

FRIEDRICH-SCHILLER-UNIVERSITÄT JENA

Philosophische Fakultät

Institut für Auslandsgermanistik, DaF/DaZ

Neuropsychologische Methoden und Forschungsansätze
in der Zweitsprachenerwerbsforschung

Magisterarbeit zur Erlangung des akademischen Grades

MAGISTER ARTIUM (M.A.)

vorgelegt von: Martin Gunnar Döpel

geboren am: 02. Januar 1979

in: Jena

Erstgutachter: Prof. Dr. Hermann Funk

Zweitgutachterin: Dr. Barbara Biechele

Jena, den 5. Mai 2004

Zusammenfassung

In der vorliegenden Magisterarbeit wird die Frage erörtert, inwieweit die Methoden der Neuropsychologie und deren Forschungsansätze für die Untersuchung des Zweitsprachenerwerbs geeignet sind. Ein besonderer Schwerpunkt liegt dabei auf der Untersuchung ereigniskorrelierter Potentiale (EKP) und der funktionellen Magnetresonanztomographie (fMRT).

Beide Methoden werden im ersten Teil vorgestellt, wobei gezeigt wird, dass sie trotz einiger Limitationen durchaus für die Zweitsprachenerwerbsforschung geeignet sind.

Im zweiten Teil werden dann die wichtigsten Erkenntnisse zusammengefasst, die bisher mittels EKP und fMRT auf dem Gebiet der Zweitsprachenverarbeitung gewonnen werden konnten. Aus diesen Ergebnissen lassen sich wichtige Erkenntnisse zum Zweitsprachenerwerb ziehen, so z.B., dass die Semantik vor der Syntax muttersprachliches Niveau erreichen kann, dass die Annahme einer kritischen Periode hinterfragt werden muss und wie der Zugang zum bilingualen Lexikon erfolgt.

Es wird jedoch deutlich, dass die Fragen der in Teil II vorgestellten Studien nicht deckungsgleich mit den Erkenntnisinteressen von Fremdsprachendidaktikern und anderer am Zweitsprachenerwerb Interessierter sind. Dass die Fragen der Fremdsprachendidaktik auch mittels EKP und fMRT untersucht werden können, zeigt der dritte und abschließende Teil.

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	v
1 Einleitung	1
I Neuropsychologische Methoden	3
2 Funktionsweise des Neurons	5
3 Ereigniskorrelierte Potentiale (EKP)	8
3.1 Funktionsweise des EEGs	8
3.2 Ereigniskorrelation und typische sprachbezogene EKP-Phänomene	10
3.2.1 Das psychologische Experiment und EEG	10
3.2.2 N400 – semantische Verarbeitung	14
3.2.3 ELAN, LAN und P600 – syntaktische Verarbeitung . .	15
3.3 Vorteile und Grenzen der EKP-Methode	16
4 Funktionelle Magnetresonanztomographie (fMRT)	19
4.1 Funktionsweise	19
4.2 Datenakquisition und -analyse	22
4.3 Besonderheiten des fMRT-Designs – Jittering	25
4.4 Vorteile und Grenzen der Methode	26
5 Das „Friedrici-Kotz-Modell“	28
6 EKP und fMRT im Licht der Zweitspracherwerbsforschung	31

II	Überblick über bisherige Forschungsergebnisse	34
7	Bilingualer Zugang zum Wort	36
7.1	Studien zum Einzelwort	36
7.1.1	Das <i>Revised Hierarchical Model</i> von Kroll und Stewart	36
7.1.2	fMRT-Studien	41
7.2	Das Wort im Satz und Morphosyntax	44
8	Syntaxverarbeitung	48
9	Die kritische Periode auf dem Prüfstand	52
10	Zusammenfassung	55
III	Ein neuropsychologisches Design	58
11	Ergebnisse aus der Artificial-Grammar-Forschung	60
11.1	Das Reberparadigma und dessen Relevanz	60
11.2	Miniatursprachenforschung	64
11.3	Zusammenfassung	68
12	Diskussion eines möglichen Forschungsdesigns	70
12.1	Vorüberlegungen	70
12.2	Probanden	71
12.3	Versuchsaufbau und -durchführung	71
12.4	Material	74
12.5	Diskussion	77
13	Abschlussdiskussion – Neuropsychologische Methoden in der Zweitsprachenerwerbsforschung	79
IV	Anhang	82
	Anatomische Abbildungen des Gehirns	83
	Glossar	85
	Abbildungsverzeichnis	90
	Literaturverzeichnis	91

Dank	99
Selbständigkeitserklärung	100

Abkürzungsverzeichnis

<i>AG</i>	Artificial Grammar(s)
<i>AGL</i>	Artificial Grammar Learning
<i>AOA</i>	Age of Acquisition, Erwerbsalter
<i>ATP</i>	Adenosintriphosphat, ein Energieträger
<i>BA</i>	Brodmannareal(e)
<i>BOLD</i>	Blood-Oxygen-Level Dependent
<i>EEG</i>	Elektroencephalogramm
<i>EKP</i>	ereigniskorrelierte Potentiale
<i>ELAN</i>	early left-anterior negativity, EKP-Komponente
<i>EPSP</i>	exzitatorisches postsynaptisches Potential
<i>ESL</i>	English as Second Language
<i>fMRT</i>	funktionelle Magnetresonanztomographie
<i>GLM</i>	General Linear Model, ein statistisches Verfahren
<i>Hb</i>	Hämoglobin
<i>IFG</i>	inferior frontal gyrus (= Gyrus frontalis inferior)
<i>IPSP</i>	inhibitorisches postsynaptisches Potential
<i>L1</i>	Muttersprache
<i>L2</i>	Zweit-/Fremdsprache
<i>LAN</i>	left anterior negativity, EKP-Komponente
<i>LDT</i>	Lexical Decision Task
<i>MTG</i>	middle frontal gyrus (= Gyrus frontalis medius)
<i>MRT</i>	Magnetresonanztomographie
<i>N400</i>	centro-parietale Negativierung bei 400 ms, EKP-Komponente
<i>P600</i>	parietale Positivierung bei 600 ms, EKP-Komponente
<i>PET</i>	Positronenemissionstomographie
<i>PL</i>	Proficiency Level
<i>RHM</i>	Revised Hierarchical Model
<i>SLA</i>	Second Language Acquisition
<i>SRV</i>	Signal-Rausch-Verhältnis
<i>STG</i>	superior temporal gyrus (= Gyrus temporalis superior)
<i>T1</i>	MRT, Zeit der longitudinalen Relaxation
<i>T2</i>	MRT, Zeit der transversalen Relaxation
<i>T2*</i>	fMRT, Zeit der totalen transversalen Relaxation
<i>VP</i>	Versuchsperson(en)

Kapitel 1

Einleitung

„Brain sells“. Magazine, Zeitungen und Fernsehsendungen berichten immer häufiger über die Ergebnisse der „Hirnforschung“. Das Denken scheint entschlüsselt werden zu können. Neue Verfahren – vor allem die bildgebenden Applikationen – erlauben faszinierende Einblicke in die Natur kognitiver Vorgänge. Es scheint möglich, dem Menschen beim Denken „zuzuschauen“.

Eines der dabei häufig angesprochenen Fachgebiete ist die Neuropsychologie. Sie befasst sich mit der Frage, welche Hirnstrukturen in die Bewältigung bestimmter kognitiver Aufgaben involviert sind (Perani et al., 1998). Ferner ist es möglich, die zeitlichen Abläufe kognitiver Prozesse näher zu erforschen.

Mit all ihren Möglichkeiten ist die Neuropsychologie auch für jene interessant, die sich mit dem Sprach- und Fremdsprachenerwerb beschäftigen. Allerdings besteht meines Erachtens die Gefahr einer „Faszination der bunten Bilder“. Die Intention dieser Arbeit liegt deshalb in der Darstellung der Methoden und Forschungsansätze, da Methodenkenntnis gerade in diesen Bereichen entscheidend ist.

Eine Dreiteilung der Arbeit scheint daher am sinnvollsten: Zunächst sollen die Messmethoden der Neuropsychologie vorgestellt werden, wobei jedoch nur

zwei Methoden berücksichtigt werden. Zum einen die Messung ereigniskorrelierter Potentiale (EKP), zum anderen die funktionelle Magnetresonanztomographie (fMRT). Die Wahl begründet sich dadurch, dass beide Methoden ihre jeweiligen Vorzüge in der Erforschung menschlicher Kognition haben. Weiterhin spricht für die Auswahl, dass es sich bei diesen beiden Methoden mittlerweile um Standardverfahren handelt. Im zweiten Teil folgt eine kurze Darstellung einiger aktueller Forschungsergebnisse. Abschließend soll anhand eines Beispiels gezeigt werden, wie die Zweitsprachenerwerbsforschung die neuropsychologischen Methoden bei der Erforschung eigener Fragen nutzen kann.

Grundlegend sollen in dieser Arbeit folgende Thesen vertreten werden:

1. Neuropsychologische Methoden sind für die Erforschung des Spracherwerbs und Zweitsprachenerwerbs sinnvoll.
2. Allerdings können diese Ergebnisse nie für sich allein genommen werden, sie müssen vielmehr in einen größeren Kontext eingebettet werden. Das heißt, dass die derzeitige neuropsychologische Forschung nicht für sich allein stehen kann, sondern einen ständigen Abgleich mit den Erkenntnissen und Modellen der „klassischen“ kognitions- und lernpsychologischen sowie psycholinguistischen Forschung benötigt.

Teil I

Neuropsychologische Methoden

Überblick

Die hier diskutierten Messmethoden der Neuropsychologie basieren auf der Funktionsweise der Nervenzelle. Daher wird zunächst Aufbau und Funktionsweise des Neurons insoweit diskutiert, wie es für das Verständnis der Grundlagen von EKP und fMRT nötig ist. Es folgen dann die Kapitel über EKP und fMRT, in denen die Methoden im Einzelnen vorgestellt und diskutiert werden. Danach soll ein Modell zur Satzverarbeitung in der Erstsprache vorgestellt werden, das auf Ergebnissen von EKP-, fMRT- und Läsionsstudien¹ fußt. In einem abschließenden Kapitel werden dann Möglichkeiten und Grenzen der Methoden bei der Zweitsprachenerwerbsforschung unter rein technischen und methodischen Aspekten diskutiert.

Ziele des ersten Teils sind die Schaffung grundlegenden Verständnisses von EKP und fMRT sowie die Darstellung ihrer Grenzen und Möglichkeiten unter rein technischen und methodischen Gesichtspunkten.

¹In der Medizin werden begrenzte Schädigungen eines Gewebes oder Organs und auch dessen funktionelle Beeinträchtigungen als Läsionen bezeichnet.

Alle nicht ohne Weiteres durchsichtige Fachbegriffe werden beim ersten Erscheinen im Text oder in einer Fußnote erläutert. Im Anhang findet sich ein Glossar (S.85ff.), in dem die Definitionen nochmals wiedergegeben werden.

Kapitel 2

Funktionsweise des Neurons

In der folgenden Darstellung des Aufbaus und der Arbeitsweise der Nervenzellen folge ich im wesentlichen den Ausführungen von Richard F. Thompson (2001).

Der menschliche Kortex – die Großhirnrinde – besteht aus etwa 20 Milliarden Neuronen (Spitzer, 2002).¹ Trotz ihrer eigenwilligen Form (Abbildung 2.1) unterscheiden sich Nervenzellen nicht grundlegend von anderen Körperzellen. Auch sie verfügen über einen Zellkern und alle wichtigen

¹Die genaue Anzahl geben Pakkenberg und Kollegen (1997) mit 19,3 Milliarden für Frauen und 22,8 Milliarden für Männer an. Diesen scheinbaren Nachteil gleichen die weiblichen Gehirne jedoch mit effizienterer Verarbeitung aus (Spitzer, 2002).

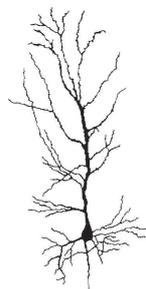


Abbildung 2.1: Äußere Form einer kortikalen Pyramidenzelle (aus Roth, 1996: 121)

Organellen (Mitochondrien usw.). Ihr besonderes Aussehen verdanken die Zellen den Dendriten bzw. Axonen. „Dendriten dienen dazu, die **reiz-aufnehmende** Oberfläche der Nervenzelle zu vergrößern. Sie sind regelrecht übersät mit Synapsen.“ (Thompson, 2001: 40; Hervorhebung: MD) Das Axon dagegen dient der Weitergabe von Reizen. Jedes Neuron verfügt über nur **ein** Axon, das sich jedoch stark verzweigen kann.

Jedes Neuron ist mit einer Reihe anderer Nervenzellen an den so genannten Synapsen verbunden. Im Säugetiergehirn gibt es fast ausschließlich chemische Synapsen. Sie sind es, die Lernen und Gedächtnis erst ermöglichen.² Eine Synapse kann als dreigliedrige Einheit aufgefasst werden: Die präsynaptische Zelle (1) reizt die postsynaptische Zelle (2), beide sind durch den synaptischen Spalt (3) voneinander getrennt. Bei der Reizübertragung geschieht – stark vereinfacht – Folgendes: Das Aktionspotential der präsynaptischen Zelle sorgt dafür, dass sich die synaptischen Vestikel³ dieser Zelle mit der präsynaptischen Membran vereinen und dabei „aufplatzen“. Die dabei freigegebenen Neurotransmitter diffundieren durch den synaptischen Spalt hin zur postsynaptischen Zelle und treffen dort auf Rezeptoren. Diese Rezeptoren sorgen dafür, dass dort die Ionenkanäle geöffnet werden und es dadurch zu einer Potentialveränderung⁴ in der postsynaptischen Zelle kommt.

Verantwortlich für die Potentialänderungen sind Ionen der Elemente Kalium (K^+), Chlor (Cl^-), Natrium (Na^+) sowie große Proteinionen (P^{2-}). Durch den Ionentransfer zwischen den Axonen und der sie umgebenden Flüssigkeit (Liquor - „Hirnwasser“) kann das elektrische Potential der Neuro-

²Zwischen den sich ebenfalls in großer Anzahl im Gehirn befindenden Gliazellen, deren genaue Funktion bis ins Detail noch nicht erforscht werden konnte, stellte man auch elektrische Synapsen fest. Sie sind starrer und können Veränderungen nicht folgen. Zu detaillierteren Informationen bezüglich der Gliazellen siehe (Thompson, 2001: 45f.)

³Vestikel werden als kleine Bläschen beschrieben, sie dienen der Speicherung von Neurotransmittern.

⁴Das Ruhepotential einer Nervenzelle beträgt -75 mV, das Aktionspotential beträgt in seiner Spitze $+50$ mV.

nen verändert werden. Erreicht das Potential einen Schwellenwert, so „wandert“ es entlang der Axonenmembran hin zu den Synapsen, wo eine Weitergabe der Information an benachbarte Zellen erfolgt. Das Ruhepotential ist als Fließgleichgewicht definiert. Aufrecht erhalten bzw. wiederhergestellt wird es vorwiegend durch Kalium-Natrium-Pumpen, bei denen unter Verbrauch von ATP⁵ Kaliumionen aus der Zelle und Natriumionen in die Zelle geschleust werden.⁶ Bei der schnellen synaptischen exzitatorischen Übertragung kommt es durch die Öffnung der Ionenkanäle zu einem Einströmen von Na⁺-Ionen. Es entsteht durch die schnelle Depolarisation der Zellmembranen ein so genanntes exzitatorisches postsynaptisches Potential (EPSP). Wirkt die Übertragung hemmend, so kommt es analog durch Einströmen von Cl⁻-Ionen zur Entstehung eines inhibitorischen postsynaptischen Potential (IPSP).

Durch die eben beschreibende Arbeitsweise ist es möglich, dass ein Neuron exzitatorisch (anregend, durch Erhöhung des Potentials), inhibitorisch (hemmend, durch Absenkung des Potentials) bzw. gar nicht auf ein benachbartes Neuron wirken kann. Dadurch wird deutlich, warum die chemische Synapse die Grundlage allen Lernens bzw. des Gedächtnisses ist. Chemische Synapsen erlauben einem Neuron, differenziert auf seine Nachbarn einzuwirken.

Ziel dieses Kapitels war es zu zeigen, dass mit der Aktivität der Neuronen Potentialveränderungen verbunden sind. Ferner sollte deutlich werden, dass die Nervenzellen für ihre Aktivität Energie benötigen. Beide Feststellungen sind Grundlage für zwei in der Neuropsychologie verwendeten Messverfahren – dem EKP und der fMRT.

⁵Adenosintriphosphat ist **der** Energieträger im menschlichen Körper. Durch Abspaltung eines Phosphats entsteht das energieärmere ADP und Energie.

⁶Für eine detailliertere Darstellung der Potentiale sei auf Thompson (2001: 53-79) verwiesen.

Kapitel 3

Ereigniskorrelierte Potentiale (EKP)

3.1 Funktionsweise des EEGs

Die Methode der ereigniskorrelierten Potentiale beruht auf der des Elektroencephalogramms. 1929 gelang es erstmals dem Jenaer Neurologen Hans Berger, die elektrische Aktivität des Gehirns am Schädel abzuleiten (z.B. Florey 1996; Wallesch & Deuschl, 1997). Diese Potentialdifferenzen betragen 50 bis 150 mV, wodurch eine Verstärkung des Signals nötig ist (Frisch, 2000).

Die Elektroden werden bei der EEG-Ableitung an klar definierten Orten appliziert. Da teilweise bis zu 64 Elektroden gleichzeitig „abgenommen“ werden – wobei eine Vielzahl technisch möglich ist –, behilft man sich dadurch, dass Kappen mit fest eingebauten Elektroden verwendet werden. Um den Kontakt mit der Kopfhaut herzustellen, wird in diesem Fall ein elektrolytisches Gel verwendet.

Beim EEG werden nicht die Aktionspotentiale gemessen. Vielmehr werden die postsynaptischen Potentiale (ESPS bzw. ISPS) abgeleitet (Wallesch & Deuschl, 1997). Die Messungen des EEGs erfolgt relativ, d.h., es werden

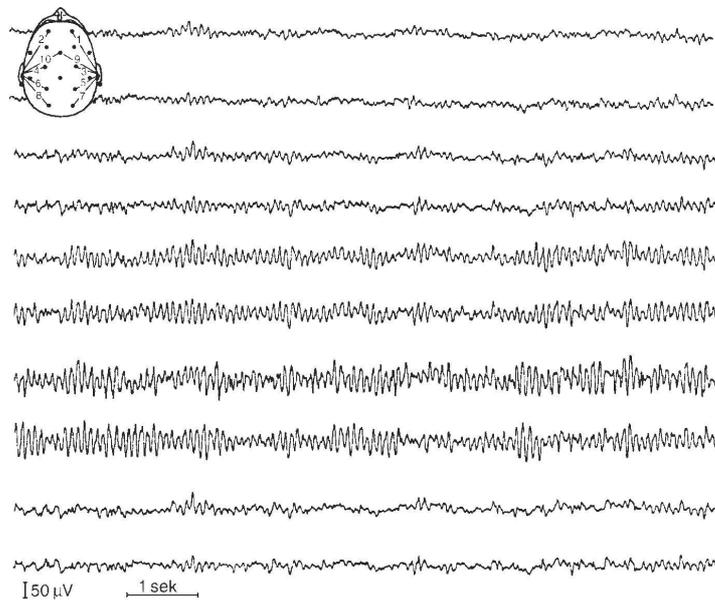


Abbildung 3.1: Elektroencephalogramm eines hirngesunden Menschen. Entnommen aus Wallensch & Deuschl (1997: 169).

Potentialdifferenzen relativ zu einer Referenzelektrode gemessen. Diese Referenzelektrode sollte sich an einem elektrisch möglichst neutralen – also an einem von der Hirnaktivität unbeeinflussten – Ort befinden (Frisch, 2000). Das EEG kann nicht jede elektrische Aktivität messen: „Zum einen muß eine hinreichend große Neuronenpopulation¹ eine synchronisierte Aktivität aufweisen, zum anderen ist die geometrische Anordnung der Neuronen von entscheidender Bedeutung. Nur in einer neuronalen Konfiguration mit paralleler Ausrichtung der Neurone (sogenannte offene Felder) führt die synchrone Aktivität auch zu meßbaren Potentialen.“ (Opitz, 1999: 15) Gewährleistet werden kann dies eigentlich nur durch die Pyramidenzellen, die 85% des Neokortexes stellen (Spitzer, 2000; Wallesch & Deuschl, 1997). Da deren Ursprung im subkortikalem Raum liegen, können auch solche Strukturen (z.B. Thalamus) an der Elektrogenese beteiligt sein (Opitz, 1999).

¹Als „kritische Masse“ kann hierbei die Zahl von 1000 Neuronen angesehen werden (Frisch, 2000).

Besonders wichtig für die klinischen Applikationen sind die Frequenzbänder des Spontan-EEGs.² Ein abgeleitetes EEG hat das in Abbildung 3.1 gezeigte Aussehen.

3.2 Ereigniskorrelation und typische sprachbezogene EKP-Phänomene

3.2.1 Das psychologische Experiment und EEG

EKPs erhält man durch die Verbindung der EEG-Ableitung mit einem psychologischen Experiment. Probanden werden dabei entweder einem bestimmten Stimulus ausgesetzt oder müssen eine Aufgabe lösen.³ Die Experimente enthalten Stimulus/Aufgaben unterschiedlicher Konditionen. Dieses Experiment wird durch einen Computer kontrolliert, der den Stimulus steuert und die Reaktionen der Probanden (meist Druck auf eine Tastatur) protokolliert. Ein zweiter Computer zeichnet währenddessen die EEG-Kurven auf. Der erste Rechner setzt in dieses EEG so genannte Triggerpunkte. Die Triggerpunkte unterscheiden sich nach meist nach experimenteller Bedingung, können aber auch Informationen wie z.B. Richtigkeit der Reaktion enthalten. Anhand dieser Triggerpunkte sind nun distinkte Zeitpunkte bzw. -fenster definiert, in denen ein bestimmtes Ereignis stattfand.

Nach der Datenerhebung werden die ermittelten EEG-Daten nach Störungen untersucht, die auf Augenbewegungen zurückzuführen sind. Um dies zu vereinfachen, werden neben den Gehirnströmen ferner die horizontalen und vertikalen Augenbewegungen aufgezeichnet. Durch automatisierte Suchprozesse können so augenartefaktbelastete Trials ausgeschlossen („rejected“) werden.

²Hier wird unterschieden in die Frequenzbänder δ (< 4 Hz, 1 Hertz (Hz) ist eine Schwingung pro Sekunde), θ (4-7 Hz), α (8-13 Hz) und β (14-30 Hz). Für genauere Informationen sei auf Wallesch und Deuschl (1997) verwiesen.

³Als Beispiel sei auf Hahne (2001) und alle anderen im Teil II referierten EKP-Experimente verwiesen.

Allerdings ist es möglich, mittels Filter diese Augenbewegungen „herauszurechnen“. Ferner können überlagernde Schwingungen der Technik bzw. des Organismus herausgefiltert werden.⁴

Bei den oben gezeigten Kurven (Abbildung 3.1) handelt es sich um die Summe der so genannten Spontanaktivität und den Potentialen, die durch die Verarbeitung spezifischer Information hervorgerufen werden – den evozierten bzw. ereigniskorrelierten Potentialen (EKP). „Ereigniskorrelierte Potentiale sind Spannungsänderungen in der Größenordnung von wenigen Mikrovolt bis hinab in den Nanovoltbereich.“ (Wallesch & Deuschl, 1997: 171) Die EKPs müssen deshalb *errechnet* werden. Die gemessene Aktivität stellt sich dabei als Summe der Spontanaktivität und den EKPs dar.

Um Letztere zu extrahieren, müssen artefaktbeladene Trials ausgeschlossen (Frisch, 2000) und die Daten gemittelt werden. Grundgedanke der Mittelung ist, dass bei der Summation der Trials die immer wieder vorkommenden Teile der Kurve erhalten bleiben, während die ereignisunabhängige Spontanaktivität sich „ausmittelt“ (Frisch, 2000; Opitz, 1999; Wallesch & Deuschl, 1997).

