiche wurden an den Mittellinienelektroden nur für den Zeitraum 400–500 ms durchgeführt.

Temporale Elektroden

Faktoren	100–200 ms	200–300 ms	300–400 ms	400–500 ms	500–600 ms	600–700 ms
Aufgabenstellung						
dF (1, 26)						
dN – daN	2,77	3,13	0,93	4,27*	1,32	0,28
dN – daaN	0,97	0,6	1,05	4,29*	1,59	0,00
daN – daaN	0,23	0,12	0,3	0,78	0,25	0,30
Interaktionen:						
Aufg. x H dF (1, 26)						
dN – daN	0,82	1,37	2,77	4,09	3,10	2,66
dN – daaN	4,11	17,09***	22,20***	13,06***	3,89	1,24
daN – daaN	10,22***	52,33***	48,40***	41,24***	20,09***	12,97***
E x H dF (2, 52)						
dN – daN	1,79	6,02***	1,7	0,04	0,37	0,38
dN – daaN	4,52*	22,24***	11,29***	4,02*	0,40	0,13
daN – daaN	2,69	15,93***	8,98***	1,97	0,28	0,19
Aufg. x H x E dF (2, 52)						
dN – daN	1,82	4,45***	4,05*	4,71*	2,85	2,00
dN – daaN	0,56	7,21***	8,85***	5,28**	3,33*	4,10*
daN – daaN	2,98	23,91***	24,78***	17,01***	8,29***	5,82**

Aufg. = Aufgabenstellung (dN/daN/daaN), E = Elektrodenposition (post./ant.); H= Hemisphäre (rechts/links); alle p-Werte sind korrigiert nach Huynh-Feldt

* p < 0,05

** p < 0,01

*** p < 0,005

Parasagittale Elektroden

Faktoren	100–200 ms	200–300 ms	300–400 ms	400–500 ms	500–600 ms	600–700 ms
Aufgabenstellung dF (1, 26)						
dN – daN	10,35***	0,20	0,43	1,43	0,01	1,81
dN – daaN	5,75*	0,12	0,01	8,33**	5,93*	0,98
daN – daaN	0,00	0,00	0,35	4,32*	7,46*	6,64*
Interaktionen:						
Aufg. x H dF (1, 26)						
dN – daN	0,69	0,17	0,33	2,44	2,04	2,17
dN – daaN	1,36	13,76***	11,34***	1,02	0,14	0,00
daN – daaN	2,93	21,16***	16,36***	9,72***	7,59*	5,44*
E x H dF (4, 104)						
dN – daN	0,61	1,14	0,50	0,84	1,13	0,80
dN – daaN	1,61	2,63*	0,83	0,61	0,44	0,54
daN – daaN	1,66	1,91	0,87	0,60	0,69	0,87
Aufg. x H x E dF (4, 104)						
dN – daN	0,28	1,69	1,67	1,10	0,88	1,59
dN – daaN	1,66	2,17	1,33	1,11	0,93	0,77
daN – daaN	1,64	2,85*	4,43***	5,19***	4,51***	4,19***

Aufg. = Aufgabenstellung (dN/daN/daaN), E = Elektrodenposition (post./ant.); H= Hemisphäre (rechts/links);
alle p-Werte sind korrigiert nach Huynh-Feldt

- * p < 0,05
- ** p < 0,01
- *** p < 0,005

Curriculum Vitae

ZUR PERSON:

geboren am 20.10.1970 in Würselen, Kreis Aachen
verheiratet, drei Kinder, deutsch

SCHULE UND STUDIUM:

1981 – 1990 Städtisches Gymnasium Herzogenrath, Abitur
1990 – 1991 Au-Pair, London
1991 – 1994 Zwischenprüfung in Anglistik, Geschichte und Deutscher Philologie, Rheinisch–Westfälische Technische Hochschule Aachen
1994 – 1998 Bachelor of Health in Logopädie, Hogeschool Limburg, Heerlen (NL)
2000 – 2001 European Master in Clinical Linguistics (EMCL), Schwerpunkt Neurolinguistik, Rijksuniversiteit Groningen (NL) und Universität Potsdam
2004 – 2010 berufsbegleitende Promotion am Institut für Neuropsychologie der Otto–von–Guericke–Universität Magdeburg;
Betreuer: Herr Prof. Dr. Thomas F. Münte

BERUF:

Sept. 1998 – Okt. 2000 Logopädische Praxis Petra Jordan, Hildesheim
Okt. 2000 – Febr. 2002 freie Mitarbeit in der Praxis Jordan
seit Februar 2002 Lehrlogopädin für neurologische Störungen und Psycholinguistik, Schule für Logopädie an der Medizinischen Hochschule Hannover
seit 2003 Lehrbeauftragte an der Fachhochschule Hildesheim
Themen: Neuro– und Psycholinguistik, interdisziplinäre Fragestellungen in der Rehabilitation
seit 2006 Lehrbeauftragte an der Leibniz–Universität Hannover
Themen: Neuro– und Psycholinguistik, Spracherwerb