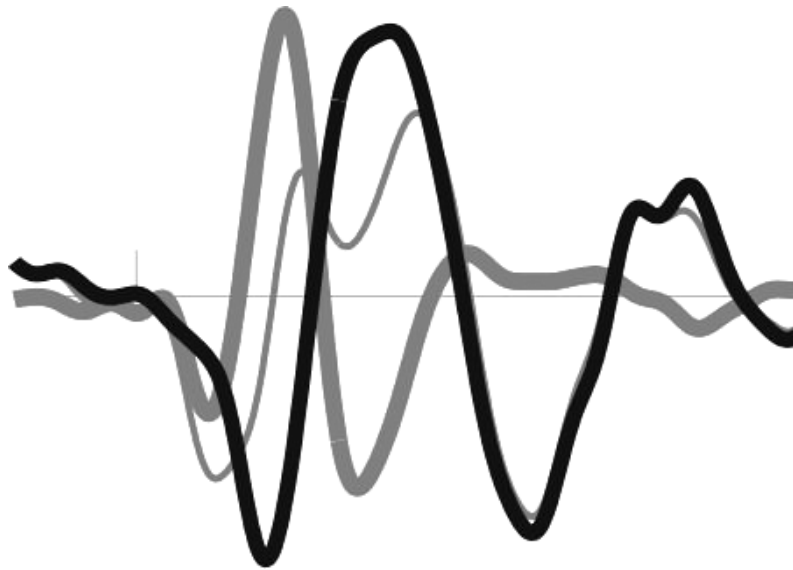


Mehrsprachigkeit
im Kontext elektrophysiologischer Forschung
- Eine Einführung anhand ausgewählter Studien -



Seminararbeit für das Hauptseminar
„Neue Untersuchungsansätze in der Erforschung der
Sprachverarbeitung und der Mehrsprachigkeit“
Leitung: Prof. Dr. Michael Schecker

vorgelegt von
Gregor Kohls

WS 2002/2003

Inhalt

1. Einleitung: Warum Mehrsprachigkeit? Weshalb EKP?	3
2. Ereigniskorrelierte Hirnpotentiale als Untersuchungsmethode der Mehrsprachigkeit	7
2.1. Hirnelektrischer Ableitungen – eine Einführung	7
2.2. Neurobiologische Grundlagen.....	12
2.3. Forschungslogik	14
2.4. Evaluation methodischer Vor- und Nachteile	16
2.5. Elektrophysiologie der Sprachrezeption bei <i>Native Speakern</i>	17
2.5.1. Mismatch Negativity (MMN) – Frühe Automatisierung	17
2.5.2. N400 – Semantische Verarbeitung.....	21
2.5.3. (E)LAN und P600 – (Morpho)Syntaktische Prozesse	23
3. Ausgewählte EKP-Studien zur Mehrsprachigkeit.....	28
3.1. Winkler et al. (1999) – <i>Plastizität</i>	28
3.2. Weber-Fox & Neville (1996) – <i>Biologische Zeitfenster</i>	33
3.3. Friederici, Steinhauer & Pfeifer (2002) - <i>Transferleistungen</i>	38
4. Ausblick.....	41
Literatur	43

1. Einleitung: Warum Mehrsprachigkeit? Weshalb EKP?

Was für noise it makes? Mischäußerung solcher Art finden sich sehr häufig bei Kindern, die mehrsprachig¹ aufwachsen. Aber auch Erwachsene, die neben ihrer ‚Basissprache‘ eine oder mehrere Fremdsprachen hinzulernen, ‚flüchten‘ sich bei auftretenden Wortfindungsproblemen in den Sprachwechsel, Code-switching genannt. Lange Zeit wurde diese „Sprachmengerei“ als Ausdruck eines mangelnden „Sprachgefühls“ abgewertet (Weisgerber, 1967, zit. nach Tracy & Gawlitzek-Maiwald, 2000, 496), heute wissen wir jedoch, dass es sich dabei um ein „normale[s] soziostilistische[s] Repertoire des mehrsprachigen Individuums“ handelt (Ebd., 502).