Übrig bleiben EKP-Kurven, deren Qualität maßgeblich von dem Signal-Rausch-Verhältnis (SRV) abhängt. Um ein gutes SRV zu erhalten, empfiehlt Hahne (1998) bei Sprachexperimenten 30 bis 40 Ereignisse bei 15 bis 20 Probanden. Hahne räumt in diesem Zusammenhang ein, dass dieses Vorgehen für die von der Psycholinguistik geforderten Itemanalyse (d.h. Analyse jedes einzelnen Trials) unzureichend ist. Sie gibt jedoch zu bedenken, dass ein Vorgehen, welches die Itemanalyse ermöglicht, die Kapazitäten der Labore „sprengen“ (Hahne, 1998: 29) würde. Die von ihr angegebenen Werte stellen

⁴Hierbei kommt die so genannte Fouriertransformation zum Einsatz. Jean-Baptiste Joseph Baron de Fouriers (1768-1830) Entdeckung, dass sich jede Kurve als Summe von Sinuskurven beschreiben lässt, ist Grundlage dieser Technik. Das Filtern ist allerdings auch als methodisches Problem zu sehen, da neben der Störung auch immer ein Teil des Signals herausgerechnet wird.

somit einen Kompromiss zwischen methodischen Anforderungen und technischen Möglichkeiten dar (Hahne, 1998). Die Zahl der Probanden (15 bis 20) ergibt sich aus dem Fakt, dass die gemittelten Werte der Einzelprobanden nochmals in einem „Grand Average“ zusammengefasst werden, um Unterschiede zwischen den Einzeldaten herauszumitteln. Schließlich kann nur auf diesem Weg auf die allgemeinen Prinzipien geschlossen werden.

Frisch (2000) geht insbesondere auf die Notwendigkeit eines Baselinezeitbereichs⁵ ein, der für die Bildung der Mittelwerte aller Durchgänge einer experimentellen Bedingung wichtig ist. Da während eines Experimentes sich die Widerstände an einer Elektrode ändern können, wird der Wert während des Baselinezeitfensters von den Werten bei der experimentellen Bedingung abgezogen, damit bei der Mittelung alle Durchgänge einer Kondition zu etwa gleichen Teilen eingehen.

Um EKPs charakterisieren zu können, unterteilt man sie in Komponenten. Da es für sie keine einheitliche Definition gibt, halten sich viele an die Charakteristik von Douchin et al. (1978), nach der Komponenten durch vier Eigenschaften definiert sind:

1. **Polarität:** Eine Komponente kann einen negativer oder positiver Ausschlag sein. Im Allgemeinen wird die Polarität „falsch herum“ angezeigt, d.h., dass eine Negativierung zu einem Ausschlag nach oben und eine Positivierung zu einem Ausschlag nach unten führt. Dabei wird ein negativer Ausschlag mit den EPSP (der Anregung von Neuronen) und ein positiver Ausschlag mit den IPSP (der Hemmung von Neuronen) in Zusammenhang gebracht (Kotz & Frisch, im Druck).
2. **Latenz:** Zeitliches Auftreten einer Komponente. Unterschieden wird

⁵Die Baseline ist laut Frisch (2000: 73) ein Zeitbereich, „der möglichst kurz vor dem experimentell interessierenden Zeitbereich liegen sollte, und in dem es möglichst keine systematischen Unterschiede zwischen den experimentellen Bedingungen geben sollte.“

zwischen der Peaklatenz (Zeit zwischen Reiz und Amplitude, zur Benennung wird meist auf diesen Wert zurückgegriffen) und der Onsetlatenz (Zeit zwischen Reiz und dem Ansteigen – bei Erregung – bzw. Abfallen – bei Hemmung – der Kurve). Die Zeitwerte können unter Umständen um mehrere 100 ms variieren (Frisch, 2000).⁶

3. **Topografie:** Komponenten treten nicht an allen Elektroden auf, je nach Stimulus oder Verarbeitung sind unterschiedliche Gebiete angeregt bzw. gehemmt, was in der Topografie einer Komponente ihren Niederschlag findet.
4. **Sensitivität:** Es kann sein, dass eine Komponente erst ausgelöst wird, wenn gewisse physikalische Eigenschaften des Stimulus (z.B. Intensität) oder experimentelle Einflüsse (z.B. Auftretenswahrscheinlichkeit) einen Schwellenwert erreicht haben.

Allgemein werden zur Charakterisierung nur die ersten beiden Eigenschaften (Polarität und Latenz) verwandt, wobei die anderen beiden Charakteristika immer schweigend mitgedacht werden (meist v.a. die Topografie). So sind z.B. die N400 eine Negativierung im Bereich von 400 ms und die P600 eine Positivierung im Bereich von 600 ms. Auch wenn die Diskussion um viele Komponenten noch andauert, liegen für die syntaktische und semantische **Erstsprachverarbeitung** schon (relativ) gesicherte Ergebnisse vor (z.B. Frisch, 2000; Hahne, 1998; Kotz, im Druck; Kotz & Frisch, im Druck; Opitz, 1999; Wallesch & Deuschl, 1997).

⁶Dieser Fakt ist nicht ganz unbedenklich, sind viele Latenzen doch geringer als 1000 ms.

3.2.2 N400 – semantische Verarbeitung

Bei der Erforschung der N400 – einer Negativierung im zentro-parietalen⁷ Bereich mit einer Peaklatenz von etwa 400 ms – leisteten Kutas und Hillyard (1980; 1984) Pionierarbeit. Beide beschrieben diese Komponente als Erste (1980) und konnten schon in ihrer ersten Studie zur N400 (Kutas & Hillyard, 1980) zeigen, dass sie nicht auf Überraschung fußt, veränderten sie nämlich nur die Schriftgröße des Stimulus in ihrem visuell präsentem Experiment, so kam es zu einer Positivierung mit einer Gipfellatenz von 560 ms, also einem ganz anderen Effekt.

Die N400 hat – wie schon erwähnt – eine besondere Ausprägung im zentro-parietalen Bereich (Hahne, 2001), findet sich bei einer Reihe von Kontextverletzungen (Coles & Rugg, 1995; Frisch, 2000; Opitz, 1999; Wallesch & Deuschl, 1997) und ist somit kein rein sprachliches Phänomen.

Moduliert wird die N400 durch eine Reihe von Umständen, wie z.B. Auftretenswahrscheinlichkeit (selten benutzte Wörter haben größeren Effekt als häufig auftretende). Ferner erfolgt eine Modulation der N400 durch den Kontext, ein Stimulus, dem ein ähnlicher vorangeht (Priming) löst eine geringere N400 aus (z.B. Osterhout & Holcomb, 1995). Als weitere kritische Größe für die N400 wird ferner die „cloze probability“ angesehen – ist ein Wort am Satzende semantisch richtig jedoch eher selten, so kann eine N400 beobachtet werden (Kutas & Hillyard, 1984; z.B.: *Der Hund hat den Kochen besabbert.*).

Offensichtlich spiegelt die N400-Komponente den Versuch des Systems wider, bestimmte Informationen im Kontext zu analysieren, und gilt im sprachlichen Bereich als das Zeichen für die semantische Integration (Hahne, 2001).⁸

⁷Parietal ist der anatomische Ausdruck für „dem Scheitelbein zugeneigt“. Siehe Abbildung 3.2b und „Parietallappen“ in Abbildung A-1!

⁸Für eine umfassende Diskussion der N400-Komponente sei auf Hahne (1998), Kotz & Frisch (im Druck) und Osterhout & Holcomb (1995) verwiesen.

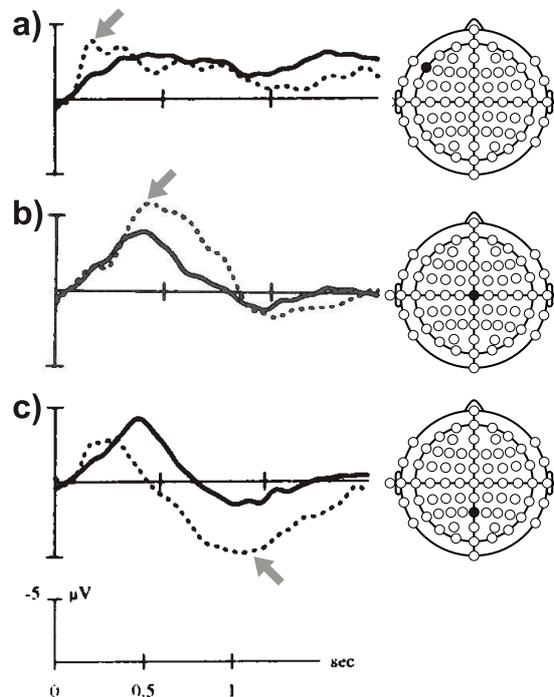


Abbildung 3.2: Sprachbezogene EKP-Komponenten und deren Ableitungsorte: a) ELAN, b) N400 und c) P600. Verglichen werden die korrekte Kondition (durchgezogene Linie) und die falsche Kondition (gepunktete Linie). Kurven entnommen aus Hahne (1998: 175f.).

3.2.3 ELAN, LAN und P600 – syntaktische Verarbeitung

Findet eine syntaktische Verletzung statt, so können in der Regel zwei Komponenten beobachtet werden.⁹ Zunächst ist eine Negativierung im anterioren (also vorderen) Hirnteilen zu finden, die je nach Latenz als *early left anterior negativity* (ELAN) oder *left anterior negativity* (LAN) bezeichnet wird.

⁹Im Gegensatz zur N400 sind diese beiden Komponenten noch nicht in dem Maße erforscht und die vorliegenden Ergebnisse sind nicht in gleichem Maße konsistent (Frisch, 2000).

Frisch (2000) setzt bei der ELAN-Komponente das *E* in Klammern, da die Latenz der Komponente nicht ganz eindeutig ist, und verweist dabei auf Ergebnisse von Neville und Kollegen (1997).¹⁰ Allerdings steht bei der ELAN auch das *L* zur Disposition, da es durchaus auch bilaterale Ausprägungen gibt (noch nicht veröffentlicht).

Die ELAN wurde vor allem bei Phrasenstrukturverletzungen gefunden, die durch Elision eines Nomens aus einer Präpositionalphrase generiert wurde (z.B. **Der Fisch wurde im gegessen.*¹¹). Fehler in der Morphosyntax lösten hingegen eine LAN aus, es handelt sich dabei um eine breite links-anteriore Negativierung im N400-Zeitfenster (z.B. Kotz, im Druck).

Relative Einigkeit dagegen besteht bezüglich der P600. Auch sie wurde bei (morpho-)syntaktischen Verletzungen gefunden. Darüber, dass Reanalyse- bzw. Reparaturprozesse für diese späte Positivierung bei etwa 600 ms im parietalen Bereich verantwortlich sind, gibt es keinen nennenswerten Widerspruch (Frisch, 2000; Hahne, 1998; Kotz, im Druck; Osterhout & Holcomb, 1995).

3.3 Vorteile und Grenzen der EKP-Methode

Die Vorteile der EKP-Methode können wie folgt genannt werden:

- Auf nichtinvasive Art und Weise können kognitive Abläufe direkt verfolgt werden.
- Es findet eine kontinuierliche Aufzeichnung statt, was der zeitlichen Analyse mehr Spielraum bietet.

¹⁰Sie fanden zum Ersten eine N125 links-anterior (ELAN), zum Zweiten eine Negativierung bei 400 ms über die ganze linke Hemisphere (LAN).

¹¹Das Sternzeichen verweist darauf, dass der Satz falsch ist.

- Es wird eine hohe zeitliche Auflösung erreicht.
- Die Versuchsanordnung ist relativ einfach und damit nicht allzu kostenintensiv.
- Aufgabenlösung seitens der Probanden ist nicht zwingend nötig, was bei reinen Rezeptionsexperimenten von Vorteil ist.

Bei den Grenzen kommen zunächst die des EEGs zum tragen:

- Das EEG ist sehr anfällig für diverse äußere Störungen, deren Einflüsse auf die Daten als „Artefakte“ bezeichnet werden. Besonders hervorzuheben sind hierbei Störungen, die durch Aktivitäten der Muskeln ausgelöst werden (Augenbewegungen, Blinzeln, Verspannungen im Nacken, Bewegungen der Gesichtsmuskulatur).
- Es werden – wie oben beschrieben – nicht alle neuronalen Generatoren detektiert. Somit ist nicht jede Aktivität messbar.
- Die neuronalen Generatoren sind schwer zu bestimmen, was sich in einer schlechten räumlichen Auflösung niederschlägt. Zwar sind die Orte, in denen die gemessenen Potentiale entstanden, potentiell errechenbar (Opitz, 1999), aber die Quellenanalyse ist kompliziert und äußerst ungenau (Coles & Rugg, 1995; Frisch, 2000; Wallesch & Deuschl, 1997).

Hinzu kommen die Probleme, die spezifisch für das EKP sind:

- Probleme bei der Komponentendefinition und deren Zuordnung zu neuronalen bzw. kognitiven Prozessen. Um eine Komponente als solche zu erkennen, benötigt man ein gewisses Maß an Erfahrung.
- Die aufgezeichneten Kurven müssen nicht zwingend die neuronalen Prozesse reflektieren. So kann es durchaus zu zeitlichen Abweichungen kommen (Frisch, 2000).

- Der ideale Stimulus für EKP-Untersuchungen ist „kurzdauernd, abrupt einsetzend und endend sowie physikalisch definiert“ (Wallesch & Deuschl, 1997: 179), somit kann es zu Problemen kommen, wenn der Stimulus länger und komplexer oder die zu untersuchende kognitive Aufgabe zu schwierig ist. Im sprachlichem Experiment können diese Vorgaben nicht immer vollends erfüllt werden.
- Es kann zu Überlagerungen von Komponenten mit ähnlichen Latenzen kommen (Kotz & Frisch, im Druck).
- Schlussendlich kann die Häufigkeit der Trials zu Habituation (Gewöhnung) und Automatismen führen.

Zusammengefasst lässt sich jedoch feststellen, dass die EKP-Methode ein starkes Instrument in der Hand des Neuropsychologen ist, da hier vor allem zeitliche Abläufe untersucht werden können und einige der oben genannten Beschränkungen mit einem Mehr an methodischer Erfahrung beherrschbar werden.

Kapitel 4

Funktionelle Magnetresonanztomographie (fMRT)

4.1 Funktionsweise

Für die Entwicklung der Magnetresonanztomographie (MRT) erhielten Paul Lauterbur und Peter Mansfield den Nobelpreis für Medizin im Jahre 2003. Bekannter ist diese Technologie unter dem Namen „Kernspintomographie“ und diese Bezeichnung beschreibt auch die grundlegende Funktionsweise der MRT.

„Atomkerne, die eine ungerade Anzahl von Protonen oder Neutronen enthalten [...], besitzen im Grundzustand einen Eigendrehimpuls oder Kernspin.“ (Möller, 2002: 3) Eine sich bewegende elektrische Ladung hat magnetische Eigenschaften.

Bei der MRT wird der Körper des Probanden in einen röhrenförmigen Raum¹ gelegt und dort einem starken Magnetfeld B_0 ausgesetzt.² Das hat zur Folge,

¹Die „Röhre“ ist so eng, dass gerade der Körper der Versuchsperson darin Platz findet.

²Gängig sind zur Zeit Magnetfelder mit der Feldstärke von 1,5 bis 3 T (T = Tesla, zum Vergleich: das Erdmagnetfeld hat eine Feldstärke von $7,5 \times 10^{-6}$ T)

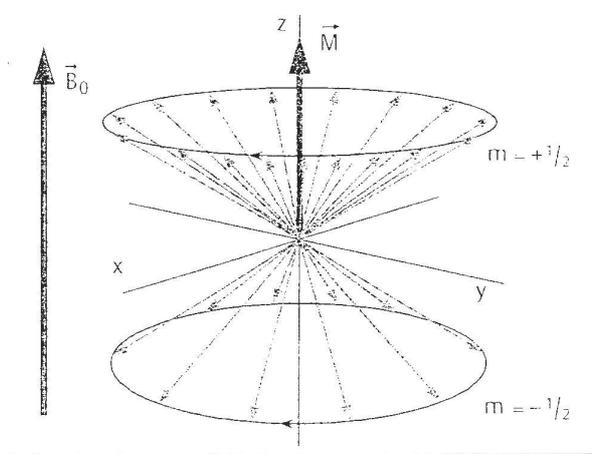


Abbildung 4.1: Ausrichtung der Wasserstoffkerne an B_0 . Entnommen aus Möller (2002: 4).

dass sich die rotierenden Protonen in der Summe ihrer Feldvektoren parallel zu B_0 ausrichten (Abbildung 4.1). Dann wird diese Ausrichtung durch kontrollierte Einstrahlung eines Störfeldes („Puls“) gestört, d.h. die Protonen werden „ausgelenkt“ (Abbildung 4.2). Wird der Puls abgeschaltet, richten sich die ausgelenkten Protonen wieder an B_0 aus. Dieser Vorgang des Wiederausrichtens wird als Relaxation bezeichnet. Bei der Relaxation senden die Protonen eine Hochfrequenzstrahlung aus, die durch supraleitende Spulen detektiert werden kann (Boelmans & Meuth 2003; Möller, 2002).

Bei der Relaxation wird zwischen zwei Zeitbereichen unterschieden. Der erste (T_1) hängt von der Stärke von B_0 ab und beschreibt die Ausrichtung entlang der z-Achse (longitudinale Relaxation). T_2 dagegen gibt die Zeit an, welche die Kerne brauchen, um sich in x-y-Richtung wieder zu positionieren (transversale Relaxation). Bei der transversalen Relaxation spielen zusätzlich Feldinhomogenitäten eine entscheidende Rolle. Sie führen dazu, dass sich T_2 vergrößern kann, wodurch T_2^* (totale transversale Relaxationszeit) definiert ist (Möller, 2002).

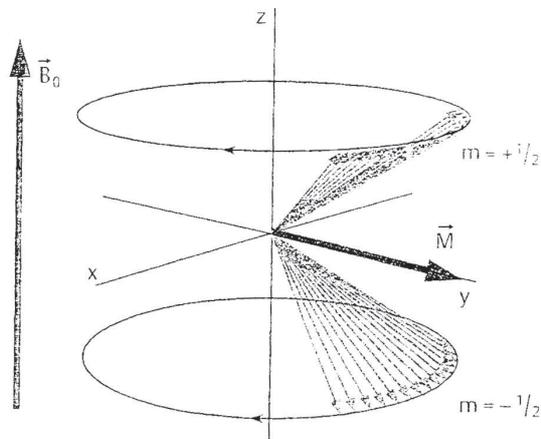


Abbildung 4.2: Ablenkung der Wasserstoffkerne durch den „Puls“. Entnommen aus Möller (2002: 6).

Durch kontrollierte Änderungen von B_0 mittels Gradientenfelder ist es ohne Probleme möglich, eine Ortskodierung vorzunehmen und so Schichtbilder anzufertigen.³

Für die funktionelle Bildgebung mittels MRT spielt $T2^*$ eine besondere Rolle. Durch die Aktivität des Gehirns ändert sich der Blutfluss in dem aktiven Areal (Attwell & Iadecola, 2002, auch zur detaillierten Diskussion). Lokal ändert sich damit das Verhältnis von oxydiertem Hämoglobin (Hb) und desoxydiertem Hb, Eingang findet dies im so genannten BOLD-Wert (BOLD = Blood-Oxygen-Level Dependent). Mit dem sich verändernden Verhältnis von oxydiertem und desoxydiertem Hb kommt es zu Veränderungen der Magnetfeldinhomogenitäten im betreffenden Bereich. Dies ist dadurch zu erklären, dass Deoxyhämoglobin „paramagnetischer“⁴ ist als Oxyhämoglobin (Turner et al., 1998). Damit wirkt das Blut des Probanden als Kontrastmittel zur Detektion von Hirnaktivierung mittels MRT. Bewiesen wurde dies durch Ogawa

³Eine genauere Behandlung dieses Komplexes würde hier zu weit führen. Geneigte Leser seien deswegen auf den detaillierten Aufsatz von Möller (2002) verwiesen.

⁴Der Paramagnetismus ist eine stoffinhärente Eigenschaft hervorgerufen durch nicht-gesättigte Spin- und Bahndrehimpulse. Paramagnetische Stoffe führen daher zu starken Magnetfeldinhomogenitäten.

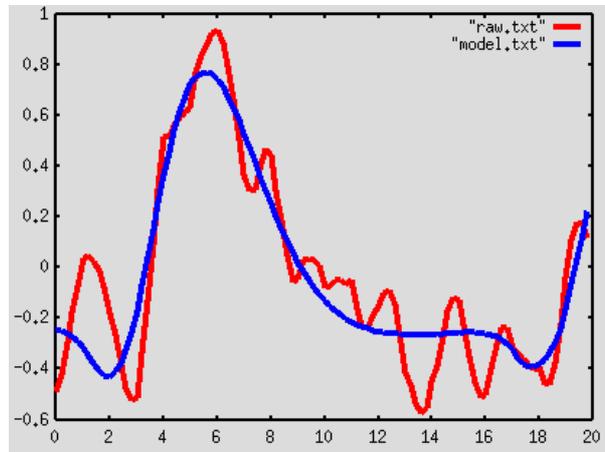


Abbildung 4.3: Verlauf des Boldsignals in Abhängigkeit von der Zeit im Rohsignal (rot) und Modell (blau). Entnommen aus der LIPSIA-Hilfe.

und Kollegen (1990) sowie durch Turner und Kollegen (1991).

Das BOLD-Signal ist damit Basis der fMRT und nimmt folgenden zeitlichen Verlauf: Nach einem kurzen Signalabfall („initial dip“) überkompensiert der Körper den Sauerstoffverbrauch, was zu einem Signalanstieg mit einem Maximum nach etwa 5 bis 8 Sekunden führt und dann langsam wieder abklingt (Opitz, 1999; Abbildung 4.3). Insgesamt verläuft dieser Prozess über einen Zeitraum von 15 bis 20 Sekunden.

4.2 Datenakquisition und -analyse

Die Versuchsperson befindet sich in einem Tomographen während sie an einem psychologischen Experiment teilnimmt. Für die weitere Bearbeitung der Daten stehen eine Reihe von Softwareapplikationen zur Verfügung. Eine davon ist das in Leipzig entwickelte Softwarepaket LIPSIA (z.B. Lohmann et al., 2001).⁵

⁵Da alle Programme mit den gleichen Problemen konfrontiert sind und allgemein die gleiche Auswertung erfolgt (z.B. Ramsey et al., 2002; Turner et al., 1998), werde ich im Folgendem anhand dieses Systems die Datenaufbereitung erläutern.

In einer Reihe von „Preprocessing“-Schritten werden die Daten von Artefakten befreit. Es folgt die Berechnung der einzelnen Slices⁶ errechnet. Weiterhin werden die Daten in den „Talairach-Raum“ überführt. Talairach und Tournoux (1988) definierten ein allgemein anerkanntes Koordinatensystem für das menschliche Gehirn.⁷

Die Daten werden dann mittels dem *General Linear Model* (GLM) ausgewertet. Es handelt sich hierbei um ein kompliziertes statistisches Verfahren, das Aktivierungskarten für jede einzelne Kondition erstellt. Dafür greift LIPSIA auf die in einem so genannten „Design-File“ definierten Zeiten für die einzelnen Ereignisse zurück.

Signaländerungen können nur betrachtet werden, wenn man die Werte für zwei Konditionen⁸ miteinander vergleicht, der Experimentator bekommt so eine Reihe von Kontrasten, wobei die Unterschiede zwischen zwei Konditionen bzw. Konditionengruppen betrachtet werden.⁹ Die Werte für die Signaländerungen sind statistische Werte, die im Allgemeinen mit dem z-Wert angegeben werden. Statistische Signifikanz besteht bei z-Werten größer 3,1.

⁶Ein Slice ist ein zweidimensionales Schnittbild des Gehirns. In der Regel werden zur Abdeckung des Hirns 16 bis 20 Slices benötigt. Mit fMRT erhält man keine Bilder wie bei der Fotografie, d.h., die Punkte werden nicht simultan aufgenommen, sondern Punkt für Punkt ausgelesen. Wenn der erste Punkt eines Slices zum Zeitpunkt t_0 detektiert wurde, so wird der letzte zum Zeitpunkt t_0+t_x ausgelesen. Diese Abweichung wird mittels Interpolation (einem mathematischen Verfahren der Datenabschätzung mittels Messwerten) in der so genannten Slicetime-Korrektur behoben.

⁷Weil dieses System auf dem Gehirn lediglich eines Menschen basiert und auch dort nur eine Hemisphäre untersucht wurde, ist es nicht unumstritten.

⁸Eine Ruhekondition muss als solche im Experiment explizit definiert werden und auch im Design-File mit entsprechenden Zeitpunkten eingehen.

⁹Zur Illustration folgendes Beispiel: In Kondition A sieht ein Proband Bilder und soll die abgebildeten Objekte benennen, in Kondition B soll er die Bilder lediglich betrachten und in Kondition C liegt er nur im Scanner und soll „nichts“ denken. Der Kontrast A-B macht deutlich, welche Areale ausschließlich für die Sprachproduktion aktiv sind. B-C zeigt die Areale, die für Bildperzeption verantwortlich sind. A-C zeigt die Areale, die für die Bildperzeption und die Sprachproduktion verantwortlich sind. Konditionengruppen entstehen, wenn die Ergebnisse mehrerer Konditionen zu einer Gruppe zusammengefasst werden, um sie mit einer anderen Kondition (z.B. der Ruhekondition) oder einer anderen Gruppe von Konditionen zu kontrastieren (z.B. (A+B)-C).

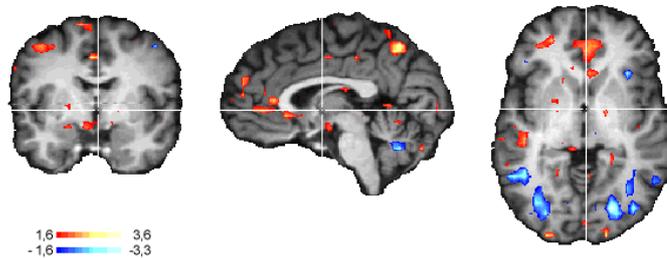


Abbildung 4.4: Aktivierungsmuster generiert mit LIPSIA von dem Experiment „L2Switch2“ von Sonja A. Kotz und Arturo E. Hernandez. Das Bild zeigt die exklusiv deutschen (L1, rot) und die exklusiv englischen (L2, blau) Areale bei der Lexikverarbeitung. Hinweis: Ein Großteil der Aktivierung ist unterhalb statistischer Signifikanz, diese Illustration sollte nur der Veranschaulichung dienen!

Um die Kontraste der einzelnen Probanden mitteln zu können, müssen die anatomischen Unterschiede der Probandenhirne ausgeglichen werden. Dazu errechnet LIPSIA eine Transformationsmatrix, in der definiert wird, wie die Daten der einzelnen Probanden in Teilen gestreckt bzw. gestaucht werden müssen, um passend zu einem Referenzhirn zu sein.¹⁰ Sind die Daten derart referenziert, ist eine Mittelung möglich. Häufig werden zur Veranschaulichung der Ergebnisse die Aktivierungsmuster in Falschfarbendarstellung (welche die unterschiedlichen Signifikanzen darstellen) auf anatomische Aufnahmen von Gehirnen projiziert (z.B. Abbildung 4.4). Zum besseren Vergleich mit Ergebnissen anderer Studien werden die Ergebnisse ferner häufig in Tabellen wiedergegeben, die Orte höchster Aktivierung sind dann im Talairach-Koordinatensystem kodiert. Häufig werden in den Tabellen ferner die so genannten Brodmannareale angegeben. Brodmann (1909) unterteilte als Erster die Großhirnrinde nach histologischen Gesichtspunkten (Florey, 1996; Trepel, 2004).

¹⁰Das „Referenzhirn“ im Leipziger Max-Planck-Institut für Kognitions- und Hirnwissenschaften entstand durch Mittelung der anatomischen Daten mehrerer Probanden.

4.3 Besonderheiten des fMRT-Designs – Jittering

Zunächst wurden bei der fMRT vorwiegend Blockdesigns eingesetzt (Donaldson & Buckner, 2000). Das lag vor allem daran, dass man aus der Positronenemissionstomographie (PET) bisher einschlägige Erfahrungen hatte. PET kann aus technischer Sicht **nur** mit Blockdesigns arbeiten. Bei Blockdesigns werden Trials einer Kondition in Blöcken zusammengefasst und hintereinander präsentiert.

In der neueren Anwendung der fMRT wird jedoch häufig das ereigniskorrelierte Design verwendet. Dabei werden – analog zum EKP – die Stimuli in einer randomisierten Reihenfolge der Konditionen präsentiert.

Bedenkt man jedoch den Verlauf der BOLD-Kurve (Abbildung 4.1), wird beim ereigniskorreliertem Design ein Problem besonders deutlich. Um eine Aktivierungsänderung mit Sicherheit einem Ereignis zuordnen zu können, müsste zwischen jedem Ereignis eine Pause von mehr als 20 Sekunden liegen. Das ist zum einen zu ermüdend, zum anderen ist das teilweise auch durch den Experimentator nicht gewünscht (z.B. wenn aus experimentellen Gründen eine schnelle Abfolge der Stimuli realisiert werden soll). Liegen die Ereignisse nun im gleichmäßigen Abstand könnte man zu dem in Abbildung 4.5 (links, unten) gezeigten Signalverlauf kommen. Hier ist die statistische Auswertung erschwert bzw. unmöglich, da auf sieben Unbekannte nur drei unabhängige Gleichungen kommen. Gestaltet man jedoch die Zeitabstände zwischen den Trialonsets¹¹ variabel, wie im rechten Beispiel gezeigt (ebenfalls Abbildung 4.5), so ist die Anzahl der unabhängigen Gleichungen größer als sieben – eine zuverlässige Zuordnung eines Signals zu einem Ereignis ist damit gewährleis-

¹¹Der Trialonset steht für den Beginn eines Trials (z.B. Anfang eines Satzes oder Einblenden eines Wortes).

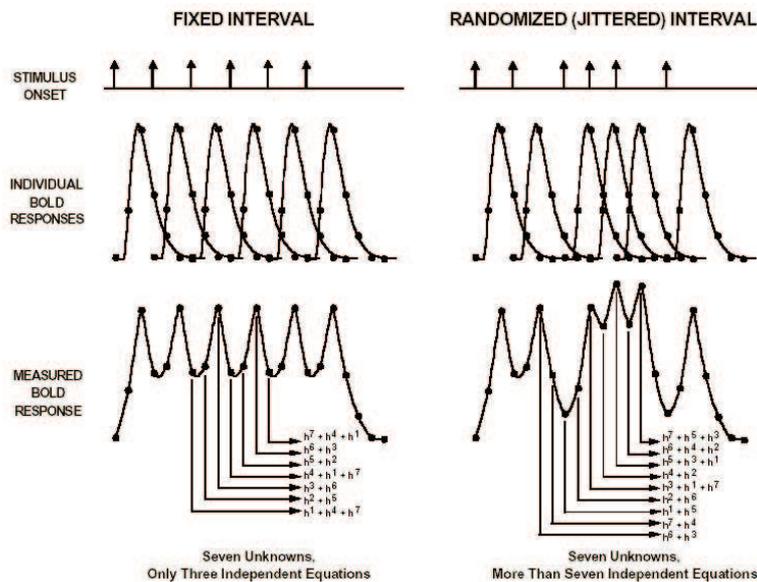


Abbildung 4.5: Begründung der Notwendigkeit des Jittering (Donaldson & Buckner, 2000).

tet. Dieses Verfahren der variablen Zeitunterschiede zwischen den Trialonsets wird als *Jittering* bezeichnet.

4.4 Vorteile und Grenzen der Methode

Die Vorteile der funktionellen Magnetresonanztomographie sind meiner Ansicht nach die folgenden:

- Im Gegensatz zur PET gibt es keinerlei Strahlenbelastung. Probanden können deshalb häufiger getestet werden.¹²
- Eine gute räumliche Auflösung, da die Seitenkanten eines Voxels – die kleinstmögliche Volumeneinheit – 3 mm betragen. Ob diese räumliche

¹²Inwieweit sich starke Magnetfelder negativ auf den menschlichen Organismus auswirken, ist noch nicht völlig erforscht. Es wird allerdings weitgehend Unbedenklichkeit attestiert.

Auflösung für alle Fragestellungen ausreichend ist, wird in Kapitel 6 diskutiert.

- Anschauliche Ergebnisse sowohl in der Projektion auf anatomische Aufnahmen, als auch in den Tabellen. Dadurch ist auch eine gute Vergleichbarkeit von Studien gewährleistet.

Deutlich sind jedoch auch die Beschränkungen, denen die fMRT-Methode unterliegt.

- Hohe Kosten in der Anschaffung und im Betrieb der nötigen Geräte.
- Komplexe Anforderungen an das experimentelle Design.
- Der Betrieb ist nicht ganz risikofrei. So können metallische Implantate gefährlich für den Probanden werden. Träger von Herzschrittmachern fallen als Probanden gänzlich aus.
- Im Gegensatz zu EKPs ist die zeitliche Auflösung sehr schlecht. Der überwiegende Teil der Daten wird durch das mathematische Verfahren der Interpolation aus den Messdaten generiert.
- Es werden Daten im Blut gemessen. Dadurch kann es zu einer Verschiebung zwischen dem eigentlichen Aktivierungsort und des gemessenen Ortes geben. Die Blutzufuhr ist nicht punktgenau, sodass auch adjazente Gebiete bei der Aktivierung eines Areals „aufblinken“. Es wäre wünschenswert, wenn bald die technischen Voraussetzungen zur alleinigen Messung des Areals bestünden, in dem der „initial dip“ zu beobachten ist. Das ist der Ort, wo tatsächlich vermehrt Sauerstoff verbraucht wird.

Kapitel 5

Das „Friedrici-Kotz-Modell“

Ausgehend von fMRT- und Läsionsdaten haben Angela D. Friederici und Sonja A. Kotz ein Modell zur Satzverarbeitung in der Erstsprache erstellt (Friederici & Kotz, 2003).

Als Grundlage dient das Friederici-Modell zur Satzverarbeitung (Friederici, 1995), das die Satzverarbeitung in drei Phasen untergliedert. In der ersten Phase findet ein Parsingprozess statt, repräsentiert wird diese Phase durch die ELAN. Dem folgt in der zweiten Phase der volle Zugriff auf das Lexikon, d.h. sowohl auf die lexikalisch-semantische als auch auf syntaktische Informationen. Repräsentiert wird dies durch Negationen um 400 ms, zum einen die N400-Komponente für den semantischen und zum anderen die LAN-Komponente für den morphosyntaktischen Zugriff. Schlussendlich findet in der dritten Phase ein struktureller Reanalyseprozess statt, der durch die P600 gekennzeichnet ist (Friederici, 1995). Im Friederici-Kotz-Modell wird allem eine „Phase 0“ vorangestellt, der die akkustische und phonologische Analyse beinhaltet (Friederici & Kotz, 2003).

Zentral in diesem Modell sind der Gyrus temporalis superior (STG¹), der

¹Die „umgekehrte“ Schreibweise steht für die englischsprachige Bezeichnung dieses Areals (*superior temporal gyrus*). Da Ergebnisse der neuropsychologischen Forschung in der

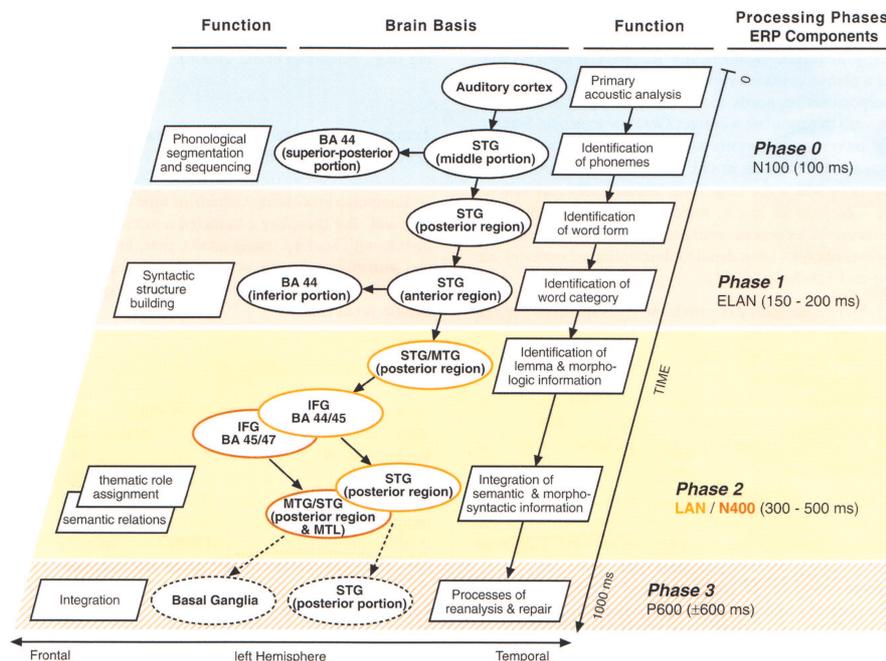


Abbildung 5.1: Das „Friederici-Kotz-Modell“. Entnommen aus Friederici & Kotz (2003: S10).

Gyrus temporalis medius (MTG, beide im Schläfenlappen) und der Gyrus frontalis inferior (IFG, im Frontallappen) sowie das Brodmannareal 44 (BA 44) der linken Hemisphäre.²

Während der *Phase 0* (phonologisches Verständnis) sind BA 44 und der mittlere STG während der Identifikation von Phonemen verstärkt aktiv. Der posteriore Teil³ des STG wird in *Phase 1* (erste syntaktische Analyse, Parsing) bei der Identifikation der Wortformen aktiviert, der anteriore⁴ Abschnitt des STG wird dann jedoch aktiv bei der Identifikation der Wortka-

Regel auf Englisch publiziert werden, habe ich mich für die englischsprachigen Abkürzungen entschieden, um Verwirrung vorzubeugen. Das gilt auch für alle weiteren anatomischen Abkürzungen.

²Im Anhang findet sich eine anatomisch gekennzeichnete Darstellung des Gehirns (Abbildung A-1) und eine Darstellung der Brodmannareale (Abbildung A-2).

³Posterior ist die anatomische Bezeichnung für „hinten“. Das Gegenteil von posterior ist anterior.

⁴Anterior ist der anatomische Ausdruck für „vorn“.

tegorie. In *Phase 2* (Zugang zur Lexik) werden beim Zugriff auf das Lemma (d.h. die semantische Information) und die morphosyntaktischen Informationen die posterioren Anteile von STG und MTG aktiviert, über den IFG geht die Information in die STG/MTG-Region zur Integration von syntaktischen und morphosyntaktischen Informationen. Bei einer Verletzung der Morphosyntax (resultierend in LAN-Komponente) ist der posteriore STG aktiv, bei semantischen Verletzungen (N400-Komponente) wird neben dem posterioren STG der hintere MTG und der mittlere Temporallappen vermehrt aktiviert. Die Integration der Information findet in *Phase 3* statt, wobei Fehler in der (Morpho-)Syntax im posterioren Anteil des STG reanalysiert bzw. repariert werden, während Fehler in der Semantik zu verstärkter Aktivierung in den Basalganglien⁵ führen.

Zur Zusammenfassung des Modells sei auf die Abbildung 5.1 verwiesen.

⁵Die Basalganglien sind subkortikale Strukturen, liegen also im Inneren des Gehirns. Sie werden vom Putamen und dem Caudate nucleus gebildet.

Kapitel 6

EKP und fMRT im Licht der Zweitsprachenerwerbsforschung

In den vorhergehenden Kapiteln ist deutlich geworden, dass EKP und fMRT eine Vielzahl von Möglichkeiten zur Erforschung des Zweitsprachenerwerbs bieten. Aus technischer Sicht jedoch scheinen EKP und fMRT mitunter etwas „grobkörnig“. Zwar können im EKP deutlich Komponenten herausgearbeitet und beschrieben werden, jedoch sind Schwankungen in Latenz und Topografie möglich, diese machen die Identifizierung neuer Komponente schwierig. Die derzeitige fMRT erfasst Voxel von rund 27 mm^3 ,¹ da das Gehirn ein Volumen von etwa 1400 cm^3 hat, scheint die Auflösung äußerst gut. Jedoch befindet sich die Mehrzahl der Neuronen konzentriert in der Großhirnrinde (dem so genannten grauen Gewebe). Somit bleibt die Auflösung der fMRT immer noch grob. Ferner werden die Daten meist nicht voxelweise analysiert, deshalb kann man nicht zur Gänze auf die Nutzung gleicher Netzwerke schließen, wenn bei zwei Konditionen ein und dasselbe Hirnareal aktiv ist.

Wie im zweiten Teil zu sehen sein wird, gibt es bisher überwiegend Perzeptionsstudien. Da das EKP äußerst anfällig für Muskelbewegungen ist, wurden damit noch keine Produktionsexperimente in größerem Maßstab durchgeführt.

¹Das entspricht einem Würfel mit einer Kantenlänge von 3 mm

Die wenigen Forscher, die sich mit Sprachproduktion und EKP befassten (z.B. Hauk et al., 2001; Schmitt et al., 2000) nutzten das so genannte „Bereitschaftspotential“². Auch die fMRT ist bewegungsanfällig, dennoch wurden erfolgreich Studien zur Sprachproduktion durchgeführt (eine Zusammenfassung findet sich bei Munhall, 2001). Bei beiden Messmethoden sind Produktionsstudien somit äußerst schwierig zu realisieren.

Besonders mit Augenmerk auf die im kommenden Teil diskutierten Studien lässt sich dennoch feststellen, dass EKP und fMRT durchaus geeignet sind, Fragen der Spracherwerbsforschung zu untersuchen. Aus technischer Sicht jedoch können sie nur die Frage nach der Verarbeitungsweise beantworten und nicht der Evaluation von Methoden dienen. Dafür sind die bisherigen Erkenntnisse noch nicht stichhaltig genug, des Weiteren gibt es zur Methodenevaluation schon eine Reihe anderer, äußerst aussagekräftige Zugänge wie z.B. die Messung von Verhaltensdaten (meist Reaktionszeit und Fehlerrate). Sie stehen zwar „nur“ für das „Produkt“ eines kognitiven Prozesses, ihre Ergebnisse sind für die Methodenevaluation jedoch ausreichend.

Die hier vorgestellten neuropsychologischen Methoden erlauben die Analyse und das Verständnis der zugrundeliegenden neuronalen Prozesse, ferner sind sie geeignet, Annahmen aus psycholinguistischen oder kognitionspsychologischen Modellen zu testen. In dieser Eigenschaft liegen ihre wahren Stärken. Jedoch sollte man sich bei der Rezeption immer vor Augen führen, dass es sich um psychologische Experimentalforschung handelt, die letztendlich immer mit Signifikanzen arbeitet. Ferner sollte immer die Aufgabe und das Stimulusmaterial kritisch geprüft werden. Besonders kritisch bei der Rezeption ist letztendlich die Übergeneralisierung von Ergebnissen, so ist z.B. der Schluss aus der Einzelwortverarbeitung auf den Gesamtkomplex *Sprache*

²„ramp-like negative shift that precedes the actual production of an voluntary [...] movement.“ (Coles & Rugg, 1995: 13, dort auch eine ausführlichere Diskussion)

unzulässig.

Teil II

Überblick über bisherige Forschungsergebnisse

Überblick

Im Folgendem sollen eine Reihe von neuropsychologischen Studien vorgestellt werden, die einen Einblick in die Zweitsprachenverarbeitung geben. Zunächst soll der Zugang zum bilingualen Lexikon thematisiert werden, dem folgt ein Abschnitt über das Wort im Satz. Hier werden semantische Verletzungen und Morphosyntax näher untersucht. Ferner sollen einige Studien zur Syntaxverarbeitung vorgestellt werden. Schlussendlich werden zwei Studien referiert, die sich mit der kritischen Periode und der Kristallisationshypothese auseinandersetzen.

Ziel dieses Teils ist nicht nur eine Dokumentation aktueller Forschungsergebnisse, es soll ferner deutlich werden, welchen Charakter neuropsychologische Daten haben und wie aus den Daten geschlussfolgert werden kann.

Kapitel 7

Bilingualer Zugang zum Wort

7.1 Studien zum Einzelwort

7.1.1 Das *Revised Hierarchical Model* von Kroll und Stewart

Die meisten Modelle bezüglich der Lexik gehen von einer Teilung zwischen den mentalen Repräsentationen – oder auch Konzepten – und den lexikalischen Informationen aus (Alvarez et al., 2003). Eines dieser Modelle ist das *Revised Hierarchical Model* (RHM) von Kroll und Stewart (1990; 1994) (z.B. Alvarez et al., 2003; Kotz, 2001; Kotz & Elston-Güttler, 2004; Abbildung 7.1). Es geht davon aus, dass die Wortformen separat für L1 und L2 gespeichert sind und dass die Wortformenspeicher auf ein gemeinsames konzeptuelles System zurückgreifen (Kotz, 2001). Wird eine Fremdsprache gelernt, so erfolgt der Zugriff der L2-Wortformen auf das konzeptuelle System zunächst über die L1-Wortformen, die Wörter der L2 werden somit zunächst in die L1 übersetzt (z.B. *heart* → *Herz* → ♡). Mit zunehmender Sprachbeherrschung jedoch erfolgt der Zugriff unabhängig von den L1-Wortformen direkt auf die Konzepte (z.B. *heart* → ♡) (Kotz, 2001).

Geht man davon aus, dass bei zunehmender Nutzung von Verbindungen diese

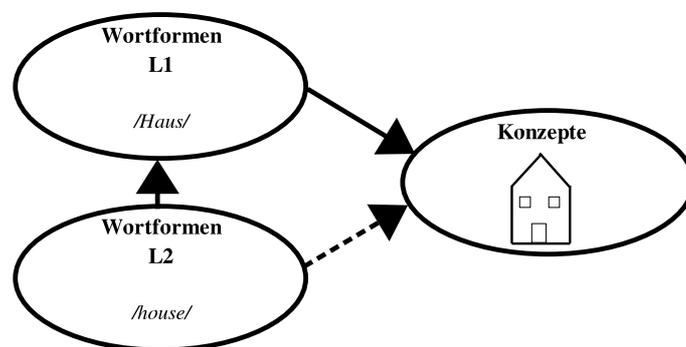


Abbildung 7.1: Das *Revised Hierarchical Model* von Kroll und Stewart (1990; 1994). Es gibt zwei separate Speicher für Wortformen und Konzepte. Der Zugang von den L2-Wortformen zu den Konzepten verläuft am Anfang über die L1-Wortformen (durchgezogene Linie), mit zunehmender Sprachbeherrschung jedoch kommt es zu einer direkten Verbindung von den L2-Wortformen zu den Konzepten (gestrichelte Linie).

gestärkt werden, wie es z.B. in der Hebbischen Lernregel¹ der Fall ist (Spitzer, 2000), so müsste zwischen L1 und L2 eine Asymmetrie erhalten bleiben. Da in der initialen Phase des L2-Lernens der Zugang über das L1-Lexikon erfolgt, werden die Verbindungen der L1-Wortformen zu den Konzepten gestärkt. Diese Asymmetrie zugunsten von L1 muss jedoch nicht andauernd von Bestand sein, sie kann sich auch auf der Grundlage von Sprachdominanz (Heredia, 1997), Entwicklungszusammenhängen (Weber-Fox & Neville, 1996) oder dem frühen Erwerb beider Sprachen (Kotz, 1996) ändern (Kotz, 2001).