Code-switching und andere sprachliche Auffälligkeiten bei Mehrsprachigkeit² wurden viele Jahre lang rein deskriptiv durch Tagebuchaufzeichnungen, Tonbandaufnahmen, Einzelfallstudien und ähnlichem erhoben (vgl. ebd.).³ Erst im Zuge der Entwicklung und Etablierung neuer ausgefeilterer Forschungsmethoden in den *Cognitive Neurosciences* (Kosslyn, 1994) – vor allem bei den Verfahren des *Neuroimaging*⁴ – traten Fragen zur (*mehr*)sprachlichen Repräsentation auf die Tagesordnung: Welchen Einfluss

¹ Wenn nicht anders erforderlich, werde ich bei der ‚neutralen‘ Bezeichnung ‚mehrsprachig‘ bzw. ‚Mehrsprachigkeit‘ bleiben. Für eine erschöpfende Diskussion zur Frage, wann von ‚Bilingualismus‘ und wann von ‚Zweitspracherwerb‘ gesprochen wird, sei auf Klein (1992) hingewiesen. Eine weiterer Grund für den ‚Rückzug auf die Neutralität‘ stellt die Tatsache dar, dass im anglo-amerikanischen Sprachgebrauch der Begriff ‚bilingualism‘ oft für jegliche Art von Mehrsprachigkeit gebraucht wird (vgl. z.B. Goral, Levy & Obler, 2002).

² Eine ausführliche Darstellung zu den sprachlichen Auffälligkeiten bei Bilingualismus findet sich bei Tracy&Gawlitzek-Mailwald (2000) und zu Mehrsprachigkeit im Allgemeinen bei Klein (1992).

³ Zwar leisten rein deskriptive Untersuchungen einen unabdingbaren Dienst zur Beschreibung der mehrsprachlichen Phänomenologie, doch bleiben diese *offline* erhobenen Daten weit davon entfernt, uns etwas über den Prozesscharakter – über die online-Verarbeitung – *mehrerer* Sprachen in *einem* Kopf zu verraten.

hat das Alter bei Beginn des Mehrspracherwerbs auf die Repräsentation der erworbenen Sprachen im Gehirn? und Sind die unterschiedlichen Sprachen in unterschiedlichen Hirnregionen repräsentiert? (Hernandez & Bates, 1999).

Dem kundigen Leser wird sicherlich aufgefallen sein, dass es eigentlich *alte Fragen auf alte Problemstellungen* sind, mit denen wir uns hier beschäftigen, nur unter dem Gesichtspunkt neuester Untersuchungsmethoden und mit dem Fokus auf Mehrsprachigkeit. Bereits Lenneberg (1967) stellte die Frage nach einer „kritischen Zeitspanne“, wonach das Gehirn des Menschen lediglich vom zweiten Lebensjahr bis zur Pubertät über *die* Plastizität verfüge, die ihm einen problemlosen Erstspracherwerb ermögliche. Wird eine Sprache danach erworben, greifen, so Lenneberg, gänzlich *andere* physiologische Prozesse, die zu anderen morphologisch-anatomischen Repräsentationen der Zweitsprache führen.⁵

Ich möchte mich an dieser Stelle bewusst von der eher biologistisch-lokalistischen Sichtweise auf den (Mehr)Spracherwerb abwenden und der *funktionalen Seite* den Vorzug geben.⁶

Gesprochene und geschriebene Sprache zu verarbeiten, ist ein sehr komplexer, doch ökonomischer und enorm schneller Prozess. Empirischen Schätzungen zufolge können wir vier bis fünf Wörter *pro Sekunde* verstehen; für ein Wort brauchen wir dementsprechend nicht mehr als 200-250 *Millisekunden* (Marslen-Wilson & Tyler, 1980). Halten wir uns nun vor Augen – dazu sei auf Abb.1. aufmerksam gemacht –, dass vor allem die bildgebenden Verfahren wie PET (Positronen-Emissions-Tomographie) oder fMRT

⁴ Vgl. Rugg (1999).

⁵ Zur Diskussion der Lenneberg-Hypothese vgl. beispielsweise Klein (1992). Neuere Ansätze, die in eine ähnliche Richtung weisen, finden sich bei Locke (1993). Vgl. auch 3.3.

⁶ Dazu aber mehr bei Goral, Levy & Obler (2002).

(funktionelle Magnetresonanztomographie)⁷ eine zeitliche Auflösung von mehreren *Sekunden* bis *Minuten* besitzen, so müssen wir feststellen, dass diese Verfahren weniger geeignet sind, um sprachliche Verarbeitungsprozesse sensitiv genug abbilden zu können. Ganz im Gegenteil dazu steht das Elektroenzephalogramm und damit verbunden die Evozierung ereigniskorrelierter Hirnpotentiale (EKP) für eine *millisekundengenaue* Darstellung von Prozessen der Sprachrezeption und –produktion. Dieser methodische Vorteil gibt den Ausschlag dafür, sich im Folgenden näher mit der Ableitung ereigniskorrelierter Potentiale zu beschäftigen, insbesondere unter der Fragestellung nach der (Un)Gleichheit bei der Verarbeitung einer oder mehrerer Sprachen durch *einen* Sprecher/Hörer. Studien zu *quasilokalistischen* Fragestellungen sollen in der vorliegenden Arbeit, wenn nicht notwendigerweise erforderlich, wenig Berücksichtigung finden.⁸