Um die Asymmetrieannahme zu prüfen, testete Sonja Kotz (2001) 32 Probanden mit Spanisch als L1 und Englisch als L2 auf nahezu muttersprachlichem

¹Die Hebbische Lernregel kommt aus der Theorie neuronaler Netze. Sie besagt, dass zwei miteinander verbundene Neuronen ihre Verbindung verstärken, wenn sie gemeinsam aktiv sind. Verstärkung heißt in diesem Fall, dass sie ihre „Gewichtung“ erhöhen. In der Theorie neuronaler Netze bestimmen zwei Parameter, wie eine Zelle auf eine andere einwirken kann. Der erste beschreibt, ob die „Senderzelle feuert“ oder nicht (mögliche Werte 0 oder 1), der zweite Parameter gibt an, welchen Einfluss die „Sender-“ auf die „Empfängerzelle“ hat. Dieser Wert ist die Gewichtung. Er kann Werte zwischen -1 und +1 annehmen. Die Beeinflussung einer Zelle seitens einer anderen zu einem bestimmten Zeitpunkt ergibt sich aus dem Produkt der beiden Parameter (detailliert in Spitzer, 2000).

Niveau (Erwerbsalter < 4) in einem EKP-Experiment. Untersucht werden sollte der so genannte semantische Primingeffekt. Beim Paradigma des semantischen Primings werden den Probanden Wortpaare gezeigt. Das erste Wort ist das so genannte *Prime*, ihm folgt ein semantisch relatives oder unrelatives *Target*-Wort (so sind z.B. *Messer* und *Gabel* relativiert, *Messer* und *Bücherschrank* jedoch unrelativiert). Besteht eine semantische Relation zwischen Prime und Target, so kann diese kategorischer (z.B. *Messer* - *Säbel*) oder assoziativer (z.B. *Messer* - *Gabel*) Art sein.

In Kotz's Experiment (2001) sahen die Probanden Wortpaare. Um sicherzustellen, dass die VP sich auf den Stimulus konzentrierten, sollten sie einen so genannten *Lexical Decision Task*² (LDT) durchführen. In den EKP-Daten fanden sich keine signifikanten Unterschiede zwischen L1 und L2. Somit konnten keine Beweise für die aus dem RHM gefolgerten Asymmetrieannahme als Funktion der Sprachreihenfolge gefunden werden. Vielmehr geht Kotz (2001) davon aus, dass die Asymmetrie als Funktion des Erwerbsalters und/oder der Sprachdominanz anzusehen ist.

Den Zusammenhang zwischen Sprachbeherrschungsstand und asymmetrischem Zugriff nach dem RHM untersuchten Kotz und Elston-Güttler (2004) erneut mittels EKP. Sie testeten Probanden mit Deutsch als L1 und Englisch als L2. Der erste Lernkontakt mit der L2 erfolgte in der Schule. Mittels eines Sprachtests wurden die Versuchspersonen in eine „high-proficient“- (HI) und in eine „low-proficient“-Gruppe (LOW) eingeteilt. Die Probanden wurden einem Priming-Experiment ausgesetzt, wobei sie erneut einen LDT auszuführen hatten. Die EKP-Daten für die HI-Gruppe zeigten beim assoziativen Priming (z.B. *Messer* - *Gabel*) eine Negation im N400-Zeitfenster und beim kategoriellen Priming (z.B. *Messer* - *Säbel*) ebenfalls eine N400, die sich

²Beim LDT sollen die Probanden angeben, ob es sich bei dem präsentierten Stimulus um ein Wort oder ein Pseudowort handelt (z.B. Meyer & Schvaneveldt, 1971).

allerdings nur links-parietal signifikant von unrelatierten Wortpaaren unterschied. Auch die LOW-Gruppe zeigte für assoziatives Priming einen N400-Effekt allerdings keinen für kategorielles Priming, daraus kann geschlossen werden, dass in dieser Gruppe der Zugang zu den Konzepten weniger ausgeprägt war. Der Sprachkönnensstand – so die Autorinnen – stellt für die Zugriffsfähigkeit auf die Konzepte eine kritische Größe dar.

Auch Alvarez und Kollegen (2003) widmeten sich dem RHM. Sie testeten amerikanische Spanischlerner (L1 = Englisch) auf Anfänger- bzw. unterem Mittelstufenniveau. Sie wandten ein Priming-Paradigma an, das mit englisch- und spanischsprachigem Stimulus arbeitete. Bei dem von ihnen angewandten „immediate repetition priming“-Paradigma wird ein Wort x , das in Trial³ n präsentiert wurde, im Trial $n+1$ entweder übersetzt oder wiederholt. Somit ergeben sich drei Arten von Trials. Zum Ersten können Wörter in der gleichen Sprache wiederholt werden, zum Zweiten kann das vorhergehende Wort übersetzt werden und zum Dritten können neue Worte präsentiert werden. Aus dem Design heraus ergaben sich vier experimentelle Bedingungen:

- **1a:** L1-L1: Englisch, Wiederholung des Wortes, „within-language repetition“,
- **1b:** L1-L2: Englisch, Übersetzung des Wortes, „between-language repetition“,
- **2a:** L2-L2: Spanisch, Wiederholung des Wortes, „within-language repetition“ und
- **2b:** L2-L1: Spanisch, Übersetzung des Wortes, „between-language repetition“).

Als Stimulus verwendeten Alvarez et al. (2003) Worte, die sie aus Lehrbüchern entliehen und deren englische Übersetzungen. Die Aufgabe für die

³Als „Trial“ wird ein Einzelereignis in einem Experiment bezeichnet.

Probanden bestand darin, mit einem Knopfdruck zu reagieren, wenn das gezeigte Wort auf ein Körperteil referierte (z.B. *Arm*). Für beide Sprachen ließ sich ein Wiederholungseffekt im EKP nachweisen, da in den Konditionen 1a und 2a der N400-Effekt bei der ersten Repräsentation größer war als bei der Wiederholung. Die N400 war in für Kondition 2a marginal größer als für die Kondition 1a. Zwischen 300 und 500 ms – also dem Zeitfenster der N400 – konnte für die Kondition 2b ein größerer Effekt beobachtet werden als für die Kondition 1b. Ferner dauerte der zeitliche Verlauf der Effekte für 1b (L1 → L2) länger an als für 2b (L2 → L1). Vor allem das letzte Resultat lässt den Schluss zu, dass im beginnenden L2-Erwerb der Zugriff auf die Konzepte über die L1-Wortformen erfolgen. Der marginal größere N400-Effekt für 2a verglichen mit 1a wiederum könnte ebenfalls dafür sprechen. Gestützt wird dies durch Ergebnisse eines Eyetracking-Experiments⁴ von Marian et al. (2003) ferner durch Ergebnisse einer EKP-Studie von Liu und Perfetti (2003).

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass der Zugang der Wortformen einer Fremdsprache zu den Konzepten anfänglich über die Wortformen der Muttersprache erfolgt. Mit zunehmender Sprachbeherrschung jedoch gibt es eine direkte Verbindung von den L2-Wortformen zu den Konzepten. Dahingehend konnte das RHM bestätigt werden. Es konnte jedoch widerlegt werden, dass es auf Grund der Sprachreihenfolge zu einer Asymmetrie zwischen der L1 und der L2 kommt.

Der Frage, warum Bilinguale gut zwischen beiden Sprachen unterscheiden können, gingen Antoni Rodriguez-Fornells und Kollegen (2002) nach. Sie konnten zeigen, dass beim Lesen die nicht gebrauchte Sprache gut „weggeblockt“ werden kann, da beim Lesen der Zugriff auf die Lexik nicht direkt über die Orthographie erfolgt, sondern über die sublexikalische „letter-to-

⁴Bei Eyetracking-Experimenten werden die Bewegungen der Augen von einer Videokamera aufgezeichnet. Daraus kann geschlossen werden, worauf der Proband bei einer bestimmten Aufgabe gesehen hat.

sound route, in which the graphemic form is converted to its phonological spelling rules.“ (Rodriguez-Fornells et al., 2002: 1029)

7.1.2 fMRT-Studien

Bildgebende Verfahren haben gezeigt, dass Bilinguale mit hohem Sprachkönnensstand zur Verarbeitung von Lexik räumlich kongruente Gebiete nutzen (z.B. Chee et al., 1999b; 2000; Illes et al., 1999⁵; Klein et al., 1999). Chee und Kollegen (2000) führten mit Singapurern aus der chinesischen Bevölkerungsgruppe (L1 ist Mandarin, L2 ist Englisch) ein Experiment mit einer *Semantic-Judgement*-Aufgabe⁶ durch. Interessanterweise fanden sie für Mandarin eine höheren Grad an Aktivierung als für Englisch. Höhere Aktivierung wird im Allgemeinen mit einem größeren Aufwand bei der Verarbeitung gleichgesetzt. Da das Ergebnis von Chee et al. (2000) im Gegensatz zu Chee et al. (1999a) steht, gehen Chee et al. (2001) u.a. davon aus, dass die logographische Schrift dafür verantwortlich sein könnte.

Chee und Kollegen (2001) untersuchten, ob Probanden mit unterschiedlichem Sprachkönnensstand auf Lexik im Zusammenhang mit *semantic judgements* unterschiedlich zugreifen. Dazu testeten sie zwei Gruppen. Die erste bestand aus Singapurern (SGP). Sie begannen mit dem Erwerb von Mandarin (L1) und Englisch (L2) in einem Alter von unter fünf Jahren, nutzten beide Sprachen in ihrem alltäglichen Leben und verfügten in beiden Sprachen über muttersprachliches Niveau. Die zweite Gruppe wurde von Chinesen aus der Volksrepublik China gestellt (PRC). Sie lernten Mandarin als Muttersprache und begannen mit dem Erwerb des Englischen in der Grundschule, lernten

⁵Hier wurden zwar in den Einzeldaten Unterschiede festgestellt, die jedoch nicht konsistent bei allen Probanden waren. Dieses Ergebnis ist aus L2-Lernperspektive sehr interessant, da dies z.B. auf unterschiedliche Lernstrategien schließen lässt (zumal bei dieser Studie ein vergleichbares Erwerbssalter und ein ähnlicher Sprachkönnensstand vorlag). Leider gehen Illes et al. (1999) nicht weiter auf dieses Phänomen ein.

⁶D.h., die Probanden sollten entscheiden, ob zwei Stimuli semantisch relatiert sind.

jedoch erst mit einem Alter ab zwölf Jahren Englisch zu lesen und zu schreiben. Nach ihrer Schulausbildung kamen sie nach Singapur und hatten von da an ebenfalls täglichen Kontakt zu beiden Sprachen.

Den Probanden wurden in diesem Experiment Triplets von Wörtern visuell präsentiert, diese Triplets bestanden aus einem Beispiel- und zwei Testworten. In der ersten Aufgabe sollten die Probanden entscheiden, welches der beiden Testworte dem Beispiel am nächsten kommt (z.B. *house – boat/villa*). Die zweite Aufgabe bestand darin zu entscheiden, ob die Testworte größer oder kleiner gedruckt waren als das Beispielwort. Als Stimuli wurden englische und chinesische Nomen eingesetzt.

Während bei der SGP-Gruppe kein Unterschied in der Aktivierung beider Sprachen gefunden werden konnte, zeigten in der PRC-Gruppe sechs von neun VP im Englischen zusätzliche Aktivierungen in linken und rechten opercularen⁷ Regionen, welche die inferior-frontalen⁸ Regionen einschlossen. Chee und Kollegen führen dies auf größere Belastungen zurück. Die räumliche Verteilung der Aktivierungen in den posterioren Gyrus temporalis superior und Gyrus temporalis medius wiesen bei der PRC-Gruppe eine größere Variabilität auf als in der SGP-Gruppe. Insgesamt folgern Chee und seine Kollegen (2001), dass die Unterschiede durch den unterschiedlichen Sprachkönnensstand zu erklären seien.

Der Einfluss unterschiedlicher Erwerbssalter bei der semantischen Verarbeitung ist gering, dies zeigten auch Halsband und Kollegen (2002). Sie testeten zehn Finnen, die Englisch erst in der Schule erworben hatten. Auch sie konnten keine räumlichen Unterschiede zwischen beiden Sprachen finden.⁹ Von

⁷Operculum referiert in der Anatomie auf den „Deckel“.

⁸Inferior zeigt in der Anatomie auf die unterhalb des Bezugspunktes gelegene Region.

⁹Zu beachten ist allerdings, dass in den skandinavischen Ländern im Fernsehen häufig Englisch zu hören ist. Es kann somit nicht ausgeschlossen werden, dass die Kinder nicht schon vor der Schule ein gewisses Maß an Englischkenntnissen hatten.

der Nutzung gleicher neuronaler Strukturen bei der semantischen Verarbeitung berichten ferner Chee et al. (2003), Pu et al. (2001) und Tan et al. (2001) u.a. Alle testeten Personen mit hohem Sprachkönnensstand.

Tan et al. (2003) testeten Chinesen, die Englisch als L2 lernten und fließend sprachen, in einem Rhyme-Judgement-Task¹⁰, als Stimulus dienten chinesische und englische Worte, als Referenzaufgabe diente wie schon bei Chee et al. (2001) ein Font-Size-Judgement. Bei den Chinesen konnten keine Unterschiede in den Aktivierungen zwischen Chinesisch (L1) und Englisch (L2) festgestellt werden. Interessant jedoch sind Unterschiede, die diese Gruppe mit einer amerikanischen Kontrollgruppe aufwies, die mit dem gleichen Material (natürlich nur mit dem englischen Stimulus) die gleichen Aufgaben zu lösen hatten. Bei Volumenvergleichen zwischen den beiden Gruppen zeigten die Chinesen eine größere Aktivierung im linken mittleren frontalen Kortex, während die Amerikaner eine größere Aktivierung im linken Gyrus temporalis superior und im frontal-inferioren Kortex aufwiesen. Tan und Kollegen (2003) führen dies auf die logographische Schrift der Chinesen zurück.

Kim et al. (2002) testeten Koreaner mit niedrigem Sprachkönnensstand in ihrer L2 (Englisch) in einer Erkennenaufgabe. Die Probanden sollten eine Taste drücken, wenn sie einen bestimmten Stimulus sahen (dies konnte entweder ein Bild, ein englisches oder ein koreanisches Wort sein). Kim und Kollegen (2002) konnten unterschiedliche Aktivierungen für L1 und L2 im rechten dorsolateralen¹¹ präfrontalen Kortex nachweisen. Der dorsolaterale präfrontale Kortex gilt als zentral beim so genannten „phonological loop“¹².

¹⁰Die Probanden sollten entscheiden, ob sich zwei präsentierte Worte reimten (z.B. *deer-beer*).

¹¹Dorsal heißt in der anatomischen Fachsprache „den Rücken betreffend“, lateral steht für „die Seite betreffend“.

¹²„The phonological loop, composed of an articulatory store and a subvocal rehearsal system, is necessary for the acquisition and utilization of both native and second language vocabulary.“ (Kim et al., 2002: 880)

Der linke dorsolaterale präfrontale Kortex (insbesondere der Gyrus frontalis inferior bzw. die BA 44 und 6) wird von Arturo Hernandez und Kollegen (2000; 2001) mit dem Language-Switching, also mit dem Umschalten zwischen zwei Sprachen, in Zusammenhang gebracht. Ferner berichten Hernandez et al. (2000), dass dieser Teil des Gehirns allgemein mit dem Umschalten zwischen Aufgaben in Verbindung gebracht wird.

7.2 Das Wort im Satz und Morphosyntax

Alle bisher diskutierten Studien setzten mehr oder weniger auf der Einzelwortebene an. Im Folgendem sollen drei EKP-Studien betrachtet werden, die sich mit semantisch falschen Sätzen bzw. mit falscher Morphosyntax befassen.

Wie schon im ersten Teil erläutert, löst ein semantisch falscher Satz eine centro-parietale Negativierung mit einer Gipfelatenz bei etwa 400 ms aus, diese Komponente wird deshalb auch als N400 bezeichnet.

Anja Hahne (2001) wandte ein komplexes Design an. In ihrer Studie untersuchte sie die Reaktionen des Gehirns auf syntaktisch und semantisch falsche Sätze. Als Probanden dienten ihr Spätaussiedler mit Russisch als L1 und Deutsch als L2 sowie eine deutsche Kontrollgruppe. Die Spätaussiedler wurden einem Test unterzogen, in dem nachgewiesen wurde, dass sie im perceptiven Bereich einen hohen Sprachkönnensstand aufwiesen.

Als Material dienten eine Reihe von Sätzen in drei Experimentalkonditionen vor: korrekte Sätze (z.B. *Die Tür wurde geschlossen*, Die Unterstreichung markiert das kritische Wort.), semantisch falsche Sätze (z.B. **Der Ozean wurde geschlossen*.) sowie syntaktisch falsche Sätze (z.B. **Das Geschäft wurde am geschlossen*.). Ferner wurden eine Reihe von ebenfalls korrekten Füll-

sätzen verwendet (z.B. *Das Geschäft wurde am Samstag geschlossen.*).

Verglichen mit der Kontrollgruppe zeigte die Spätaussiedlergruppe auch bei korrekten Sätzen im N400-Zeitfenster eine stärkere Negativierung. Bei semantisch falschen Sätzen konnten zwischen den beiden Gruppen (Spätaussiedler und deutsche Kontrollgruppe) keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden. Syntaktisch falsche Sätze wurden dagegen unterschiedlich verarbeitet, so fehlt in der Spätaussiedlergruppe der frühe Negativierungseffekt (ELAN), der ein Prozess des frühen Parsens darstellen soll und als hochautomatisiert gilt. Auch zeigte der direkte Vergleich zwischen korrekten Sätzen und syntaktisch falschen Sätzen einen viel stärkeren Unterschied in der Kontroll- als in der Spätaussiedlergruppe.

Das gleiche Paradigma wandten Hahne und Friederici (2001) an. Sie testeten japanische Muttersprachler auf Mittelstufenniveau, die Deutsch erst nach der Pubertät erworben hatten. Auch sie fanden einen N400-Effekt in der semantisch falschen Kondition, die jedoch von den äußeren rechten Elektroden ausging. Ferner zeigte sich ein rechtsanteriorer negativer Effekt in der japanischen Gruppe. In der syntaktisch falschen Kondition fanden Hahne und Friederici (2001) kaum Unterschiede zur korrekten Kondition, der einzige Unterschied war ein „umgekehrter“ P600-Effekt, also eine Negativierung in diesem Zeitfenster, dieser Effekt erreichte jedoch keine statistische Signifikanz. Die Ergebnisse für die syntaktisch falsche Kondition stehen im Gegensatz zu Muttersprachlern, die bei Phrasenstrukturverletzungen¹³ eine ELAN und eine P600 zeigen.

Michael T. Ullman entwarf ein Modell des Lexikons und der Grammatik, das auf der Deklarativ-prozedural-Dichotomie fußt (Ullman, 2001). Nach diesem Modell gibt es einen Speicher für nichtflektierte Wörter, der auf dem dekla-

¹³Die syntaktisch falsche Kondition wurde durch Elision eines Nomes aus einer Präpositionalphrase erzeugt.

rativem Speichersystem beruht und sich im Temporallappen befindet. Ferner gibt es eine mentale Grammatik, die aus kombinatorischen Regeln besteht und sich im Frontalhirn befindet.¹⁴ Geht man von diesen Vermutungen aus, so Ullman (2001) weiter, dann basiert die Verarbeitung einer Fremdsprache im Gegensatz zur Muttersprache vor allem auf Basis des lexikalischen Gedächtnis und viel weniger auf dem prozeduralen Wissen der mentalen Grammatik. Demzufolge müssten morphosyntaktische Fehler mit hoher Wahrscheinlichkeit erkannt und entsprechend verarbeitet werden.

Mit Reaktionen auf Fehler in der Morphosyntax beschäftigten sich Hahne et al. (2003). Sie testeten 18 fortgeschrittene Deutschlerner russischer Abstammung mit einem hohen Sprachkönnensstand in vier Experimenten, wobei nur zwei (Experimente 2 und 4) die Erfassung von EKPs miteinschloss.

Im Experiment 2 kamen Sätze mit Partizipformen zum Einsatz. Muttersprachler zeigten in einem vorhergehenden Experiment (Penke et al., 1997) bei unkorrekter Partizipierung mittels t-Suffigierung an starken Verben (z.B. **gelauft*) eine anteriore Negativierung bei 250 bis 500 ms, während es bei korrekten Regulären (z.B. *gerannt*) keinen Effekt gab. Die Probanden in Hahne et al. (2003) sahen die Sätze Wort für Wort, alle 10 Sätze kam ein Testsatz und die Probanden sollten mittels Knopfdruck indizieren, ob der Satz eine Wiederholung eines der vorher gezeigten Sätze darstellt. Bei falscher t-Suffigierung (**gelauft*) zeigten die russischen Probanden eine bilaterale anteriore Negativierung bei 250 bis 650 ms (Muttersprachler zeigen diese nur links) und eine kleine parietale Positivierung zwischen 600 und 1000 ms. Bei falscher Anwendung des Regulären (z.B. **getanzen*) wurde eine N400 festgestellt. Hahne und Kollegen (2003) weisen deutlich darauf hin, dass nicht nur Muttersprachler unterschiedliche Reaktionen bezüglich verschiedener Fehler

¹⁴Bezüglich der Neuroanatomie deklarativer und prozeduraler Gedächtnissysteme sei auf Squire & Zola (1996) verwiesen.

aufweisen, sondern auch fortgeschrittene L2-Sprecher.

In Experiment 4 wurde die Pluralbildung untersucht. Dazu wurden den Probanden Sätze mit Nomen im Plural auditorisch präsentiert. Dem Testsatz ging ein Warnton voraus und die Probanden sollten mittels Knopfdruck anzeigen, ob der Satz eine Wiederholung darstellt oder nicht. Bei vorhergehenden Experimenten mit Muttersprachlern konnten bei fehlerhaften Pluralisierungen von Regulären eine anteriore Negativierung festgestellt werden (Lück et al., 2001; Weyerts et al., 1997), Lück et al. (2001) fanden zudem eine P600. In dem aktuellen Experiment (Hahne et al., 2003) zeichnete sich zwischen s-Pluralbildung (z.B. *Er hatte zehn Rembrandts.*) und inkorrekten regulären Pluralen (z.B. **Es gab mal viele Kinders.*) ein deutlicher Unterschied ab. Während Erstere eine späte Positivierung bei 850 bis 1250 ms auslöste, kam es im zweiten Fall zu einer zentralen Negativierung bei 300 bis 800 ms, kurzum einer N400.

Kapitel 8

Syntaxverarbeitung

Schon in 7.2 wurden zwei EKP-Studien zur Syntaxverarbeitung vorgestellt (Hahne, 2001; Hahne & Friederici, 2001). Bei beiden konnten in syntaktisch falschen Sätzen im Vergleich zu syntaktisch richtigen Sätzen sowohl bei weit fortgeschrittenen (Hahne, 2001) als auch bei L2-Sprechern mit Mittelstufenniveau (Hahne & Friederici, 2001) kaum Unterschiede festgestellt werden. Bei Letzteren war der Unterschied zwischen korrekten Sätzen und syntaktisch falschen Sätzen nur marginal.

In einer frühen fMRT-Studie von Stanislas Dehaene und Kollegen (1997) wurde berichtet, dass beim Hören von Sätzen bei fortgeschrittenen L2-Nutzern nicht nur Unterschiede zwischen Mutter- und Fremdsprache zu beobachten sind, sondern dass es auch zwischen den Einzeldaten der Probanden in der L2-Kondition signifikante Unterschiede gibt. Leider hat das angewandte Design einige Schwächen. So hörten die Probanden eine Geschichte, die beobachteten Unterschiede können auf unterschiedlichste Probleme bei der Verarbeitung zurückgeführt werden. So hatte Proband A vielleicht Probleme, den Sprecher zu verstehen, während Proband B unter Umständen Schwierigkeiten beim Zugriff auf das Lexikon hatte. Dennoch warf diese Studie die Frage auf, wie diese Unterschiede zu erklären sind.