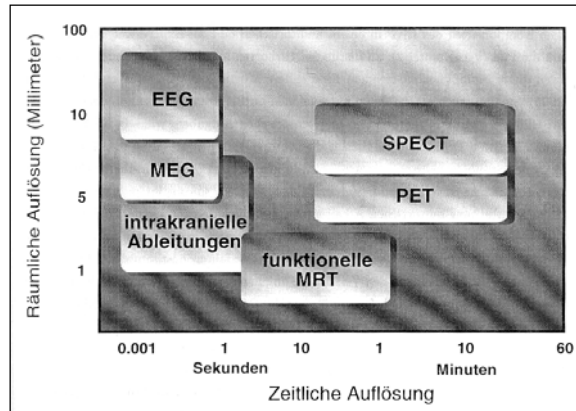


Abb. 1. Räumliche und zeitliche Auflösung einiger ausgewählter Methoden der Cognitive Neuroscience (aus Opitz, 1999).

⁷ Einführendes zu diesen Methoden findet sich bei Birbaumer & Schmidt (2003).

⁸ Der interessierte Leser sei auf ein aktuelles Review von Goral, Levy & Obler (2002) hingewiesen.

Diese Arbeit orientiert sich an derzeit aktuellen Forschungsparadigmen auf dem Gebiet der EKP-Ableitung. Dazu wird einleitend eine Erläuterung methodologischer Grundlagen erfolgen. Im Anschluss sollen einige etablierte ereigniskorrelierte Komponenten – Mismatch Negativity (MMN), N400, (E)LAN und P600 – vorgestellt werden. Anhand ausgewählter Studien zur Mehrsprachigkeit möchte ich dann folgende drei Schwerpunkte diskutieren:

(a) *Plastizität* – Wie lernt das Gehirn neue Sprachmuster einer uns fremden Sprache?

(b) *Biologische Zeitfenster* - Welchen Einfluss hat das Alter, mit dem wir eine zweite oder dritte Sprache erlernen auf die Beherrschung der neuen Sprache? Und gibt es da Unterschiede zwischen inhaltlichem (Semantik) und strukturellem (Syntax) Wissen im Bezug auf die neue Sprache?

(c) *Transferleistungen* - Welche Faktoren der noch zu lernenden Sprache spielen überhaupt eine Rolle, ob ich mir diese gut oder schlecht aneigne?

Es wird sich keinesfalls um eine erschöpfende Diskussion der hier angeführten Punkte handeln können. Vielmehr soll gezeigt werden, welchen *Beitrag* die Ableitung ereigniskorrelierter Hirnpotentiale bei der Erforschung der Mehrsprachigkeit leisten kann. Und ohne Frage, sie wird einen großen Beitrag leisten können. Man gebe ihr jedoch noch einige Jahre, denn sie steckt noch immer in den Kinderschuhen.⁹

⁹ Bei EKP-Studien zur Mehrsprachigkeit kommen wir wahrscheinlich auf nicht mehr als ein Dutzend. Meiner Erkenntnis nach wird jedoch die Forschungstätigkeit auf diesem Gebiet stark intensiviert; am Max-Planck-Institut für Neuropsychologische Forschung in Leipzig arbeiten derzeit gleich mehrere Wissenschaftler in diesem Bereich.

2. Ereigniskorrelierte Hirnpotentiale als Untersuchungsmethode der Mehrsprachigkeit

2.1. Hirnelektrischer Ableitungen – eine Einführung

Die Ableitung hirnelektrischer Potentiale ist, wie bereits angedeutet, nur *eine* Methode, die sich die Neurowissenschaft zu Nutze macht. Lange Zeit (und auch noch heute) wurde in der Tradition der Aphasieologie versucht anhand sogenannter Läsions-Verhaltensstudien (*Lesion-Behaviour Approaches*), dem Geheimnis Sprache, so auch der Mehrsprachigkeit, auf die Spur zu kommen. Der Ansatz jedoch, einem Hirnareal aufgrund dessen selektiven Leistungsausfalls eine bestimmte Sprachfunktion zuzuordnen, ist heute in seiner Absolutheit nicht mehr zu tragen. Wir müssen vielmehr davon ausgehen, dass ganze Netzwerke von Nervenzellpopulationen an *einer* Funktion beteiligt sind (Pulvermüller, 1996). Diese Erkenntnis geht zum Teil auf Studien zur Funktionellen Bildgebung (*Functional Neuroimaging*) zurück, wurde aber auch vielfach rein theoretisch ausgearbeitet (Hebb, 1949.). Und während die bildgebenden Verfahren mit ihrer hohen räumlichen Auflösung über Aktivationsorte Aussagen treffen, geht die Elektrophysiologie (*Neurophysiological Approaches*) den Weg, auf der Basis der oben erwähnten Nervenzellpopulationen, die zeitliche Struktur sprachlicher Funktionen aufzudecken. Denn es erscheint offensichtlich, dass es nicht ausreicht, lediglich das Endprodukt sprachlicher Verarbeitung zu erfassen, sondern dem tatsächlich beizuwohnen, was *online* passiert.