In der weiteren Forschung wurden zwei kritische Variablen als ausschlaggebend für die unterschiedliche kortikale Repräsentation zweier Sprachen diskutiert. Kim et al. (1997), Perani et al. (1998) und Chee et al. (1999b) benennen als eine wichtige Variable das Erwerbsalter („Age of Acquisition“, AOA). Nachweise mittels EKP lieferten ferner Weber-Fox und Neville (1996). Die Idee, das AOA als eine kritische Variable zu untersuchen, war sicher inspiriert durch die Plastizitätsannahme (Weiteres siehe z.B. Gordon, 2000 und Kapitel 9). Als zweite kritische Variable zur Erklärung der Unterschiede wurde der Sprachkönnensstand („Proficiency Level“, PL) angenommen (für eine Zusammenfassung siehe Abutalebi et al., 2001).

Den Einfluss dieser beiden Variablen auf die kortikale Repräsentation untersuchten Isabell Wartenburger und Kollegen (2003). Sie testeten 32 Bilinguale (L1=Italienisch, L2=Deutsch), die sie in drei Gruppen aufteilten: EAHP (früher Erwerb¹, high-proficient), LAHP (später Erwerb, high-proficient) und LALP (später Erwerb, low-proficient). Die Einteilung in den Sprachkönnensstand erfolgte mittels eines Grammatiktests. Als Material dienten deutsche Sätze, die Wartenburger und Kollegen einer Studie von Hahne und Friederici (2002) entnahmen und deren italiensische Übersetzungen. Von den 90 Sätzen in jeder Sprache waren 44 vollkommen korrekt, 23 syntaktisch falsch und 23 semantsich falsch. Die Syntaxfehler konnten in falscher Anwendung des Numerus (z.B. **Der Hund laufen über die Wiese.*²), Genus (z.B. **Das Kalender hängt an der Wand.*) oder Kasus liegen. Ein semantsich falscher Satz wäre z.B.: **Das Reh erschießt den Jäger.* Die Probanden sollten während des Experiments je nachdem entweder indizieren, ob die Sätze syntaktisch bzw. semantisch korrekt waren. Somit ergaben sich 4 Experimentalbedingungen:

- 1a) Grammatik - Deutsch,

¹AOA < 6

²Ich gebe hier die von Wartenburger et al. (2003) angegebenen Beispiele wieder. Sicherlich kann man den Fehler hier auch z.B. in der Nichtbeugung des Verbs sehen.

- 1b) Grammatik - Italienisch,
- 2a) Semantik - Deutsch und
- 2b) Semantik - Italienisch.

Im Vergleich mit der EAHP-Gruppe zeigte die LAHP-Gruppe in der Kondition 1a³ mehr Aktivierung bilateral im Gyrus frontalis inferior (BA 44 und 6). Die EAHP-Gruppe zeigte hier im Vergleich zur LAHP-Gruppe keine zusätzliche Aktivierung. In der gleichen Kondition zeigte die LAHP-Gruppe im Vergleich zur LALP-Gruppe zusätzliche Aktivierung in den linken BA 22 und 39, ferner im rechten „lingual gyrus“ (BA 18) und im rechten Parietallappen. Umgekehrt konnten keine weiteren zusätzlichen Aktivierungen gefunden werden. Für die oben gestellten Fragen sind jedoch die Vergleiche der einzelnen Sprachen innerhalb der einzelnen Gruppen von größerer Bedeutung. Es gibt in der EAHP-Gruppe keine unterschiedlichen Aktivierungen in den Konditionen 1a und 1b. In beiden Gruppen mit höherem Erwerbsalter fanden sich im Vergleich zu L1 zusätzlich weitere Aktivierungen bei der L2-Verarbeitung, die neben kortikalen Gebieten des frontalen und operkularen Kortex subkortikale Strukturen wie Basalganglien und den Thalamus einschlossen. Auch zeigten die LAHP- und LALP-Gruppe im Vergleich zu L1 bei der L2-Verarbeitung eine höhere Aktivierung im Brocaareal. Insgesamt konnten Wartenburger et al. (2003) zeigen, dass bei der Grammatikverarbeitung AOA⁴ ein wichtiger Faktor ist und eine größere Rolle spielt als das PL, dagegen ist der Einfluss des AOA bei der semantischen Verarbeitung eher gering. Hier spielt der Sprachkönnensstand eine größere Rolle.

Eine andere Erklärung für die unterschiedliche kortikale Repräsentation von

³Grammatikalitätsurteil in L2. Die semantischen Konditionen werden hier nicht im Detail diskutiert.

⁴Damit befinden sich Wartenburger und Kollegen in Einklang mit einer Reihe weiterer Studie wie z.B. Chee et al. (1999a).

zwei Sprachen geben Hasegawa und Kollegen (2002). Ihrer Meinung nach sind die unterschiedlichen Loci der Verarbeitung, wie sie von Dehaene et al. (1997) berichtet wurden, darauf zurückzuführen, dass die Verarbeitung in L2 weitere Ressourcen benötigt, die dann quasi zugeschaltet werden. Jedoch berichten sie selbst, dass es in ihrem Experiment mit Japanern ($AOA > 12$) lediglich zu 62% Überlagerung bei der L1- und L2-Verarbeitung kam. Somit ist dieses Ergebnis eher kritisch zu sehen.

Kapitel 9

Die kritische Periode auf dem Prüfstand

Eine der großen Annahmen im Zusammenhang mit dem Spracherwerb ist der einer kritischen Periode (Lenneberg, 1967). Sie besagt, dass Menschen nur in einem bestimmten Zeitabschnitt am Anfang ihres Lebens in der Lage sind, eine Sprache vollständig zu erwerben. Als Ende dieses Zeitabschnittes wird die Pubertät gesetzt (umfassende Diskussionen: Gordon, 2000; Pallier et al., 2003; Spitzer, 2002). Erklärt wird dieser Prozess, der eher als schleichender Verfall und nicht als abruptes Ende gesehen wird (Gordon, 2000), mit der zunehmenden Kristallisation bestimmter für Sprache zuständige kortikale Strukturen (Pallier et al., 2003). Die Kristallisationshypothese wurde allerdings auch heftig kritisiert, da es offensichtlich einigen L2-Lernern gelungen ist, auch noch nach der Pubertät zu perfekten L2-Nutzern zu werden (z.B. Birdsong, 1992; Long, 1990; MacWhinney, 1997b).

Zur Untersuchung der Stichhaltigkeit der kritischen Periode testeten Friederici et al. (2002) deutsche Muttersprachler, die eine Miniatursprache (*Broccanto*) lernten. Broccanto besteht aus einer Reihe Kunstwörter, die mittels einer Grammatik zu Sätzen angeordnet werden können. Dabei übernehmen die Worte auch syntaktische Funktionen wie Determinand etc. Der Vorteil

dieser kleinen Sprache lag darin, dass sie schnell erworben und perfekt beherrscht werden konnte. Bei bestimmten Phrasenstrukturverletzungen (z.B. Weglassen eines Nomens aus einer Präpositionalphrase) zeigten die Probanden ein Muster, das von L1-Sprechern bekannt ist – ELAN und P600. Vor allem die frühe negative Komponente, die als hochautomatisiert gilt, spricht gegen die kritische Periode. Friederici und Kollegen (2002) gehen daher davon aus, dass für eine Sprache viel wichtiger ist, wie komplex sie ist und wie lange sie gelernt wird, um muttersprachliche Verarbeitung zu erlangen.

Den Kristallisationseffekt untersuchten Pallier und Kollegen (2003). Dazu suchten sie adoptierte Erwachsene und fanden schließlich eine Reihe Koreaner, die als Kinder¹ nach Frankreich adoptiert wurden und seither keinen Kontakt mehr zu ihrer ursprünglichen L1 hatten. Auch gaben sie an, kein Koreanisch mehr zu verstehen oder zu sprechen. Pallier und Kollegen führten mit dieser „koreanischen“ Gruppe und einer französischen Kontrollgruppe zwei Experimente durch. Im ersten wurden ihnen in fünf Sprachen (Koreanisch, Japanisch, Polnisch, Schwedisch und Wolof²) Sätze vorgespielt und sie sollten indizieren, wenn der Satz ein koreanischer war. In einem zweiten Experiment sollten die Probanden aus zwei visuell präsentierten koreanischen Worten die korrekte Übersetzung eines französischen Wortes herausuchen.

Die Kontrollgruppe zeigte gleiche Reaktionszeiten und Fehlerraten in beiden Aufgaben wie die „koreanische“ Gruppe. Auch konnten in den fMRT-Daten keine Unterschiede gefunden werden. Nach Meinung der Autoren verfügen die ehemaligen koreanischen Adoptivkinder über keinerlei Wissen mehr bezüglich ihrer ursprünglichen L1.

Diese beiden Studien werfen ein neues Licht auf die kritische Periode, dennoch

¹Als sie nach Frankreich kamen, waren zwei im Alter von 3 Jahren, drei waren 5,5 Jahre alt und jeweils einer 7, 7,5 bzw. 8 Jahre.

²Eine in Westafrika (Senegal) gesprochene Verkehrssprache.

wäre es meines Erachtens zu früh, sie als widerlegt zu betrachten. Brocanto war sehr klein, konnte somit schnell bis zur Perfektion erworben werden. Ferner zeigen die Studien von Chee et al. (1999a) und Wartenburger et al. (2003) sowie nicht zuletzt eine Reihe von praktischen Erfahrungen, dass es Unterschiede zwischen kindlichem und späterem Erwerb von Syntax gibt.

Kapitel 10

Zusammenfassung

Mit dem zweiten Teil verknüpfte ich zwei Ziele. Zum Ersten wollte ich einige bisherige Forschungsergebnisse präsentieren, zum Zweiten sollte gezeigt werden, welcher Art die Ergebnisse sind, die mittels EKP und fMRT zu erwarten sind.

Zunächst zu den bisherigen Ergebnissen. Es scheint deutlich geworden zu sein, dass man davon ausgehen kann, dass das bilinguale Lexikon auf gleiche oder höchst ähnliche Netzwerke zurückgreift. Dabei, und da ist Hahne (2001) zu folgen, spielt der Sprachkönnensstand eine entscheidende Rolle. Während zu Beginn für L2 andere Netze verantwortlich sind, nähert es sich mit zunehmendem Können L1 an. Auch scheint es keine fortdauernde Asymmetrien zu geben, wie Kotz (2001) gezeigt hat. Es ist auch offensichtlich geworden, dass zuerst die Semantik und dann die Syntax erworben wird (Hahne, 2001).

Spielt der Sprachkönnensstand in der semantischen Verarbeitung eine zentrale Rolle, so ist bei der syntaktischen Verarbeitung natürlicher Sprachen das Erwerbsalter offenbar von zentraler Bedeutung.

Für Sprachdidaktiker und Zweitsprachenerwerbsforscher sind vor allem die Frage nach der Rolle unterschiedlicher Lernstrategien wichtig. Bisher haben

nur Halsband et al. (2002) in den diskutierten Studien dazu Stellung genommen, aber auch nur oberflächlich und ohne auf andere Studien zu verweisen. Wichtig in diesem Zusammenhang finde ich vor allem die Frage, ob unterschiedliches Lernen wirklich Einfluss auf den Charakter der kortikalen Repräsentation des Wissens hat und ob dieser Unterschied durch die benutzten Methoden erfassbar ist. Hierzu ist weitere Forschung unerlässlich.

In den oben diskutierten Studien wird immer wieder von „Sprache“ und „Bilingualen“ gesprochen. Beides ist irreführend, da meist nur ein Aspekt der Sprache, also Phonologie, Lexik bzw. Syntax untersucht wurde. Die Ergebnisse für eine Modalität der Sprache sind auf die anderen nur bedingt übertragbar, wie die unterschiedlichen Einflüsse von AOA und PL auf Syntax bzw. Semantik zeigen. Auch wird selten eine Unterscheidung bei den Bilingualen getroffen was Erwerbsalter, Sprachkönnensstand, Sprachlernumgebungen und einer Reihe anderer individueller Variablen angeht. Es wäre wünschenswert, wenn hier künftig verstärkt darauf geachtet werden würde.

Vorherrschende Methode bei der Auswertung ist immer noch die Datenmittelung über alle Probanden hinweg, bzw. in den Gruppen. Nicht immer wird von den Forschern berichtet, dass sie individuelle Unterschiede beim Sprachlernen, beim Sprachgebrauch usw. mittels eines Fragebogens erhoben. Es wäre anzudenken, inwieweit es nicht sinnvoll wäre, zunehmend auch das Augenmerk auf die Einzeldaten zu legen. Ferner könnten mittels des Fragebogens auch post hoc Untergruppen gebildet werden.

Die Daten, die bei EKP- und fMRT-Studien erhoben werden, sind hochspeziell, ferner kann ein neuropsychologisches Experiment nicht allein stehen. Ihre Daten bekommen häufig erst einen Sinn im direkten Vergleich zu anderen Experimenten mit gleichem Aufbau und Material und/oder ähnlichen Ergebnissen. EKP-Daten liefern letztendlich Komponenten, die durch eine Vielzahl

von Parametern gekennzeichnet sind. Zur Auswertung gehören ein gewisses Geschick und Erfahrung. FMRT-Daten sind neuroanatomischer Natur, sie ergeben häufig erst einen Sinn, wenn man die funktionelle Neuroanatomie eines Areals verstanden hat. Wichtig bei beiden ist die **Interpretation**, da nicht ohne Weiteres die Daten auf die zu Grunde liegenden Prozesse schließen lassen. Dies herauszufinden ist die Aufgabe des Experimentators, der diese Daten interpretieren muss. Deshalb ist es von entscheidender Bedeutung, dass auch Rezipienten der Forschung **wissen**, wie die Ergebnisse zu Stande kommen und wie sie zu werten sind.

Teil III

Ein neuropsychologisches Design

Überblick

In diesem dritten Teil soll eine Skizze für ein neuropsychologisches Design entworfen werden, das sich mit dem Einfluss von Lernstrategien auf die zerebrale Repräsentation einer Zweitsprache befasst. Dazu werden zunächst die Ergebnisse einiger Studien referiert, die sich mit unterschiedlichen Lernzugängen befasst haben. Hier kamen sowohl Zeichenketten („Rebergrammatiken“) als auch Miniatursprachen zum Einsatz.

Dann soll ein mögliches Forschungskonzept grob umrissen und diskutiert werden, das sich mit dem Einfluss regelbasiertem und beispielbasiertem Lernen auf die Grammatikrepräsentation der L2 befasst.

Kapitel 11

Ergebnisse aus der Artificial-Grammar-Forschung

11.1 Das Reberparadigma und dessen Relevanz

Seit Reber (1967; 1969) werden künstliche Grammatiken (Artificial Grammars, AG) zur Erforschung impliziten Lernens eingesetzt. Nach dem klassischen Reberparadigma (1969) werden mittels eines komplexen Regelwerkes, wie in Abbildung 11.1 illustriert, Buchstaben- oder andere Zeichenketten generiert. Die Probanden werden zunächst einer Trainingsphase unterzogen, wobei ihnen einige Zeichenketten präsentiert werden. Erst nach dem Training wird den Versuchspersonen gesagt, dass den eben gesehenen Zeichenketten eine Grammatik zu Grunde liegt. In der anschließenden Testphase müssen die VP nun entscheiden, ob ihnen präsentierte Zeichenketten dieser Grammatik folgen. Die Probanden weisen einen Grad der Korrektheit auf, der durch bloßes Raten nicht zu erreichen wäre. Reber (1969) argumentiert daher, dass die Strukturen implizit erworben wurden.

In der aktuellen AGL-Literatur¹ gibt es drei Erklärungen für die Performanz der Probanden (Knowlton & Squire, 1996):

¹AGL = Artificial Grammar Learning

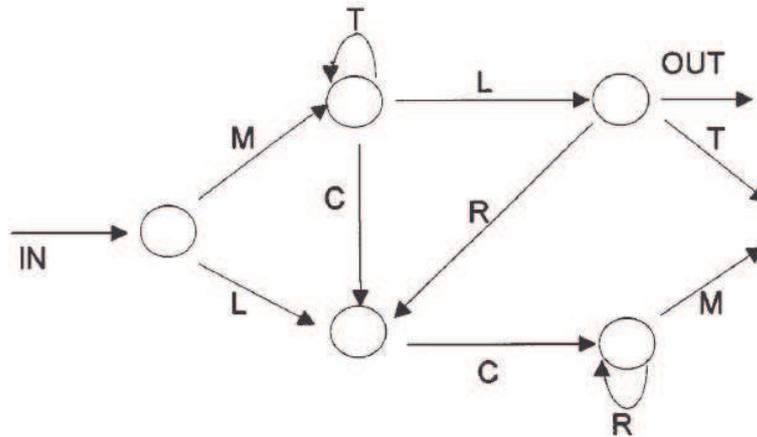


Abbildung 11.1: Beispiel für eine finite-state Grammatik nach dem Reberparadigma (Kinder, 2000: 96)

1. Die Probanden lernen implizit die zu Grunde liegende Grammatik (Reber, 1989).
2. Das Wissen wird beispielbezogen (exemplar-based) erworben, was dazu führt, dass die Probanden die aufgrund von Gemeinsamkeiten zwischen Trainings- und Teststimuli eine Entscheidung treffen können (Vokey & Brooks, 1992). Dies könnte auch die Klassifikationsperformanz erklären, bei der die Performanz von der Häufigkeit der Präsentation abhängt (Whittlesea & Dorken, 1993)
3. Auch nach der dritten Erklärung wird beispielbezogen gelernt, jedoch finden während der gesamten Trainingsphase Abstraktionsprozesse statt, deren Ergebnisse in so genannten „Chunks“ abgespeichert werden² (Perruchet & Pacteau, 1990; Servan-Schreiber & Anderson, 1990). Diese Auffassung wird durch Ergebnisse von Annette Kinder (2000) gestützt. Sie verglich die Performanz von Versuchspersonen mit dem Output zweier distinkt arbeitender neuronaler Netze und fand eine starke Übereinstimmung zwischen den Probandendaten und dem Output des

²In der Regel wird von Bi- und Trigrammen gesprochen.

*Simple Recurrent Networks*³, das stark mittels Chunking arbeitet.

Es häufen sich jedoch die Anzeichen, dass sowohl abstraktes Regelwissen, als auch explizites Beispielwissen eine Rolle bei der Klassifikation in AG-Experimenten spielen. So führten Knowlton und Squire Experimente mit Amnestikern durch, die auf Beispielwissen nicht zugreifen können. Sie konnten in Verbindung mit einer Kontrollgruppe zeigen, dass beide Wissensbestände herangezogen werden (Knowlton & Squire, 1996). Diese Ergebnisse werden von Shanks und Kollegen (1997) gestützt. Turner und Fischler (1993) teilten ihre Probanden in zwei Gruppen. Während die erste beispielbezogen lernte, sollte die zweite die Regeln elaborieren. Unter Zeitdruck schnitten die Probanden der beispielbezogenen Gruppe besser ab, war der Zeitdruck nicht vorhanden, gab es keine Unterschiede. Auch Meulemans und Van der Linden (1997) teilen die Auffassung zweier Mechanismen, die noch eine Reihe weiterer Befürworter hat (z.B. Berry & Broadbent, 1988). Dienes et al. (1991) wollten dies beweisen, fanden jedoch keine Signifikanz.

Insgesamt lässt sich feststellen, dass es keine einheitliche Erklärung für die Performanz beim Reberparadigma gibt, die Anzeichen scheinen sich meines Erachtens jedoch auf die dritte Annahme (Chunking) zu verdichten.

Die dem Reberparadigma folgenden Studien sollen hier nicht ausführlicher diskutiert werden, dies hängt mit einigen wesentlichen Kritikpunkten an diesem Paradigma zusammen.

- Die erzeugten Zeichenketten sind zunächst nicht als „Sprache“ erkennbar.

³Das *Simple Recurrent Network* ist ein computerbasiertes neuronales Netz, welches nicht nur die Position eines Buchstaben, sondern auch die Anfangs- und Endbuchstaben einer Buchstabenreihe speichert. Mit zunehmendem Training kommt es nicht nur zu Assoziationen zwischen den Buchstaben mit den typischen Anfangs- bzw. Endbuchstaben der Reihen, es entstehen auch vermehrt Verknüpfungen der einzelnen Buchstaben untereinander. Schlussendlich verfügt das Netzwerk über eine Reihe von Chunks, auf deren Basis es Grammatikalitätsentscheidungen vornimmt (zur weiteren Diskussion: Kinder, 2000).

- Die „Lexik“⁴ wird durch die Grammatik nicht beeinflusst, wie es in natürlichen Sprachen häufig der Fall ist. So werden zum Beispiel im Deutschen, Russischen und Französischen Verben und Nomen flektiert, d.h., sie erfahren durch die Grammatik Veränderungen in ihrer Morphologie. Dies ist bei den Zeichen der „Rebergrammatiken“ nicht der Fall.
- Das Ziel der AG-Forschung ist die Erforschung unbewussten Lernens von strukturiertem Input (z.B. Servan-Schreiber & Anderson, 1990). Zwar verfügt der Komplex *Sprache* auch über eine Struktur, sie ist jedoch nicht mit der einer AG nach Reber zu vergleichen.
- Im Gegensatz zu natürlichen Sprachen fehlt der semantische Aspekt, was meines Erachtens eher als Vorteil des Paradigmas zu werten ist, können so doch rein strukturelle Aspekte des Sprachenlernens untersucht werden.⁵

Einen anderen Ansatzpunkt verfolgt der Miniatursprachen nutzende Zweig der AG-Forschung. Er entwickelt Kunstsprachen, die natürlichen Sprachen sehr ähnlich sind. Eine Übertragung deren Ergebnisse auf das Lernen natürlicher Sprachen ist problemlos möglich im Gegensatz zu Ergebnissen von Studien, die mit bloßen Zeichenketten arbeiten.

⁴Mit Lexik bei „Rebergrammatiken“ (Beispiel siehe Abbildung 11.1) sind die Zeichen an den Knotenpunkten gemeint.

⁵So ist der Satz: *Peter tritt den Ball.* auch zu erschließen, wenn man die Bedeutungen der Wörter *Peter*, *treten* und *Ball* kennt. Allerdings ist dies nur bei einfachen Konstruktionen möglich, in denen durch die Wortstellung der Sinnzusammenhang deutlich wird. Wird die Wortstellung verändert, z.B. durch das Passiv, dann kann es bei dieser Strategie zu falschen Interpretationen kommen. Zu diesem Komplex im Erstspracherwerb sei auf Sharwood Smith (1994) verwiesen.

11.2 Miniatursprachenforschung

Eine dieser Miniatursprachen ist *Keki*, mit deren Hilfe Yang und Givón (1997) Givóns „competition hypothesis“ (Givón, 1990) testen wollten. Sie geht davon aus, dass es im frühen L2-Erwerb zu einem Wettstreit um Speicherplatz, Aufmerksamkeit und Prozessressourcen zwischen dem Vokabular und der Grammatik kommt. Bei diesem „Wettkampf“ spricht gegen die Grammatik, dass sie zur Kommunikation nicht so stark benötigt wird wie das Vokabular. Erhalten Lerner im frühen L2-Unterricht einen pidginartigen, simplifizierten und dennoch wohlgeformten Input⁶, wird dadurch der Erwerb von Vokabeln besser unterstützt, als wenn Vokabel- und Grammatikvermittlung parallel verlaufen. Givón (1990) geht weiter davon aus, dass bei vorangeschrittener Automatisierung der Vokabelverarbeitung die Lerner die Syntax schneller erwerben.

Yang und Givón benötigten eine Sprache, die sich syntaktisch und morphotaktisch maximal verschieden von Englisch – der Muttersprache der Probanden – unterscheiden sollte, und dennoch wie das Englische über eine hochuniverselle semantische und pragmatische Organisation verfügt. Weiterhin sollten die Probanden über kein Vorwissen verfügen. Schließlich sollte durch die Verwendung einer Kunstsprache Komplexitäten bzw. Irregularitäten vermieden werden.

Während des Lernens – eine Gruppe mittels Pidgininput, eine Kontrollgruppe mittels paralleler Grammatik- und Vokabelvermittlung – wurden die Verhaltensdaten der Probanden aufgezeichnet (Korrektheit und Reaktionszeit). Beim Experiment 1 (Word recognition - Worterkennung) wurden englische, Keki- und Nichtwörter präsentiert. Hier näherten sich die Werte der Reaktionszeiten der Kekiwörter denen der englischen Baseline an. Gleiches gilt

⁶Givón verweist hier auf Clyne (1977), Ferguson (1975), Kleifgen (1985) und Meisel (1977).

für das semantische Priming-Experiment. In der Übersetzung erreichte die Korrektheit zur 20. Stunde den Wert von 90% und blieb dort, während die Reaktionszeiten weiter absanken. Im vierten Experiment (Satzelizitation - Wiederholung von Sätzen in einem gewissen zeitlichen Abstand) schnitt die Grammatikgruppe sowohl bei der lexikalischen wie auch bei der grammatikalischen Wiederholung besser ab als die Pidgingruppe. Die Werte für die Pidgingruppe bei der Grammatikalitätsbewertung waren extrem schlecht.

Auch wenn die beiden Autoren davor warnen, noch zu früh Generalisierungen anzustellen, lässt sich dennoch feststellen, dass Grammatikvermittlung am Anfang des Unterrichts nicht zu schaden scheint bzw. sogar von Nutzen sein kann. Dies steht im Gegensatz zu Givóns Hypothese.

Robert DeKeyser (1995) testete zwei Hypothesen der Psycholinguistik und der kognitiven Psychologie. Die erste besagt, dass bei einfachen Regeln explizit-deduktives Lernen gegenüber implizit-induktivem Lernen im Vorteil ist (Krashen, 1982; Reber et al., 1980). Laut der zweiten Hypothese jedoch ist beim Lernen von „fuzzy rules“ (DeKeyser, 1995: 379), also hilflos schwierigen Regeln, das implizit-induktive Lernen prototypischer Muster von Vorteil (MacWhinney et al., 1989; Rummelhart, 1989).

Für sein Experiment verwendete DeKeyser (1995) die Kunstsprache *Implexan* in zwei Dialekten, um sprachsystematische Interferenzen möglichst gering zu halten. Seine Versuchspersonen lernten auf zwei Wegen: Einer Gruppe wurden Bilder und Sätze gleichzeitig präsentiert, sie sollten anhand der dargestellten Situationen und der Sätze die Zusammenhänge zwischen den Satzgliedern elaborieren können. Die zweite Gruppe dagegen lernte die grammatikalischen Regeln. Zum Abschluss des Experiments mussten die Probanden eine Grammatikalitätskategorisierung (grammatical judgement) vornehmen und einen schriftlichen Produktionstest absolvieren.

Für beide Hypothesen fand DeKeyser Bestätigungen, jedoch erreichte lediglich der Nachweis für die erste These statistische Signifikanz. Interessanterweise decken sich diese Ergebnisse mit denen Peter Robinsons. Er führte ein Experiment mit 104 ESL-Lernern⁷ durch und fand lediglich eine statistisch signifikante Bestätigung für die erste Hypothese (Robinson, 1996).

Demzufolge scheint das explizite Lernen bei einfachen Regeln dem implizitem überlegen zu sein. DeKeyser kommt zu dem Schluss, dass das implizite Lernen von Gemeinsamkeiten zwar möglich und nachvollziehbar ist, dass jedoch niemals abstrakte Regeln implizit gelernt werden können (DeKeyser, 1995).⁸

Auch de Graaf (1997) versuchte mittels einer Kunstsprache (*Experanto*) dem Einfluss expliziter Grammatikunterweisung auf den L2-Erwerb auf den Grund zu kommen. Als strittig erweist sich hierbei die Frage, inwieweit aus explizitem Regelwissen implizites Wissen entstehen kann, das für die Performanz in der L2 von entscheidender Bedeutung ist. Krashen (1981; 1982; 1985) vertritt den Standpunkt, dass aus explizitem niemals implizites Wissen werden kann. Dieser so genannten „noninterface“-Position (de Graaf, 1997) stehen eine Reihe von Kognitionspsychologen gegenüber, die es für möglich halten, dass aus explizitem implizites Wissen wird. Häufig wird in diesem Zusammenhang Andersons ACT-Theorie (z.B. Anderson, 1982; 1987) referiert (z.B. DeKeyser, 2001; Schmidt, 1992). Sie geht davon aus, dass aus explizitem Regelwissen durch ständige Wiederholung implizites Wissen entsteht. Dieser starken Position steht eine schwächere entgegen, die nicht von einer Verbindung zwischen beiden Wissenssystemen ausgeht, jedoch annimmt, dass durch eine explizite Vermittlung der Input besser verarbeitet werden kann. Mit anderen Worten: Die explizite Vermittlung unterstützt den Erwerb impliziten Wissens (zum

⁷ESL = English as Second Language

⁸Er verweist in diesem Zusammenhang ferner auf die Forschungsergebnisse von Perruchet und Pacteau (1990; 1991), Servan-Schreiber und Anderson (1990) sowie auf Shanks und St. John (1994).

enhanced Input siehe z.B. Alanen, 1995; Sharwood Smith, 1994).

Die explizit unterwiesenen Teilnehmer des Esperantoexperiments zeigten bei Grammatikalitätskategorisierungen durchweg bessere Ergebnisse als die implizit unterrichtete Gruppe. Weiterhin ist der Effekt der expliziten Unterweisung bei syntaktischen Strukturen größer als bei morphologischen. Die Effektivität der expliziten Unterweisung konnte ferner gesteigert werden, wenn die Probanden die Möglichkeit der Überwachung (Monitoring) hatten, da die Performanz unter Zeitdruck schlechter war (de Graaf, 1997).

Auch Robert DeKeyser (1997) testete Fragen der Automatisierung mittels einer Kunstsprache (*Autopractan*). In seinen Hypothesen geht er davon aus, dass eine gelernte Grammatik durch beständiges Üben graduell automatisiert wird. Die Reaktionszeiten und die Fehlerraten werden während dieses Prozesses der Funktion $f(x) = x^n$ mit $n < 0$ folgen.⁹ Des Weiteren postuliert DeKeyser eine übungsspezifische Automatisierung, so dass ausschließlich auf Rezeption trainierte Probanden besonders bei Verstehensaufgaben eine Verbesserung erfahren, während vor allem in Sprachproduktion trainierte Probanden sich in diesem Bereich verbessern. Findet ein Training sowohl in Perzeption also auch in Produktion statt, so werden diese Probanden einen Mittelwert erreichen. Er folgt damit einer Annahme der Automatisierungstheorie, dass Automatisierung domänenspezifisch ist (DeKeyser, 1997).

Seine 60 Probanden teilte er in drei Gruppen ein. Alle wurden explizit in den vier Syntaxregeln von *Autopractan* und der 32 Wörter umfassenden Lexik explizit unterwiesen. Dann fanden 22 Sitzungen mit jeweils maximal einer Stunde Dauer statt, bei denen den Probanden Sätze und Bilder parallel prä-

⁹Die Funktion hat somit eigentlich folgende Gestalt: $f_1(x) = \frac{1}{x^n}$ mit $n > 0$. Die klassische *Power-Law-Funktion* ist $f_2(x) = a + \frac{b}{x^c}$ (z.B. Logan, 1988), sie bildet meines Erachtens den Prozess besser ab, da sie nicht wie DeKeyser's Gleichung ($f_1(x)$) gegen 0 strebt, sondern gegen einen asymptotischen Wert a .

sentiert wurden, die Probanden mussten Satzlücken ausfüllen.

Für seine erste Hypothese – durch Üben zunehmende Automatisierung bei gleichzeitigem Abfall der Reaktionszeiten und Fehlerraten – fand DeKeyser eine Bestätigung. Seine mathematische Beschreibung trifft für die Reaktionszeiten zu, die Fehlerraten dagegen fügen sich nicht so deutlich in die Gleichung. Für die Hypothese der Übungsspezifität fand DeKeyser ebenfalls eine Bestätigung, leider konnte er für seine These über die sowohl in Produktion als auch in Perzeption trainierten Versuchspersonen bei seinen Ergebnissen keine Signifikanz erreichen.

Ihm gelang damit der Nachweis, dass Sprache wie auch andere kognitive Fähigkeiten der Automatisierung unterworfen sind, und dass Üben zu hochspezialisierten Fähigkeiten führt (DeKeyser, 1997).

11.3 Zusammenfassung

Fasst man die Ergebnisse der Forschung mittels künstlicher Grammatiken (Reberparadigma und Miniatursprachen) zusammen, so ergibt sich bezüglich implizitem und explizitem Lernen ein vielseitiges Bild: Zeichenketten werden demnach eher über Abstraktionen von Beispielen, so genannten Chunks gelernt. Allerdings ist allen oben behandelten Studien zum Reberparadigma gemein, dass keine explizite Unterweisung in die Syntax der Sprache erfolgte. Somit blieb den Probanden nichts anderes möglich, als nach einer Strategie der Verarbeitung zu suchen.

Die oben diskutierte Miniatursprachenforschung sowie Robinsons ESL- Experiment (Robinson, 1996) dagegen beschäftigte sich mit den Vorzügen der expliziten Grammatikunterweisung. Betrachtet man die Geschichte der SLA-Forschung (exemplarisch MacWhinney, 1997a) verwundert dies nicht, be-

zweifelte man doch in den 70er und 80er Jahren den Sinn expliziter Unterweisung (Krashens Arbeiten der 1980er Jahre seien dafür exemplarisch genannt). Robert DeKeyser (1995; 1997), de Graaf (1997), Robinson (1996) und Yang und Givón (1997) machten deutlich, dass diese Annahme falsch ist. Jedoch sollten eifrige Didaktiker auf Grund solcher Ergebnisse nicht überreagieren. MacWhinney (1997a) hat völlig recht, wenn er meint, dass Lerner von beidem das beste erhielten, wenn sie nicht nur eine explizite Unterweisung erhalten würden sondern die Formen auch implizit präsentiert bekämen. Explizite Unterweisung helfe immer noch am besten bei einfachen, durchsichtigen Formen, während sie bei komplexen eher irritierend wirken könne (MacWhinney, 1997a).

Im Hinblick auf ein mögliches neuropsychologisches Design lässt sich zunächst feststellen, dass unterschiedliche Grammatikvermittlung sich in einem unterschiedlichen Output niederschlägt. Die entscheidende Frage aus neuropsychologischer Sicht ist, ob die Unterschiede sich auch auf der Ebene neuronaler Repräsentation finden lassen.

Kapitel 12

Diskussion eines möglichen Forschungsdesigns

12.1 Vorüberlegungen

Wie in Teil II ausgeführt, können bei Experimenten zur Zweitsprachenverarbeitung zwischen den einzelnen Probanden teilweise erhebliche Unterschiede festgestellt werden (z.B. Dehaene et al., 1997). Die beiden gängigen Begründen zielen zum einen auf ein unterschiedliches „Erwerbsalter“ (vor allem im Bereich der Syntax), zum anderen auf den unterschiedlichen Grad der Sprachbeherrschung (im semantischen Bereich) ab. Aus zweitspracherwerbstheoretischer Sicht stellt sich die Frage, ob ferner unterschiedliche Lernstrategien, Einstellungen oder andere lernerspezifische Variablen, wie Aufmerksamkeitsfähigkeit oder Intelligenz, die Abweichungen erklären könnten.¹ Für die Fremdsprachendidaktiker ist die Frage nach den unterschiedlichen Lernstrategien besonders interessant, lassen sich daraus doch Schlussfolgerungen für die Vermittlung ableiten. Auch ist die Annahme, dass unterschiedliche Lernstrategien zu unterschiedlicher Verarbeitung führen, meines Erachtens schlüssig und testbar.

¹Eine gute Darstellung unterschiedlicher individueller Einflüsse auf das Lernen ist in Spitzer (2002) zu finden.

Im Folgendem soll deshalb ein mögliches Design² vorgestellt und diskutiert werden, das untersuchen soll, welchen Einfluss unterschiedliches Lernen auf die zerebrale Repräsentation sprachlichen Wissens bei Fremdsprachenlernern hat.

12.2 Probanden

Alle Probanden sollten im gleichen Alter angefangen haben, Deutsch zu lernen. Ferner sollten es innerhalb der Population keine größeren Unterschiede im Grad der Beherrschung geben. Diese beiden Bedingungen dienen dem Ausschluss der beiden Variablen AOA und PL. Denkbar ist daher eine Beginnergruppe etwa gleichen Alters (z.B. Austauschstudenten). Unter Umständen sollte man überlegen, inwieweit bei der Auswahl auf unterschiedliche Lernvorlieben und kognitive Stile geachtet werden sollte. Einerseits wäre es wünschenswert, diese Variablen kontrollieren zu können, andererseits gibt es keinen Lerner, der exakt einem Typus entspricht.

12.3 Versuchsaufbau und -durchführung

Die Probanden werden in zwei Gruppen geteilt. Beide werden mit dem gleichen grammatikalischen Stoff in streng kontrollierten Kursen auf jeweils unterschiedliche Art und Weise konfrontiert.

Die erste Gruppe (A) löst zunächst viele Einsetz- und Anwendungsaufgaben, wobei die zu lernende grammatikalische Konstruktion als vorgefertigte Blöcke dargeboten wird, wobei durch das Material sichergestellt ist, dass bei den Aufgaben wohlgeformte Sätze die Lösungen bilden.³ Im Anschluss

²Das hier vorgestellte Design soll lediglich eine **Skizze** eines möglichen Forschungsvorhabens darstellen.

³Zur Illustration: Zum Komplex Adjektivänderung könnte eine Aufgabe lauten: *Ergänze: Ich mag... a) das schöne Mädchen.; b) die blaue Sporttasche.; c) den neuen EM-*

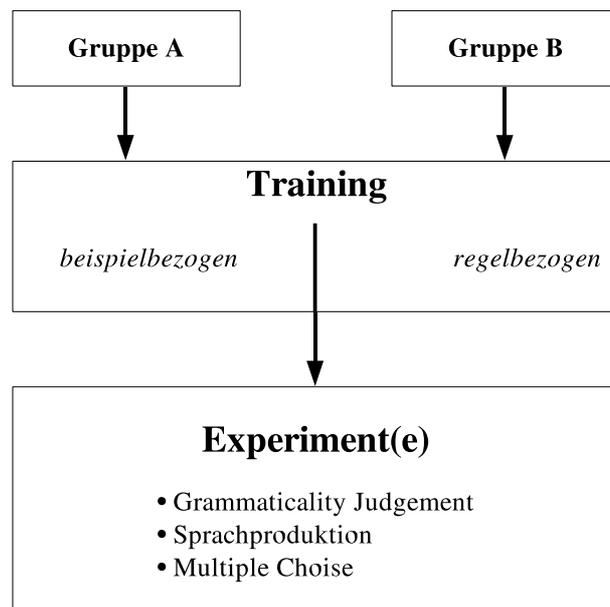


Abbildung 12.1: Illustration des möglichen Designs: Die Probanden werden in die beiden Gruppen eingeteilt und unterschiedlich unterrichtet. In den darauffolgenden Experimenten (EKP oder fMRT) wird untersucht, ob eine unterschiedliche zerebrale Repräsentation vorliegt. Als mögliche Aufgaben kommen Grammaticality Judgement (*Ist der Satz korrekt?*), Satzproduktion oder Multiple Choise (*Welche Form ist korrekt?*) in Frage.

wird dieser Gruppe die Regel präsentiert, wobei immer wieder auf die vorhergehenden Beispiele verwiesen wird. Auf diesen Schritt sollte man eventuell im Hinblick auf MacWhinney (1997a) verzichten. Er hatte darauf aufmerksam gemacht, dass man nicht sicher sein kann, inwieweit implizite Wissensbestände durch explizite Unterweisung abgeändert werden können. Beim abschließenden Üben der Struktur wird bei Zwischenfragen immer wieder auf die Beispiele am Anfang Bezug genommen. Erfolgt eine Regelthematization, müssen die Probanden der Gruppe A zur Sicherheit vor dem Üben das Arbeitsblatt mit der Regelerklärung abgeben.

Die zweite Gruppe (B) wird hingegen gleich am Anfang mit der Regel konfrontiert. Bei der Vermittlung dienen die Einsetz- und Anwendungsaufgaben lediglich als Beispiele, wobei immer wieder auf die Regel verwiesen wird, auch beim abschließenden Üben der Struktur wird immer wieder auf die Regel verwiesen.

Halten sich die Probanden der Gruppen A und B strikt an die Anweisungen, sollte Gruppe A extrem itembasiert lernen, während Gruppe B stark regelbezogen lernt. Die Probanden in beiden Gruppen werden gebeten, sich in der Zeit zwischen Kurs und Messung nicht nochmals mit dem Stoff zu beschäftigen.

Es folgen dann Messungen, wobei die Probanden entscheiden müssen, ob ein Satz grammatikalisch richtig ist. Als Alternative dazu wäre auch an Multiple-Choice-Aufgaben oder Sprachproduktionstests (hier wäre jedoch maximal die Nutzung der fMRT möglich) zu denken. Anzustreben wäre eine EKP-Messung und ein Scan im Magnetresonanztomographen. Zum Abschluss der Untersuchungen sollte zur Sicherheit eine Befragung durchgeführt werden,

Fußball.!

die vor allem zur Klärung folgender Fragekomplexe beitragen soll:⁴

1. Welche bisherigen Sprach(lern)erfahrungen haben die Probanden?
2. Welche Strategien wendeten die Probanden während des Lernens bzw. Testens an?
3. Wie fanden sie die Art des Unterrichts? Haben sie sich wohlgefühlt?

Der Fragebogen kann zur weiteren Analyse der neuropsychologischen Daten herangezogen werden, um weitere Untergruppen bilden zu können. Dadurch wird ein Test zusätzlicher Variablen probandenspezifischer Daten ermöglicht. Eine solche Triangulation ist bei diesem Experiment dringend geboten.

12.4 Material

Ansatzweise gibt es zwei Optionen bezüglich des Materials. Klassischerweise werden, wie oben ausgeführt, künstliche Grammatiken verwendet. Die Vorteile liegen für den Experimentalpsychologen auf der Hand:

- Der Experimentator hat volle Kontrolle über den Stimulus. Somit können Nebeneffekte weitgehend ausgeschlossen werden.
- Die Grammatik kann an das Vorwissen der Probanden angepasst werden. So können z.B. grammatikalische Regeln verwendet werden, die es in der Muttersprache der Probanden nicht gibt.

Ferner können künstliche Grammatiken mit semantischen Informationen ausgestattet werden, so dass die lexikalischen Elemente einen Sinn bekommen.

Als nachteilig wirkt sich bei den AGs die Künstlichkeit aus. Die Probanden

⁴Die folgenden Fragen sind die abstrakten Erkenntnisinteressen. Sie müssten für einen Fragebogen weiter operationalisiert werden. Bei der Operationalisierung werden abstrakte Fragen in mehrere konkrete überführt und so das abstrakte Konstrukt messbar gemacht.

können die von ihnen gelernte Sprache nie im Alltag anwenden, sei sie auch noch so klein und mit „sinnhafter“ Lexik ausgestattet. Somit wird die für das Experiment lernende Versuchsperson zum Schüler, der für die Klassenarbeit lernt. Die Einflüsse des Experiments auf die Motivation der Probanden wurde von Yang und Givón (1997) erhoben. Sie befragten die Teilnehmer des *Keki*-Experiments (siehe S. 64f.) nach ihren Lernerfahrungen und ihrer Motivation. In den von den Autoren wiedergegebenen Beispielantworten (Yang & Givón, 1997: 190) wird häufig das Geld genannt (Probanden werden in der Regel bezahlt). Ferner sahen es einige als persönlichen Test an. Während des Experiments, so einer der Probanden, hätte er aus Verantwortungsgefühl heraus gelernt. Ein Proband hatte einfach nur Spaß am (Vokabel-)Lernen mit dem Computer. Als demotivierend wurde allerdings auch die Nutzlosigkeit des Wissens genannt.

Zudem ist nicht hinreichend nachgewiesen worden, dass die kognitiven Prozesse, denen das Erlernen einer natürlichen Sprache zu Grunde liegen, genau die gleichen sind, die zum Erlernen einer künstlichen Grammatik aktiviert werden (Müller, gesendet).

Demzufolge liegt die Verwendung einer natürlichen Sprache nahe. Sie ist zumindest für die am Versuch beteiligten Personen auch im Alltag anzuwenden, was eine völlig andere Motivation darstellt. Zudem können die Ergebnisse mit denen von Muttersprachlern verglichen werden, auch sind die Prozesse der Erstsprachenverarbeitung bekannt.

Umso schwerer wiegen die Nachteile natürlicher Sprachen:

- Es ist davon auszugehen, dass die Versuchspersonen ein unterschiedliches Maß an (sprachlichem) Vorwissen besitzen, dies kann jedoch im Vorfeld überprüft werden.
- Die zu testende Konstruktion sollte eine sein, für die es keine Ausnah-

men gibt.

- Die Probanden können über unterschiedliche Sprach(lern)erfahrungen verfügen und so ein unterschiedlichen Bestand an Metawissen aufweisen. Dies gilt auch für die Verwendung von AGs.

Würde als Zielsprache Deutsch eingesetzt werden, so fände der Unterricht in einem zweitsprachigem Umfeld statt, d.h., die Probanden sind die ganze Zeit der deutschen Sprache ausgesetzt und haben so viele Möglichkeiten, die vermittelte Konstruktion zu lernen. Um dies zu verhindern, kann auf zweierlei Weise verfahren werden:

1. Man weicht dem zweitsprachigem Umfeld aus, indem man in ein fremdsprachiges wechselt. Dies kann zum einen bedeuten, dass man in Deutschland eine andere Sprache unterrichtet⁵, zum anderen hat man die Möglichkeit, im Ausland eine Erhebung unter Verwendung des Deutschen als Zielsprache durchzuführen.
2. Man wählt eine sprachliche Konstruktion, die selten ist und es somit kaum Gelegenheiten zum außerunterrichtlichen Lernen geben kann. Gegen diese Variante spricht, dass solche Konstruktionen in den Progressionen in der Regel recht spät angesiedelt sind und man auf Probanden zurückgreifen muss, die ein hohes Maß an Vorwissen haben. Allerdings spricht meines Erachtens nichts dagegen, schon einen Anfänger zu experimentellen Zwecken mit einer seltenen Konstruktion zu konfrontieren, folgen Progressionserwägungen doch nicht allein dem Komplexitätskriterium, sondern schließen z.B. sprachinhärente Logik oder Aufkommenswahrscheinlichkeit mit ein.

Unabhängig von der eingesetzten Grammatik (AG, eine Fremd- bzw. Zweitsprache), die vermittelte Konstruktion muss folgende zwei Kriterien erfüllen.

⁵Wegen des doch recht großen englischsprachigen Einflusses sollte dies jedoch nicht die englische Sprache sein.

Erstens sollte die Regel einfach sein. Sie sollte, zum Zweiten, Chunking ermöglichen. Dies ist unbedingt notwendig um sicher zu stellen, dass die Gruppen mittels ihrer Methode lernen. Eine komplexe Regel kann zum Chunking einladen. Wird das Chunking erschwert, kann es als einfacher empfunden werden, die Regel zu lernen. Mit Verweis auf die oben diskutierten Miniatur-sprachenstudien sei nochmals darauf hingewiesen, dass das Erkenntnisinteresse **dieses** Experiments nicht darin liegt, herauszufinden, ob man bei einer bestimmten Konstruktion besser explizit oder implizit unterrichtet, sondern inwieweit die beiden Lernzugänge zu unterschiedlichen zerebralen Repräsentationen bzw. Verarbeitungsprozessen führen.

Trotz aller Bedenken würde ich eine Konstruktion der deutschen Sprache verwenden, die als Zweitsprache unterrichtet wird. Als eine mögliche Konstruktion käme meines Erachtens der Konjunktiv II (z.B. *Wenn ich könnte, würde ich nach Hause gehen.*) in Betracht. Es ist in der gesprochenen Sprache und pragmatisch recht selten.⁶ Die Regel ist einfach, gleichzeitig ist Chunking aus der Konstruktion heraus möglich. Als mögliche Probanden kommen zwar keine Beginner in Betracht, jedoch kann man diese Konstruktion recht früh einführen.