Das Elektroenzephalogramm wurde erstmals 1924 durch den deutschen Psychiater Hans Berger von der Kopfhaut eines Menschen abgeleitet. 1929 veröffentlichte er seine Ergebnisse unter dem Titel „Über das Elektrenkephalogramm des Menschen“ (Berger, 1929). Seither hat sich diese (kogniti-

ve) psychophysiologische Methode¹⁰ sowohl in der klinischen Diagnostik (z.B. bei der Erkennung epileptischer Herde) als auch in der biologisch-psychologischen Grundlagenforschung (z.B. Psycholinguistik) etabliert.

Die ableitbare Hirnaktivität umfasst einen Frequenzbereich von <0,5 – 40 Hz (Hertz; Wellen pro Sekunde). Folgende Unterteilung der wichtigsten EEG-Frequenzbänder ist gebräuchlich:

Gamma-(γ)-Wellen	:	> 30 Hz
Beta-(β)-Wellen	:	13 - 30 Hz
Alpha-(α)-Wellen	:	8 - 13 Hz
Theta-(θ)-Wellen	:	4 - 8 Hz
Delta-(δ)-Wellen	:	0,5 - 4 Hz
Subdelta-Wellen	:	< 0,5 Hz

Als Alpha-Aktivität werden die Wellen bezeichnet, die sich im entspannten Wachzustand, vor allem bei Reizausschaltung, beobachten lassen. Bei 86% aller Menschen stellt die Alpha-Tätigkeit den sogenannten Ruhegrundrhythmus in parietookzipitalen Gebieten des Kortex dar. Es wird spekuliert, dass der Alpha-Grundrhythmus mit der Aufrechterhaltung der Vigilanz in Zusammenhang stehen könnte (vgl. dazu Zschocke, 1995). Die Beta-Aktivität tritt bei leichter geistiger Aktivität und geöffneten Augen auf. Bei visueller Konzentration oder Aufmerksamkeit geht der Alpha-Rhythmus sofort in den Beta-Rhythmus über; dieses Phänomen bezeichnet man als „Alpha-Blockade“. Delta- und Theta-Aktivität sind vor allem für das EEG von Säuglingen und Kleinkindern typisch, lassen sich aber auch bei älteren Erwachsenen in bestimmten Schlafphasen oder unter forcierter Atmung messen. Gamma-Wellen zeichnen sich durch extrem kleine Amplituden (1-10 μ V) und einer hohen lokalen Spezifität aus. „Sie werden mit lokalen

¹⁰ Vgl. Rösler & Heil (1998).

Verbindungen von sogenannten Zell-Assemblies [...] zu synchron feuernenden Nervennetzen in Verbindung gebracht“ (Birbaumer & Schmidt, 2003, 493).

Bei der EEG-Ableitung¹¹ werden Potentialdifferenzen abgegriffen: Aktivationsunterschiede zwischen (mindestens) zwei Ableitungsorten werden durch entsprechend positionierte Elektroden gemessen. Die Elektroden sind nach einem standardisierten System auf der Kopfoberfläche angebracht (vgl. Abb. 2)¹², wobei sich eine oder mehrere Vergleichselektroden (die sogenannte Referenzelektrode(n)) an einem elektrisch möglichst neutralen Ort (z.B. Nase oder Ohrläppchen) befinden sollten, da gegen sie abgeleitet wird.

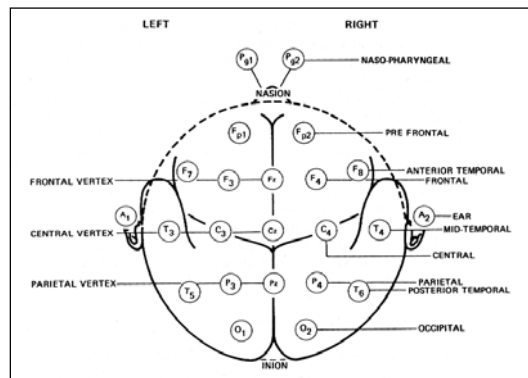


Abb. 2. Das international standardisierte 10-20-System (aus Hugdahl, 1995, 238)

Die im EEG gemessenen Spannungsdifferenzen sind extrem gering (50-150 μ V), so dass ein Verstärker vonnöten ist, um die elektrische Hirnaktivität aufzuzeichnen. Hierfür werden die kontinuierlichen Wellen in diskrete Datenpunkte digitalisiert (vgl. Abb.3). Artefakte, wie Augen- oder Kaubewegungen, ‚verunreinigen‘ das EEG und müssen erkannt und von der Auswertung ausgeschlossen werden (Garnsey, 1993).

¹¹ Auf eine ausführliche Beschreibung zur Technik der EEG-Ableitung bzw. -aufzeichnung sei an dieser Stelle auf Zschocke (1995) und Neundörfer (1990) verwiesen.

¹² Bei dieser Anordnung handelt es zumeist um das erweiterte 10-20-System nach Sharbrough et al. (1991).

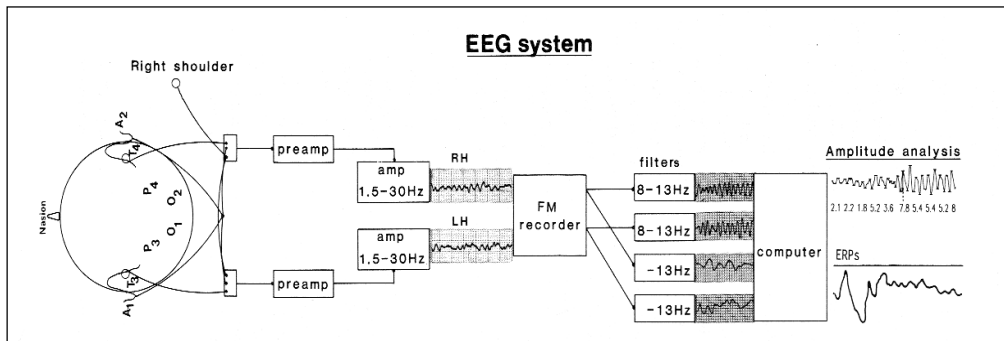


Abb. 3. Ein typisches EEG-Labor mit der Versuchsperson auf der linken Seite und der EEG-Aufzeichnung auf der rechten (aus Hugdahl, 1995, 238)

Die Ereigniskorrelierten Hirnpotentiale (engl. *Event-related potentials*, ERP) oder kurz EKPs sind im Gegensatz zur hirnelektrischen Spontanaktivität Potentialverschiebungen, die vor, während oder nach einem sensorischen, motorischen oder psychischen Ereignis im EEG messbar sind (Rösler, 1982). EKPs haben im Vergleich zur Spontanaktivität wesentlich geringere Amplituden und werden dementsprechend von ihr verdeckt. Da also die Hintergrundaktivität (das ‚Rauschen‘) des Gehirns relativ groß bei der Präsentation einzelner Reize ist, müssen viele Wiederholungen mit Stimuli (‚Ereignisse‘) der selben Klasse durchgeführt werden. Die anschließende Mittelung der hirnelektrischen Antworten eliminiert die Hintergrundaktivität und fördert die spezifischen EKPs zutage.¹³ Hahne (1998) schlägt als Richtwert für Sprachexperimente circa 30-40 Ereignisse eines Typs (sprich einer experimentellen Bedingung) bei einer Probandenzahl von 15-20 vor.

EKP-Komponenten werden nach bestimmten Kriterien zu Komponentenklassen zusammengefasst (vgl. Rösler, 1982). Jedoch, was genau unter dem Terminus „Komponente“ zu verstehen ist, wird noch kontrovers diskutiert.

¹³ Nähere Erläuterungen zu diesem Vorgehen finden sich bei Birbaumer & Schmidt (2003).

Vor allem ist umstritten, ob Komponenten eher physiologisch oder primär psychologisch zu definieren sind (vgl. Coles & Rugg, 1995).

Nach Donchin, Ritter & McCallum (1978) lassen sich EKP-Komponenten nach den folgenden vier Merkmalen charakterisieren: 1. *Polarität* (d.h. die Auslenkung der Komponente kann entweder positiv oder negativ sein); 2. *Latenz* (mit diesem Begriff ist zumeist der Zeitpunkt der maximalen Auslenkung (max. Amplitude, auch Peak genannt) der Aktivitätsänderung gemeint, bezogen auf den Beginn der Stimuluspräsentation); 3. *Topographie* (d.h. die Positionen auf dem Skalp, auf denen die Aktivitätsänderungen ihre maximalen Ausprägungen erreichen) und 4. *Sensitivität* gegenüber experimentellen Manipulationen.