12.5 Diskussion

Das Design verwendet zwei Zugänge zur Syntax. Bei der Unterrichtung von Gruppe A spielen Beispiele die zentrale Rolle. Man kann also davon ausgehen, dass die Probanden bei der Bewältigung des Tests stark auf die Beispiele und somit auf die Lexik zugreifen. Ferner kommt dieses Lernen dem Chunking sehr entgegen. Gruppe B hingegen wird deutlich regelbasiert unterrichtet, müsste bei der Sprachverwendung somit stärker auf abstrakte Wissens-

⁶Teile des Konjunktivs (Modal- und Hilfsverben) sind recht häufig, jedoch nicht in der Konditionalform.

strukturen zurückgreifen. Beide Gruppen müssen mit dem gleichen Material arbeiten, um Unterschiede in der Aufarbeitung auszuschließen. Die Stärke dieses Designs liegt in der Anwendung zweier diametrischer Lehrparadigmen, somit ist mit maximalen Unterschieden zu rechnen. Als Schwäche ist eine (unausgesprochene) Grundannahme des Designs zu sehen, dass der unterrichtete Input dem verarbeiteten Intake entspricht.⁷

Letztendlich kann der Experimentator nicht sicher gehen, dass die Probanden auf die von ihm gewünschte Art lernen. Als Ausweg aus dem Dilemma bleibt nur die strikte Instruktion seitens des Experimentators und der oben angesprochene Fragebogen. Hier könnte eine Quelle zur Klärung des Problems liegen, allerdings ist die Wirkung intraspektiver Interviews eher begrenzt.

Ferner ist nicht gesichert, dass Unterschiede in der Repräsentation durch die in Teil I diskutierten Messmethoden wirklich erfassbar sind. Dies wird sich jedoch erst während der Durchführung des Experiments zeigen.

⁷Zur ausführlichen Diskussion des Input-Intake Problems und der Zusammenhänge sei auf Carroll (1999) verwiesen.

Kapitel 13

Abschlussdiskussion – Neuropsychologische Methoden in der Zweitsprachenerwerbsforschung

Diese Arbeit sollte zeigen, dass die Methoden der Neuropsychologie wie die Messung ereigniskorrelierter Potentiale und die funktionelle Magnetresonanztomographie eine Reihe von Einsichten für die Zweitsprachenerwerbsforschung liefern kann. Während die fMRT geeignet ist, die an der Lösung kognitiver Aufgaben beteiligten neuronalen Module genau zu lokalisieren, gibt das EKP einen differenzierten Einblick in die zeitlichen Abläufe neuronaler Prozesse.¹ Die bisherige Zweitsprachenerwerbsforschung bediente sich vor allem Verhaltensdaten wie Fehlerrate und Reaktionszeit. Für eine Reihe von Fragestellungen (z.B. die in 11.2 diskutierten Studien) sind diese Ergebnisse durchaus ausreichend. Um zu bestimmen, ob explizite Unterweisung sinnvoll ist oder nicht, reicht es zu wissen, wie sich Fehlerraten und Reak-

¹Auch die fMRT bietet die Möglichkeit der zeitlichen Analyse von Prozessen, jedoch ist die zeitliche Auflösung sehr gering. Ferner müssen die Daten in ihrer großen Masse interpoliert werden, da die Repetitiontime (t_r , $t_r = 2$ s bedeutet z.B. dass ein Voxel alle 2 s ausgelesen wird) im Sekundenbereich liegt, die kognitiven Prozesse jedoch im Millisekundenbereich ablaufen.

tionszeiten unterschiedlicher Probandengruppen zueinander verhalten. EKP und fMRT liefern aber darüber hinaus auch Erkenntnisse, in welchen zeitlichen Abläufen die Verarbeitung stattfindet und welche Strukturen involviert sind. Im Abgleich mit anderen fMRT-Studien, welche die funktionelle Neuroanatomie eines Areals untersuchen, kann geschlossen werden, welche allgemeinen Prozesse involviert sind. So fanden z.B. Koelsch und Kollegen (2002) mittels fMRT heraus, dass bei der Verarbeitung von Musik das Brocaareal ebenfalls eine wichtige Rolle spielt. Aus dieser Erkenntnis und dem Wissen einer Reihe von Studien am Affen (z.B. Yeterian & Pandya, 1998) kann geschlossen werden, dass das Brocaareal ursprünglich der Analyse komplexer auditorischer Stimuli diente, sich beim Menschen dann noch weiter zu einem „Sprachorgan“ entwickelte.

Die bisherige neuropsychologische Forschung im Bereich bilinguale Sprachverarbeitung zeigen, dass EKP und fMRT geeignete Methoden darstellen, um psycholinguistische Modelle zu testen. Als Beispiele seien die Arbeiten von Sonja A. Kotz (2001; Kotz & Elston-Güttler, 2004) und Alvarez et al. (2003) zum *Revised Hierarchical Model* genannt. Ferner konnte gezeigt werden, welchen Einfluss das Erwerbssalter und der Sprachbeherrschungsstand auf die Bereiche Syntax (vor allem AOA) und Semantik (vor allem PL) haben. Friederici et al. (2002) und Pallier et al. (2003) lassen die kritische Periode und ihre Annahme der Kristallisation in anderem Licht erscheinen. Diese beiden Studien zeigen, wie mittels EKP- und fMRT-Untersuchungen allseits referierte Annahmen kritisch hinterfragt werden können.

Die in dieser Arbeit vorgestellten Methoden werden erst seit (relativ) kurzer Zeit zur Erforschung menschlicher Kognition eingesetzt (EKP rund 25 Jahre, fMRT rund 15 Jahre), zwar steht man nicht mehr am Beginn der Forschung, aber es sind noch viel mehr Erkenntnisse in den nächsten Jahren zu erwarten,

zumal die verwendeten Geräte immer weiter verbessert werden – z.B. Magnetresonanztomographen mit einem B_0 von 7 T.

In der öffentlichen Diskussion wird in Zusammenhang mit den Neurowissenschaften häufig mit großem Enthusiasmus gesprochen. Die Neuropsychologie hat mit EKP und fMRT zwei starke Instrumente, um den menschlichen Geist zu erforschen, jedoch sollten die Erwartungen und Schlussfolgerungen nicht übertrieben werden (z.B. Götze, 1997). Auch wenn man die Forschung der Neuropsychologen „nur“ rezipiert, ist meines Erachtens Kenntnis der Methoden, ihrer Möglichkeiten und Grenzen entscheidend. Dies sollte mit der vorliegenden Arbeit erreicht werden.

Psychologen führen ihre Experimente einem bestimmten Erkenntnisinteresse durch. Diese Fragestellungen sind jedoch oftmals nicht kongruent mit denen von Fremdsprachendidaktikern oder anderen Zweitsprachenerwerbsforschern. Es ist deswegen unerlässlich, dass diese Forscher nicht nur die Forschungsergebnisse der Experimentalpsychologen rezipieren und versuchen, auf ihre Forschungsfragen anzuwenden, sondern selbst aktiv Fragen an die Experimentalpsychologie zu stellen.² Dies würde für beide Seiten wünschenswert und fruchtbar sein.

²Wie eine solche Fragestellung aussehen könnte, wurde im dritten Teil gezeigt.

Teil IV

Anhang

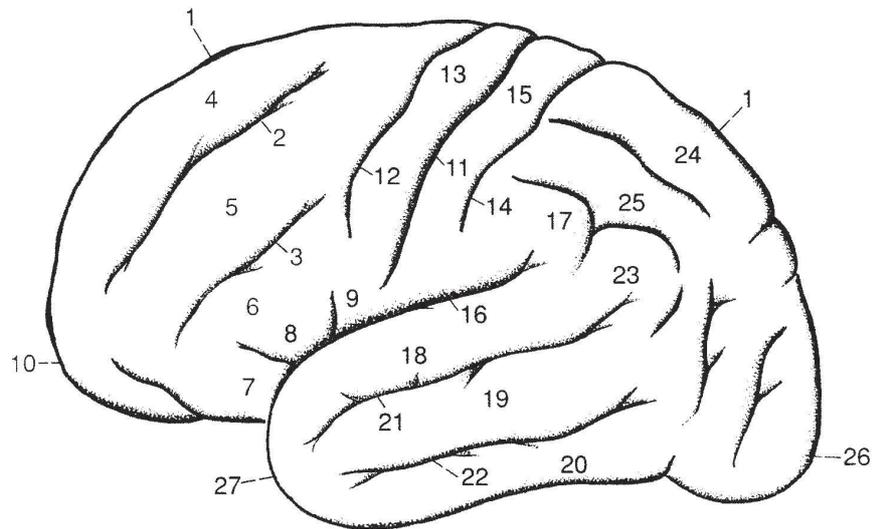


Abbildung A-1: **1** Mantelkante, **2** Sulcus frontalis superior, **3** Sulcus frontalis inferior, **4** Gyrus frontalis superior, **5** *Gyrus frontalis medius*, **6** Gyrus frontalis inferior, **7** Pars orbitalis, **8** Pars triangularis, **9** Pars opercularis, **10** Frontalpol, **11** Sulcus centralis, **12** Sulcus precentralis, **13** Gyrus precentralis, **14** Sulcus postcentralis, **15** Gyrus postcentralis, **16** Sulcus lateralis, **17** Gyrus supramarginalis, **18** *Gyrus temporalis superior*, **19** *Gyrus temporalis medius*, **20** Gyrus temporalis inferior, **21** Sulcus temporalis superior, **22** Sulcus temporalis inferior, **23** Gyrus angularis, **24** Lobulus parietalis superior, **25** Lobulus parietalis inferior, **26** Okzipitalpol, **27** Temporalpol

Der **FRONTALLAPPEN** schließt 1 bis 13 ein, der **PARIETALLAPPEN** wird durch 14, 15, 17 und 23 bis 25 gebildet und grenzt an den weiter hinten liegenden **OKZIPITALLAPPEN** entlang der Linie vom okzipitalen Ende des Lobus parietalis superior (24) zum posterioren Ende des Sulcus temporalis inferior (22). Die Grenze zwischen Okzipitallappen und Temporallappen ist durch die Linie vom posterioren Ende des Sulcus temporalis inferior (22) zum posterioren Gyrus temporalis inferior (20) definiert. Der **TEMPORALLAPPEN** seinerseits ist definiert durch 18 bis 22 (aus Trepel, 2004: 189)

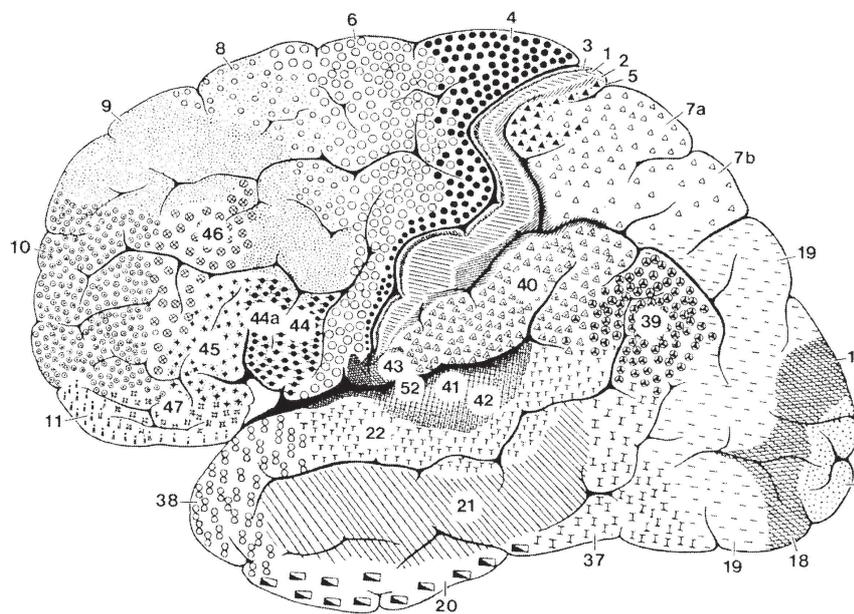


Abbildung A-2: Hirnareale nach Brodmann (1909), entnommen aus Trepel (2004: 193)

Glossar

A

Anterior

Eine anatomische Lagebezeichnung, sie steht für die Vorderseite. Beim menschlichen Gehirn referiert anterior zum Gesicht hin.

Artefakt

Als Artefakte werden Messergebnisverfälschungen bezeichnet, die auf Nebeneinflüsse und apparative Störgrößen zurückgehen.

B

Baselinezeitbereich

Der Baselinezeitbereich sollte zeitlich kurz vor einem experimentell interessierenden liegen und experimentell nicht weiter von Bedeutung sein. Das im Baselinezeitbereich gemessene Potential wird von dem des folgenden Trials abgezogen. So sollen Widerstandsschwankungen an Elektroden, wie sie während eines Experiments immer wieder vorkommen können, ausgeglichen werden. Dies ist bei der Mittelung von Bedeutung, da nur so gesichert werden kann, dass die Daten aller Trials zu etwa gleichen Teilen in die Mittelung eingehen.

Blockdesign

Beim Blockdesign werden die Trials einer Kondition in Blöcken zusammengefasst und hintereinander präsentiert.

D

Dorsal

Anatomische Lagebezeichnung, sie steht für „die Rückseite betreffen“.

E

EPSP

Das exzitatorische postsynaptische Potential ist das, welches an der Neuro-

nenmembran entsteht, wenn die Zelle angeregt wird. Es entsteht durch das Einströmen von positiven Ionen (Na^+).

Ereigniskorreliertes Design

Im Gegensatz zum Blockdesign werden die Trials hier nicht in Blöcken zusammengefasst, sondern in loser Reihenfolge hintereinander präsentiert.

Eyetracking-Experimente

Bei diesen Experimenten werden die Augenbewegungen mittels Videokamera oder Sensoren aufgezeichnet, um die Augenbewegungen und damit die Blickrichtung einer VP verfolgen zu können.

F

Fouriertransformation

Baron de Fourier entdeckte im 19. Jahrhundert, dass sich jede beliebige Kurve als Summe von Sinuskurven darstellen lässt. Will man bestimmte Störsignale, deren Frequenzbänder bekannt sein müssen, aus gemessenen Daten herausfiltern, so kann man das gemessene Signal als Summe von Sinuskurven darstellen und die entsprechenden Frequenzen durch einfaches Abziehen herausrechnen.

G

Gliazellen

Im Gehirn befinden sich neben den Neuronen eine größere Anzahl so genannter Gliazellen. Bisher wurde ihnen im Wesentlichen Stütz- und Hilfsfunktionen zugeschrieben. Erst in neuerer Zeit geht man ferner davon aus, dass sie auch an organisch neuronalen Prozessen beteiligt sind – wenn auch zu einem sehr geringen Teil.

Grammaticality Judgement

Beim Grammaticality Judgement muss der Proband entscheiden, ob ein präsentierter Satz syntaktisch richtig war (z.B. *Der Fisch wird im Restaurant gegessen.* vs. **Der Fisch wird im gegessen.*).

H

Hebbsche Lernregel

Aus der Theorie neuronaler Netze stammende Annahme, dass sich die Gewichtung zwischen zwei miteinander verbundenen Neuronen verstärkt, wenn sie gemeinsam aktiv sind. Die Gewichtung ist einer der beiden Parameter, der die gemeinsame Aktivität zweier miteinander verbundener Neuronen charakterisiert. Während der erste angibt, ob die „Senderzelle“ gerade Signale abgibt (mögliche Werte 0 oder 1), indiziert die Gewichtung, in welchem Maße die „Sender-“ auf die „Empfängerzelle“ Einfluss nimmt (die möglichen Werte liegen zwischen -1 und +1). Die Beeinflussung zu einem bestimmten Zeitpunkt ist durch das Produkt beider Parameter charakterisiert.

I

Inferior

In der Anatomie meint inferior die unterhalb des genannten Bezugspunktes gelegene Region.

Interpolation

Interpolation ist ein mathematisches Verfahren, in dem Daten mittels Messwerten geschätzt werden. Wenn z.B. zum Zeitpunkt t_A der Wert x_A und zum Zeitpunkt t_B der Wert x_B gemessen wurden, so kann x_C aus x_A und x_B interpoliert werden, wenn t_C zwischen t_A und t_B liegt.

IPSP

Das inhibitorische postsynaptische Potential ist das, welches an der Neuronenmembran entsteht, wenn die Zelle gehemmt wird. Es entsteht durch das Einströmen von negativen Ionen (Cl^-).

J

Jittering

Als Jittering wird die zeitliche Verschiebung zwischen Trialonssets bezeichnet. Ohne diese Methode wären ereigniskorellierte fMRT-Studien nicht möglich.

K

Kondition

In einer Kondition (oder auch Bedingung) werden die einzelnen Stimuli bzw. Aufgaben zusammengefasst, die eine bestimmte experimentelle Bedingung erfüllen.

L

Läsionen

Begrenzte Schädigungen eines Gewebes oder Organs, auch dessen funktionelle Beeinträchtigungen.

Lateral

Anatomische Lagebezeichnung. Sie referiert auf die Seite.

Lemma

Semantische Information im Lexikon.

Lexical Decision Task

Beim Lexical Decision Task müssen die Versuchspersonen entscheiden, ob es sich bei einem präsentierten Stimulus um ein Wort oder Pseudowort handelt (z.B. *Haus* vs. **Suah*).

O

Okzipital

Anatomische Lagebezeichnung, „den Hinterhaupt betreffend“.

Operculum

Anatomischer Begriff, er steht für „Deckel“.

P

Parietal

Eine anatomische Lagebezeichnung, sie steht für „das Scheitelbein betreffend“.

Posterior

Eine anatomische Lagebezeichnung, sie referiert zum Schwanz (oder auch „hinten“). Das Gegenteil von anterior.

Primingexperimente

Bei Primingexperimenten werden den Probanden eine Reihe von Stimuli (z.B. Worte) präsentiert. Der Targetreiz, d.h. der Reiz, auf dem gemessen wird, ist der letzte Stimulus in der Reihe, die vorhergehenden werden Primes genannt. Ein Priming (eine „Bahnung“) findet statt, wenn die Primes mit dem Target in Relation stehen (z.B. *Haus - Garten - Garage*).

R

Rhyme-Judgement-Task

Die Probanden sollen entscheiden, ob sich zwei Wörter miteinander Reimen (z.B. *Haus - Klaus* vs. *Peter - Müsli*)

S

Semantic Judgement

Beim Semantic Judgement muss der Proband entscheiden, ob ein präsentierter Satz semantisch richtig war (z.B. *Der Jäger erschießt den Eber.* vs. **Der Eber erschießt den Jäger*).

Slice

Ein Schichtbild des Gehirns.

T

Trial

Ein einzelnes Ereignis in einem Experiment. Trials werden in so genannten Konditionen zusammengefasst.

Trialonset

Als Trialonset ist der Zeitpunkt definiert, an dem ein bestimmtes experimentelles Ereignis für den Probanden erstmalig physikalisch wahrnehmbar ist (z.B. Einblenden eines Wortes).

V

Verhaltensdaten

Auch „Behavioraldaten“, die gängigsten sind Fehlerrate und Reaktionszeit. In einigen Studien werden ferner die Augenbewegungen aufgezeichnet und analysiert.

Vestikel

Vestikel sind kleine Bläschen in der präsynaptischen Zelle, die zur Speicherung von Neurotransmittern dienen. Beim Eintreffen des Aktionspotentials an der Synapse vereinigen sich die Vestikel mit der Zellmembran, woraufhin die Neurotransmitter in den synaptischen Spalt gelangen.

Voxel

Analog zum Pixel, Begriff für die kleinste erfassbare Volumeneinheit.

Abbildungsverzeichnis

2.1	Kortikale Pyramidenzelle (aus Roth, 1996: 121)	5
3.1	EEG eines Hirngesunden (aus Wallesch & Deuschl, 1997: 169)	9
3.2	Die EKP-Komponenten ELAN, N400 und P600 (Kurven aus Hahne, 1998: 175f.)	15
4.1	Ausrichtung der Wasserstoffkerne an B_0 (aus Möller, 2002: 4) .	20
4.2	Ablenkung der Wasserstoffkerne durch den Puls (aus Möller, 2002:6)	21
4.3	BOLD-Signal (aus LIPSIA-Hilfe)	22
4.4	Beispiel für ein Aktivierungsmuster	24
4.5	Notwendigkeit des Jittering (aus Donaldson & Buckner, 2000)	26
5.1	„Friederici-Kotz-Modell“ (aus Friederici & Kotz, 2003: S10) . .	29
7.1	Das Revised Hierarchical Model	37
11.1	Rebergrammatik (aus Kinder, 2000: 96)	61
12.1	Mögliches Forschungsdesign	72
A-1	Gehirn mit anatomischen Bezeichnungen (aus Trepel, 2004: 189)	83
A-2	Hirnareale nach Brodmann (1909) (Trepel, 2004: 193)	84

Literaturverzeichnis

- Abutalebi, J., Cappa, S.F. & Perani, D. (2001): The bilingual brain as revealed by functional neuroimaging. *Bilingualism: Language and Cognition*, **4**, 179-190.
- Alanen, R.A. (1995): Input enhancement and rule presentation in second language acquisition. In: Schmidt, R. (Ed.): *Attention and awareness in foreign language learning*. Honolulu, 295-302.
- Alvarez, R.P., Holcomb, P.J. & Grainger, J. (2003): Accessing word meaning in two languages: An event-related brain potential study of beginning bilinguals. *Brain and Language*, **87**, 290-304.
- Anderson, J.R. (1982): Aquisition of cognitive skill. *Psychological Review*, **89**, 369-406.
- Anderson, J.R. (1987): Skill aquisition: Compilation of weak-method problem solutions. *Psychological Review*, **94**, 192-210.
- Attwell, D. & Iadecola, C. (2002): The neural basis of functional brain imaging signals. *Trends in Neuroscience*, **25**, 621-625.
- Berry, D.C. & Broadbent D.E. (1988): Interactive tasks and the imlicit-explicit destinction. *British Journal of Psychology*, **79**, 251-272.
- Birdsong, D. (1992): Ultimate attainment in second language acquisition. *Language*, **68**, 708-755.
- Boelmans, K. & Meuth, S. (2003): Bildgebung auf makroskopischer Ebene. In: Budde, T. & Meuth, S. (Hgg.): *Fragen und Antworten zu den Neurowissenschaften*. Bern, 155-174.
- Brodmann, K. (1909): *Vergleichende Lokalisationslehre der Großhirnrinde*. Leipzig.
- Carroll, S.E. (1999): Putting 'input' in its proper place. *Second Language Research*, **15**, 337-388.
- Chee, M.W.L., Caplan, D., Soon, C.S., Sriram, N., Tan, E.W.L., Thiel, T. & Weekes, B. (1999a): Processing of visually presented sentences in Mandarin and English studied with fMRI. *Neuron*, **23**, 127-137.
- Chee, M.W.L., Tan, E. & Thiel, T. (1999b): Mandarin and English single word processing studied with fMRI. *Journal of Neuroscience*, **19**, 3050-3056.
- Chee, M.W.L., Weekes, B., Lee, K.M., Soon, C.S., Schrieber, A., Hoon, J.J. & Chee, M. (2000): Overlap and dissociation of semantic processing of Chinese characters, English words and pictures: Evidence from fMRI. *NeuroImage*, **12**, 392-403.
- Chee, M.W.L., Hon, N., Lee, H.L. & Soon, C.S. (2001): Relative language proficiency modulates BOLD signal change when bilinguals perform semantic judgements. *NeuroImage*, **13**, 1155-1163.

- Chee, M.W.L., Soon, C.S. & Lee, H.L. (2003): Common and segregated neuronal networks for different languages revealed using functional magnetic resonance adaptation. *Journal of Cognitive Neuroscience*, **15**, 85-97.
- Clyne, M. (1977): Multilingualism and pidginization in Australian industry. *Ethnic Studies*, **1**, 40-55.
- Coles, M.G.H. & Rugg, M.D. (1995): Event-related brain potentials: An introduction. In: Rugg, M.D. & Coles, M.G.H. (Eds.): *Electrophysiology of Mind. Event-Related Brain Potentials and Cognition*. Oxford, New York, Tokyo, 1-26.
- Dehaene, S., Dupoux, E., Mehler, J., Cohen, L., Paulesu, E., Perani, D., van de Moortele, P.F., Lehericy, S. & Le Bihan, D. (1997): Anatomical variability in the cortical representation of first and second language. *Neuroreport*, **8**, 3809-3815.
- DeKeyser, R.M. (1995): Learning second language grammar rules. An experiment with a miniature linguistic system. *Studies in Second Language Acquisition*, **17**, 379-410.
- DeKeyser, R.M. (1997): Beyond explicit rule learning. Automatizing second language morphosyntax. *Studies in Second Language Acquisition*, **19**, 195-221
- DeKeyser, R.M. (2001): Automaticity and automatization. In: Robinson, P. (Ed.): *Cognition and Second Language Instruction*. Cambridge.
- Dienes, Z., Broadbent, D.E. & Berry, D.C. (1991): Implicit and explicit knowledge bases in artificial grammar learning. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, **17**, 875-887.
- Donaldson, D.I. & Buckner, R.L. (2000): Effective Paradigm Design. In: Matthews, P.M., Jezzard, P. & Evans, A.C. (Eds.): *Functional Magnetic Resonance Imaging of the Brain: Methods for Neuroscience*. Oxford. Ebenfalls: <http://www.psychology.stir.ac.uk/pil/pdfs/DonaldsonBucknerChapter.pdf> (17.11.03).
- Douchin, E., Ritter, W. & McCalum, C. (1978): Cognitive Psychophysiology: The endogenous components of the ERP. In: Callaway, E., Tuetung, P. & Koslow, S.H. (Eds.): *Event-related brain potentials in man*. New York, 349-411.
- Ferguson, C. (1975): Towards a characterization of English foreigner talk. *Anthropological Linguistics*, **17**, 1-14.
- Florey, E. (1996): Geist - Gehirn - Seele: Eine kurze Ideengeschichte der Hirnforschung. In: Roth, G. & Prinz, W. (Hgg.): *Kopf-Arbeit. Gehirnfunktionen und kognitive Leistungen*. Heidelberg, Berlin, Oxford, 37-86.
- Friederici, A.D. (1995): The time course of syntactic activation during language processing: A model based on neuropsychological and neurophysiological data. *Brain and Language*, **50**, 259-281.
- Friederici, A.D. & Kotz, S.A. (2003): The brain basis of syntactic processes: Functional imaging and lesion studies. *NeuroImage*, **20**, S8-S17.
- Friederici, A.D., Steinhauer, K. & Pfeifer, E. (2002): Brain signatures of artificial language processing: Evidence challenging the critical period hypothesis. *Proceedings of the National Academy of Science, USA*, **9**, 529-534
- Frisch, S. (2000): *Verb-Argument-Struktur, Kasus und thematische Interpretation beim Sprachverstehen*. Diss. Universität Potsdam, MPI Series in cognitive Neuroscience, Bd. 12.

- Givón, T. (1990): Natural language learning and organized language teaching. In: Burmeister, H. & Rounds, P.L. (Eds.): *Variability in second language acquisition: Proceedings of the tenth meeting of the Second Language Research Forum*. Eugene, 61-84.
- Gordon, N. (2000): The acquisition of a second language. *European Journal of Paediatric Neurology*, **4**, 3-7.
- Götze, L. (1997): Was leistet das Gehirn beim Fremdsprachenlernen? Neue Erkenntnisse der Gehirnphysiologie zum Fremdspracherwerb. *Zeitschrift für Interkulturellen Fremdsprachenunterricht [Online]*, **2**, http://www.spz.tu-darmstadt.de/projekt_ejournal/jg_02_2/beitrag/goetze1.htm (08.12.03).
- de Graaf, R. (1997): The Esperanto experiment. Effects of explicit instruction and Second Language Acquisition. *Studies in Second Language Acquisition*, **19**, 173-193.
- Hahne, A. (1998): *Charakteristika syntaktischer und semantischer Prozesse bei der auditiven Sprachverarbeitung*. Diss. FU Berlin, MPI Series in cognitive Neuroscience 1.
- Hahne, A. (2001): What's Different in Second-Language Processing? Evidence from Event-Related Brain Potentials. *Journal of Psycholinguistic Research*, **30**, 251-266.
- Hahne, A. & Friederici, A.D. (2001): Processing a second language: late learners' comprehension mechanisms as revealed by event-related brain potentials. *Bilingualism Language and Cognition*, **4**, 123-141.
- Hahne, A. & Friederici, A.D. (2002): Differential task effects on semantic and syntactic processes as revealed by ERPs. *Brain Research: Cognitive Brain Research*, **13**, 339-356.
- Hahne, A., Müller, J. & Clahsen, H. (2003): Second language learners' processing of inflected words: Behavioral and ERP evidence for storage and decomposition. http://privatewww.essex.ac.uk/~harald/L2-pulpa-03rev_final.pdf (01.04.2004).
- Halsband, U., Krause, B.J., Sipilä, H., Teräs, M. & Laihinen, A. (2002): PET studies on the memory processing of word pairs in bilingual Finnish-English subjects. *Behavioral Brain Research*, **132**, 47-57.
- Hauk, O., Rockstroh, B. & Eulitz, C. (2001): Grapheme monitoring in picture naming: An electrophysical study of language production. *Brain Topography*, **14**, 3-13.
- Heredia, R. (1997): Bilingual memory and hierarchical models: a case for language dominance. *Current Directions in Psychological Science*, **6**, 34-39.
- Hernandez, A.E., Martinez, A. & Kohnert K (2000): In search of the language switch: An fMRI study of picture naming in Spanish-English bilinguals. *Brain and Language*, **73**, 421-431.
- Hernandez, A.E., Dapretto, M., Mazziotta, J. & Bookheimer S. (2001): Language switching and language representation in Spanish-English bilinguals. *NeuroImage*, **14**, 510-520.
- Illes, J., Francis, W.S., Desmond, J.E., Gabrieli, J.D.E., Glover, G.H., Poldrack, R., Lee, C.J. & Wagner, A.D. (1999): Convergent cortical representation of semantic processing in bilinguals. *Brain and Language*, **70**, 347-363.
- Kim, J.-J., Kim, M.S., Lee, J.S., Lee, D.S., Lee, M.C. & Kwon, J.S. (2002): Dissociation of working memory processing associated with native and second languages: PET investigation. *NeuroImage*, **15**, 879-891.
- Kim, K.H.S., Relkin, N.R., Lee, K.-M. & Hirsch, J. (1997): Distinct cortical areas associated with native and second languages. *Nature*, **388**, 171-174.

- Kinder, A. (2000): The knowledge acquired during artificial grammar learning: Testing the predictions of two connectionist models. *Psychological Research*, **63**, 95-105.
- Kleifgen, J.A. (1985): Skilled variation in a kindergarten teacher's use of foreigner talk. In: Gass, S.M. & Madden, C.G. (Eds.): *Input in second language acquisition*. Rowley, MA, 59-68.
- Klein, D., Milner, B., Zatorre, R.J., Zhao, V. & Nikelski, J. (1999): Cerebral organization in bilinguals: A PET study of Chinese-English verb generation. *Neuroreport*, **10**, 2841-2846.
- Knowlton, B.J. & Squire, L.R. (1996): Artificial grammar learning depends on implicit acquisition of both abstract and exemplar-specific information. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, **22**, 169-181.
- Koelsch, S., Gunter, T.C., v. Cramon, D.Y., Zysset, S., Lohmann, G. & Friederici, A.D. (2002): Bach speaks. A cortical "language-network" serves the processing of music. *NeuroImage*, **17**, 956-966.
- Kotz, S.A. (1996): Bilingual memory revisited: an electrophysiological investigation of lexical and semantic representation in fluent bilinguals. Diss. Tufts University.
- Kotz, S.A. (2001): Neurolinguistic evidence for bilingual language representation: a comparison of reaction times and event-related brain potentials. *Bilingualism: Language and Cognition*, **4**, 143-154.
- Kotz, S.A. (im Druck): Die Verwendung ereigniskorrelierter Potentiale in der Sprachverarbeitung: Untersuchungen mit hirngesunden und hirngeschädigten Probanden.
- Kotz, S.A. & Elston-Güttler, K. (2004): The role of proficiency on processing categorical and associative information in the L2 as revealed by reaction times and event-related potentials. *Journal of Neurolinguistics*, **17**, 215-235.
- Kotz, S.A. & Frisch, S. (im Druck): Neurobiologie der Semantik in Wort und Satz: Elektrophysiologische Evidenz und Läsionsstudien.
- Krashen, S.D. (1981): *Second language acquisition and second language learning*. New York.
- Krashen, S.D. (1982): *Principles and practice in second language acquisition*. New York.
- Krashen, S.D. (1985) : *The input hypothesis. Issues and implications*. New York.
- Kroll, J.F. & Stewart, E. (1990): Concept mediation in bilingual translation. *Paper presented at the 31st Annual Meeting of the Psychonomic Society*, New Orleans.
- Kroll, J.F. & Stewart, E. (1994): Category interference in translation and picture naming: evidence for asymmetric connections between bilingual memory representations. *Journal of Memory and Language*, **33**, 149-174.
- Kutas, M. & Hillyard, S.A. (1980): Reading senseless sentences: Brain potentials reflect semantic incongruity. *Science*, **207**, 203-205.
- Kutas, M. & Hillyard, S.A. (1984): Brain potentials during reading reflect word expectancy and semantic association. *Nature*, **307**, 161-163.
- Lenneberg, E.H. (1967): *Biological Foundations of Language*. New York
- Liu, Y. & Perfetti, C.A. (2003): The time course of brain activity in reading English and Chinese: An ERP study of Chinese bilinguals. *Human Brain Mapping*, **18**, 167-175.

- Logan, G. (1988): Towards an Instance Theory of Automatization. *Psychological Review*, **95**, 492-527.
- Lohmann, G., Müller, K., Bosch, V., Mentzel, H., Hessler, S., Chen, L., Zysset, S. & v. Cramon, D.Y. (2001): LIPSIA - a new software for the evaluation of functional magnetic resonance images of the human brain. *Computerized Medical Imaging and Graphics*, **25**, 449-457.
- Long, M. (1990): Maturational constraints on language development. *Studies in Second Language Acquisition*, **12**, 251-285.
- Lück, M., Hahne, A., Friederici, A.D. & Clahsen, H. (2001): Developing brain potentials in children: A ERP study of German noun plurals. *Paper presented at 26th Boston University Conference on Language Development*.
- MacWhinney, B. (1997a): Implicit and explicit processes. Commentary. *Studies in Second Language Acquisition*, **19**, 277-281.
- MacWhinney, B. (1997b): Second language acquisition and the competition model. In: de Groot, A.M.B. & Kroll, J.F. (Eds.): *Tutorials in bilingualism: psycholinguistic perspectives*. Mahwah, NJ, 113-142.
- MacWhinney, B., Leinbach, J., Taraban, R. & McDonald, J. (1989): Language learning: Cues or rules? *Journal of Memory and Language*, **28**, 255-277.
- Marian, V., Spivey, M. & Hirsch, J. (2003): Shared and separate systems in bilingual language processing: Converging evidence from eyetracking and brain imaging. *Brain and Language*. **86**, 70-82.
- Meisel, J. (1977): Linguistic simplification. A study of immigrant workers' speech and foreigner talk. In: Corder, S. & Roulte, E. (Eds.): *The notion of simplification, interlanguage and pidgins, and their relation to second language pedagogy*. Genf, S. 88-113.
- Meulemans, T. & Van der Linden, M. (1997): Associative chunk strength in artificial grammar learning. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, **23**, 1007-1028.
- Meyer, D.E. & Schvanevelt, R.W. (1971): Facilitation in recognizing pairs of words: evidence of a dependence between retrieval operations. *Journal of Experimental Psychology*, **90**, 227-234.
- Müller J. (gesendet): Electrophysiological correlates of second language processing.
- Munhall, K. G. (2001): Functional imaging during speech production. *Acta Psychologica*, **107**, 95-117.
- Möller, H.E. (2002): Grundlagen der MRT. In: Rummeny, E.J., Reimer, P. & Heindel, W. (Hgg.): *Ganzkörper-MR-Tomographie*. Stuttgart, New York, 2-26.
- Neville, H.J., Nicol, J.L., Barss, A., Forster, K.I. & Garrett, M.F. (1991): Syntactically based sentence processing classes - evidence from event-related brain potentials. *Journal of Cognitive Neuroscience*, **3**, 151-165.
- Ogawa, S., Lee, T.-M., Nayak, A.S. & Glynn, P. (1990): Oxygenation-sensitive contrast in magnetic-resonance image of rodent brain in high-magnetic fields. *Magnetic Resonance in Medicine*, **14**, 68.
- Opitz, B. (1999): *Funktionelle Neuroanatomie der Verarbeitung einfacher und komplexer akustischer Reize: Integration haemodynamischer und elektrophysiologischer Maße*. Diss. Universität Leipzig, MPI Series in cognitive Neuroscience, Bd. 8.

- Osterhout, L. & Holcomb, P.J. (1995): Event-related potentials and language comprehension. In: Rugg, M.D. & Coles, M.G.H. (Eds.): *Electrophysiology of Mind. Event-Related Potentials and Cognition*. Oxford, New York, Tokyo, 171-215.
- Pakkenberg, B., Gundersen, H. & Joergen, G. (1997): Neocortical neuron number in humans. Effect of sex and age. *The Journal of Comparative Neurology*, **384**, 312-320.
- Pallier, C., Dehaene, S., Poline, J.-B., Le Bihan, D., Argenti, A.-M., Dupoux, E. & Mehler, J. (2003): Brain imaging of language plasticity in adopted adults: can a second language replace the first? *Cerebral Cortex*, **13**, 155-161.
- Penke, M., Weyerts, H., Gross, M., Zander, E., Münte, T. & Clahsen, H. (1997): How the brain processes complex words: an event-related potential study of German verb inflections. *Cognitive Brain Research*, **6**, 37-52.
- Perani, D., Paulesu, E., Galles, N.S., Dupoux, E., Dehaene, S., Bettinardi, V., Cappa, S.F., Fazio, F. & Mehler, J. (1998): The bilingual brain. Proficiency and age of acquisition of the second language. *Brain*, **121**, 1841-1852.
- Perruchet, P. & Pacteau, C. (1990): Synthetic grammar learning: Implicit rule abstraction or explicit fragmentary knowledge? *Journal of Experimental Psychology: General*, **119**, 264-275.
- Perruchet, P. & Pacteau, C. (1991): Implicit acquisition of abstract knowledge about artificial grammar: Some methodological and conceptual issues. *Journal of Experimental Psychology: General*, **120**, 112-116
- Pu, Y., Liu, H.-L., Spinks, J.A., Mahankali, S., Xiong, J., Feng, C.-M., Tan, L.H., Fox, P.T. & Gao, J.-H. (2001): Cerebral hemodynamic response in Chinese (first) and English (second) language processing revealed by functional MRI. *Magnetic Resonance Imaging*, **19**, 643-647.
- Ramsey, N.F., Hoogduin, H. & Jansma, J.M. (2002): Functional MRI experiments: acquisition, analysis and interpretation of data. *European Journal of Neuropsychopharmacology*, **12**, 517-526.
- Reber, A.S. (1967): Implicit learning of artificial grammars. *Journal of Verbal Learning and Behavior*, **5**, 855-863.
- Reber, A.S. (1969): Transfer of syntactic structure in synthetic languages. *Journal of Experimental Psychology*, **81**, 115-119.
- Reber, A.S. (1989): Implicit learning and tacit knowledge. *Journal of Experimental Psychology: General*, **118**, 219-235.
- Reber, A.S., Kassin, S., Lewis, S. & Cantor G (1980): On the relationship between implicit and explicit modes in the learning of a complex rule structure. *Journal of Experimental Psychology: Human Learning and Memory*, **6**, 492-502
- Robinson, P. (1996): Learning simple and complex second language rules under implicit, incidental, rule-search, and instructed conditions. *Studies in Second Language Acquisition*, **18**, 27-67.
- Rodriguez-Fornells, A., Rotte, M., Heinze, H.-J., Nösselt, T. & Münte T.F. (2002): Brain potential and functional MRI evidence for how to handle two languages with one brain. *Nature*, **415**, 1027-1029
- Roth, G. (1996): Das Gehirn des Menschen. In: Roth, G. & Prinz, W. (Hgg.): *Kopf-Arbeit. Gehirnfunktionen und kognitive Leistungen*. Heidelberg, Berlin, Oxford, 119-180.

- Rummelhart, D.E. (1989): The architecture of mind: A connectionist approach. In: Posner, M.I. (Ed.): *Foundations of cognitive science*. Cambridge, MA, 133-159.
- Schmidt, R. (1992): Psychological Mechanisms underlying second language fluency. *Studies in Second Language Aquisition*, **14**, 357-385.
- Schmitt, B.M., Münte, T.F. & Kutas, M. (2000): Electrophysiological estimates of the time course of semantic and phonological encoding during implicit picture naming. *Psychophysiology*, **37**, 473-484.
- Servan-Schreiber, E., Anderson, J.R. (1990): Learning artificial grammar with competitive chunking. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, **18**, 592-608.
- Shanks, D.R., Johnstone, T. & Staggs, L. (1997): Abstraction processes in artificial grammar learning. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, **50A**, 216-252.
- Shanks D.R. & St. John, M.F. (1994): Characteristics of dissociable human learning systems. *Behavioral and Brain Sciences*, **17**, 367-395.
- Sharwood Smith, M. (1994): *Second Language Learning. Theoretical Foundations*. London, New York.
- Spitzer, M. (2000): *Geist im Netz. Modelle für Lernen, Denken und Handeln*. Heidelberg, Berlin.
- Spitzer, M. (2002): *Lernen. Gehirnforschung und die Schule des Lebens*. Heidelberg, Berlin.
- Squire, L.R. & Zola, S.M. (1996): Structure and function of declarative and nondeclarative memory systems. *Proceedings of the National Academy of Science, USA*, **93**, 13515-13522.
- Talairach, P. & Tournoux, J. (1988): *A stereotactic coplanar atlas of the human brain*. Stuttgart.
- Tan, L.H., Spinks, J.A., Feng, C.-M., Siok, W.T., Perfetti, C.A., Xiong, J., Fox, P.T. & Gao J.-H. (2003): Neural systems of second language reading are shaped by native language. *Human Brain Mapping*, **18**, 158-166.
- Tan, L.H., Spinks, J.A., Perfetti, C.A., Fox, P.T. & Gao, J.H. (2001): Neural Systems of second language learning are shaped by native language. *NeuroImage*, **6**, S612.
- Thompson, R.F. (2001): *Das Gehirn. Von der Nervenzelle zur Verhaltenssteuerung*. 3. Aufl., Heidelberg, Berlin.
- Trepel, M. (2004): *Neuroanatomie. Struktur und Funktion*. München, Jena.
- Turner, C.W. & Fischler, I.S. (1993): Speeded test of implicit knowledge. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, **19**, 1165-1177.
- Turner, R., Howseman, A., Rees, G. E., Josephs, O. & Friston, K. (1998): Functional magnetic resonance imaging of the human brain: data acquisition and analysis. *Experimental Brain Research*, **123**, 5-12.
- Turner, R., Le Bihan, D., Moonen, C. T. W., Depres, D. & Frank, J. (1991): Echo-planar time course MRI of cat brain deoxygenation changes. *Magnetic Resonance in Medicine*, **22**, 159.
- Ullman, M.T. (2001): The neural basis of lexicon and grammar in first and second language: The declarative/procedural model. *Bilingualism: Language and Cognition*, **4**, 105-122.

- Vokey, J.R. & Brooks, L.R. (1992): Salience of item knowledge in learning artificial grammars. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, **18**, 328-344.
- Wallesch, C.W. & Deuschl, G. (1997): Elektrophysiologie am Menschen. In: Kischka, U., Wallesch, C.W. & Wolf, G (Hgg.): *Methoden der Hirnforschung. Eine Einführung*. Heidelberg, Berlin, 167-185.
- Wartenburger, I., Heekeren, H.R., Abutalebi, J., Cappa, S.F., Villringer, A. & Perani, D. (2003): Early setting of grammatical processing in the bilingual brain. *Neuron*, **37**, 159-170.
- Weber-Fox, C.M., Neville, H.J. (1996): Maturational constraints on functional specializations for language processing: ERP and Behavioral evidence in bilingual speakers. *Journal of Cognitive Neuroscience*, **8**, 231-256
- Weyerts, H., Penke, M., Dohrn, U., Clahsen, H. & Münte, T. (1997): Brain potentials indicate differences between regular and irregular German plurals. *NeuroReport*, **8**, 957-962.
- Whittlesea, B.W.A. & Dorken, M.D. (1993): Incidentally, things in general are particularity determined: An episodic-processing account of implicit learning. *Journal of Experimental Psychology: General*, **122**, 227-248.
- Yang, L.R. & Givón, T. (1997): Benefits and drawbacks of controlled laboratory studies of second language acquisition. The Keck Second Language Learning Project. *Studies in Second Language Acquisition*, **19**, 173-193.
- Yeterian, E. H. & Pandya, D. N. (1998): Corticostratial connections of the superior temporal region in Rhesus monkey. *The Journal of Comparative Neurology*, **399**, 384-402.

Dank

Im Zusammenhang mit dieser Arbeit bin ich einer Reihe von Personen zum Dank verpflichtet.

Frau Dr. Barbara Biechele und Herrn Prof. Dr. Hermann Funk danke ich recht herzlich, dass ich diese Arbeit als Teil meiner Abschlussprüfungen schreiben durfte. Prof. Dr. Funk danke ich ferner für die hilfreichen fachlichen Kommentare und Anregungen!

Dem Max-Planck-Institut für Kognitions- und Hirnwissenschaften in Leipzig (früher: MPI für kognitive Neurowissenschaften) danke ich für die Bereitstellung nötiger Ressourcen und der Möglichkeit, im Rahmen eines viermonatigen Praktikums die hier diskutierten Methoden in praktischer Anwendung kennenzulernen. Ganz besonderen Dank möchte ich dabei Dr. Sonja A. Kotz aussprechen, in deren Arbeitsgruppe ich mein Praktikum absolvieren durfte und die diese Arbeit mit Engagement, Hilfe und Hinweisen begleitete. Auch möchte ich mich bei den anderen Praktikanten und Diplomanden für das außerordentlich gute Arbeitsklima bedanken. Vielen Dank auch an Holger, dessen Couch ich belagern durfte.

Bei der sprachlichen Überarbeitung halfen mir Katrin Adomeit, Christiane Döpel, Helge Heinrich und Christian Michaelis, auch dafür recht herzlichen Dank.

Mein ganzes Studium hindurch begleiteten mich meine Eltern Erhard und Karin Döpel sowie meine Großmutter Erna Müller. Für ihr Vertrauen, Liebe und der Hilfe bei der Realisierung mehrerer Vorhaben – darunter auch dreier Praktika – danke ich ihnen ganz herzlich!

Katrin danke ich für alles!

Selbständigkeitserklärung

Ich erkläre hiermit, dass ich vorliegende Arbeit selbständig und ohne unzulässige Hilfe oder anderen als den angegebenen Hilfsmitteln in der dafür vorgesehenen Zeit angefertigt habe. Die aus anderen Quellen wörtlich oder inhaltlich übernommenen Gedanken wurden als solche kenntlich gemacht. Es wurden alle Personen erwähnt, die an der Entstehung dieser Arbeit beteiligt waren. Mit der Aufnahme dieser Arbeit in die Thüringer Universitäts- und Landesbibliothek erkläre ich mich einverstanden.

Jena, den 5. Mai 2004

Martin G. Döpel