Zur Komponentennomenklatur werden zumeist die Parameter Polarität und Peaklatenz herangezogen. So steht die Bezeichnung „P600“ für eine Komponente mit einem positiven Kurvenverlauf und einer Peaklatenz von circa 600 Millisekunden.¹⁴

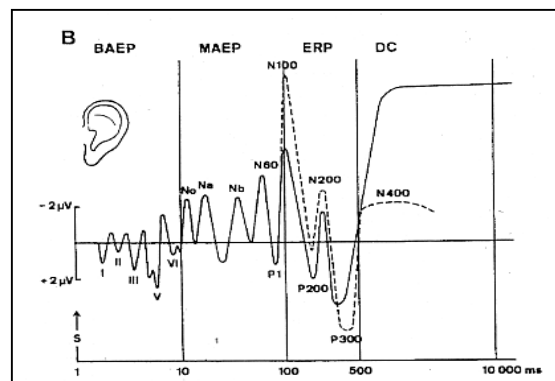


Abb. 4. Schematische Darstellung akustisch evoked Komponenten (aus Altenmüller, 1996)

¹⁴ Bei Frisch heißt es: „Generell reicht für die Unterscheidung von zwei Komponenten schon ein Unterschied hinsichtlich eines der o.g. Kriterien. In der Praxis ist eine Abgrenzung jedoch bisweilen schwierig, da zumindest für die Kriterien *Latenz*, *Topographie* und *Sensitivität* keine allgemeinen „Eckwerte“ akzeptiert sind. So ist es z.B. nicht ausgeschlossen, auch bei Latenzunterschieden von mehreren hundert Millisekunden noch von derselben Komponente zu sprechen „ (2000, 75; Hervorhebung im Original).

Weiterhin unterscheidet man EKPs gemäß ihrer Latenz in frühe, mittlere und späte Komponenten (Rösler & Heil, 1998; vgl. auch Abb. 4). Die frühen (BAEP) und mittleren (MAEP) Komponenten bezeichnet man als *exogen*, da sie an die physikalischen Eigenschaften des Reizes gekoppelt und weitestgehend unabhängig vom momentanen Zustand des Organismus sind (z.B. Zuwendung von Aufmerksamkeit oder nicht). Die späten, *endogenen* Komponenten werden vorrangig durch psychologische Faktoren wie Instruktion, Aufgabenkontext oder Erwartung beeinflusst. Gerade die endogenen Komponenten sind es, die die Neurowissenschaften besonders interessieren. Auch in der vorliegenden Arbeit wird diese Komponentenklasse im Mittelpunkt der Fragestellungen stehen.

2.2. Neurobiologische Grundlagen

Der Zusammenhang zwischen der neuronalen Aktivität und dem, was vermittels auf der Kopfoberfläche sitzenden Elektroden gemessen wird, ist noch nicht völlig aufgeklärt. In einigen Punkten herrscht jedoch Konsens (vgl. Birbaumer & Schmidt, 2003; Coles & Rugg, 1995; Elbert et al., 2001; Kutas & van Petten, 1994):

Das Elektroenzephalogramm basiert auf der elektrochemischen Grundlage von Nervenzellaktivitäten. Genauer handelt es sich dabei um Tausende solcher Neurone, die wahrscheinlich zu sogenannten Zellverbänden (*cell assemblies*) organisiert sind. Man stellt sich diese Zellverbände als „plastische Netzwerke“ (Elbert et al., 2001, 193) vor, in denen 85% der kortikalen Neurone - die erregenden Pyramidenzellen¹⁵ - miteinander kommunizieren. Eine

¹⁵ Über wichtige Kennzeichen der Pyramidenzellen gibt Elbert et al. (2001) Aufschluss. Neben den Pyramidenzellen verfügt der Neokortex (Hirnrinde) außerdem noch über Korb- und Sternzellen, die an dessen zytoarchitektonischen Aufbau beteiligt sind, aber für die

Pyramidenzelle kann in einem solchen Netzwerk mit bis zu 1000 anderen (oft weit entfernt lokalisierten) Pyramidenzellen Informationen austauschen und an 5000 – 10 000 weitere Zellen weiterleiten. Untereinander verschaltet sind die Neurone durch Synapsen, mittels derer die elektrochemische Kommunikation (Neurotransmission) stattfindet.¹⁶ Die Verknüpfung über Synapsen ist in den Zellverbänden besonders ausgeprägt. Die Pyramidenzellen, die jeweils über circa 10^4 Synapsen verfügen, können sich somit gegenseitig erregen und durch simultanes, kooperierendes ‚Feuern‘ die synaptische Vernetzung im Zellverband verstärken (sog. Hebb'sche Regel: „... cells that fire together wire together.“ Hebb, 1949).¹⁷ Als Folge „[...] genügt es, nur einen Teil des Zellverbandes zu aktivieren, um das cell assembly zu ‚zünden‘“ (Elbert et al., 2001, 197f.). Studien konnten signifikante Korrelationen zwischen postsynaptischen Potentialen und den EEG-Wellen aufdecken (vgl. Neundörfer, 1990). Es kann demzufolge davon ausgegangen werden, dass als Potentialquelle des EEGs vorwiegend die synchronen exzitatorischen, postsynaptischen Aktivierungen ganzer kortikaler Zellverbände verantwortlich sind (Heil & Rösler, 2000). Das heißt, dass sich eine gemeinsame Depolarisation (Verminderung des Membranpotentials, dadurch ‚Zünden‘) vieler Pyramidenzellen zu einem *extrazellulären* Stromfluss aufsummiert, der als Oberflächen-negativierung¹⁸ – als Elektroenzephalogramm – messbar wird (Elbert et al., 2001).

„Generierung der an der Kortexoberfläche messbaren Spannungsschwankungen nur eine geringe Rolle [spielen]“ (Birbaumer & Schmidt, 2003, 493).

¹⁶ Eine ausführliche Beschreibung über die Funktionsweise von Synapsen im allgemeinen und im speziellen das EEG betreffend, gibt Zschocke (1995).

¹⁷ Eine Einführung in die ‚synaptische Theorie‘ von D.O. Hebb geben Birbaumer & Schmidt (2003).

¹⁸ Negativierungen im EEG gehen mit großer Wahrscheinlichkeit auf erregende Aktivierungen zurück, Positivierungen auf hemmende (vgl. Birbaumer & Schmidt, 2003).

Für die Generierung der an der Kortexoberfläche messbaren Spannungsänderungen sind subkortikale Strukturen, wahrscheinlich besonders der Thalamus und dessen Kerne, verantwortlich.¹⁹ Diese gelten teilweise als Schrittmacher, welche dem Neokortex die EEG-Muster – besonders die Alpha-Wellen und die langsamen Hirnpotentiale – förmlich „aufzwingen“ (Birbaumer & Schmidt, 2003, 496). Spezifische thalamische Fasern gelangen dazu aus den Sinnessystemen in die Hirnschichten, in denen die Zellkörper der Pyramidenzellen lokalisiert sind. Die Entladungen der thalamokortikalen Fasern führen zu exzitatorischen postsynaptischen Potentialen (EPSP) an den (apikalen) Dendriten der Pyramidenzellen, deren Summenpotentiale an der Kortexoberfläche als EEG-Wellen in Erscheinung treten (nach Creutzfeldt, 1983).

2.3. Forschungslogik

Bei Birbaumer & Schmidt finden wir folgende Aussage: „Nach Mittelung des EEGs auf einen Reiz oder vor einer Reaktion liegt meist eine komplexe Aufeinanderfolge von Wellen vor, die unterschiedliche neurophysiologische und *damit* unterschiedliche psychologische Vorgänge repräsentieren“ (2003, 499f.; Hervorhebung im Original). Deutlich wird hier der *Anspruch*, mit dem elektrophysiologische Forschung betrieben wird. Sicherlich muss sie sich dabei den Vorwurf gefallen lassen, ein „reduktionistische[s] Programm“ (Rösler, 1982, 47) zu verfolgen. Diesem Vorwurf ist sich die elektrophysiologische Forschung bewusst, ohne Frage, und man versucht mehr denn je, die wissenschaftliche Nützlichkeit und Ökonomie physiologischer *und* psycho-

¹⁹ Nach Zschocke (1995) sind neben dem Thalamus auch kortikale Nervenzellverschaltungen für die Ausbildung des EEG bedeutsam. Im Gegensatz zu Birbaumer & Schmidt (2003) spricht er deshalb davon, dass es *keinen* anatomisch festlegbaren Schrittmacher für die Grundaktivität gibt.

logischer Betrachtungsweisen bei der Theorienbildung zu berücksichtigen. Trotzdem, der Anspruch, Psychologie in Physiologie zu übersetzen und vice versa, besteht fort.

Bei der Erforschung von Kognition im allgemeinen und von Sprache im speziellen bewegt man sich innerhalb einer bestimmten methodologischen Logik (vgl. dazu auch Abb. 5). Die Funktion Sprache wird dabei als eine Summe von Informationsverarbeitungsprozessen verstanden. Der Mensch als *Funktionsträger*, als sogenannter Verarbeitungsorganismus, spielt selbst weniger eine Rolle; rein „mechanistische“ Eigenschaften werden untersucht (Rösler & Heil, 1998, 165).

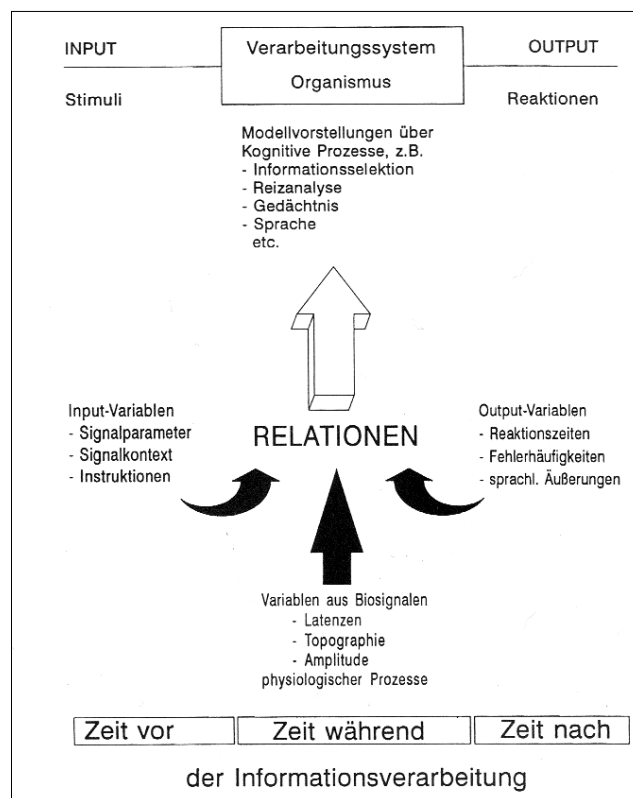


Abb. 5. Logik elektrophysiologischer Forschung (aus Rösler & Heil, 1998, 167)

Wie aus Abb. 5 zu entnehmen, werden die Eingangsgrößen des Systems, sprich die Input-Variablen, systematisch variiert und die Output-Variablen

registriert. Anhand des kontrollierten Inputs plus des beobachtbaren Outputs werden schließlich Hypothesen und Theorien über den tatsächlich stattgefundenen Informationstransfer aufgestellt. Im Kontext elektrophysiologischer Ableitungen können zusätzlich physiologische Reaktionen erfasst werden, die „zeitlich parallel zu den postulierten Verarbeitungsprozessen auftreten“ (Ebd., 166). Das Ziel dahinter, ist die Zergliederung von Sprache in separate Funktionsprozesse oder –ebenen.

2.4. Evaluation methodischer Vor- und Nachteile

Wie bereits mehrfach angesprochen, genießen Ereigniskorrelierte Hirnpotentiale gegenüber vielen anderen Untersuchungsmethoden unbestreitbar einige Vorteile. Hier werden auf nicht-invasivem Weg im Millisekundenbereich sehr sensitiv kognitive Prozesse abgebildet. Dabei stellen die EKPs sogar ein *kontinuierliches Maß* dar, indem sie es ermöglichen, über den kompletten Zeitraum der Reizverarbeitung dem Prozessgeschehen beizuwohnen (Hahne, 1998). Außerdem bieten sie eine ganze Reihe von abhängigen Variablen – Polarität, Latenz, Amplitude, Topographie etc. –, die es uns erlauben, ganz im Gegensatz zu behavioralen Messungen, äußerst qualitativ zwischen und selbst innerhalb kognitiver Prozesse zu differenzieren.

Trotz aller Vorzüge begegnen uns ebenso einige Beschränkungen. So wurde bereits das Problem der Komponentendefinition angesprochen (vgl. 2.1.; vgl. auch Coles & Rugg, 1995). Die eher geringe räumliche Auflösung der EKPs macht ihren Einsatz in struktur-diagnostischen Fragestellungen wenig sinnvoll. Hier deutet sich auch bereits das Hauptproblem dieser experimentellen Methode an: Stammt die an der Kopfoberfläche messbare Aktivität von *einem* neuronalen Generator oder von *mehreren*? Und wie sieht es eigentlich mit der hirnelektrischen Aktivierung aus, die am Schädel *nicht* abgegriffen werden kann, da die Zellverbände, die feuern viel zu klein oder anatomische

Vorraussetzungen nicht gegeben sind? Coles & Rugg (1995) halten dementsprechend fest, dass die im EKP erfasste Aktivität stark selektiven Charakter hat. Außerdem steht zur Debatte, ob die zeitliche Ausdehnung einer Komponente gleichzeitig die zeitliche Ausdehnung eines zugrunde liegenden kognitiven Prozesses widerspiegelt. Denn das Entstehen (*Onset*) oder Abklingen (*Offset*) einer Komponente bedeutet nicht zwangsläufig das Initiieren bzw. der Schluss einer neuronalen Aktivierung; von Überlappungen zeitlich früherer oder später endender Aktivierungen muss ausgegangen werden (Frisch, 2000).

Wie wir sehen können, gibt es neben den eindrucksvollen Vorzügen auch einige Nachteile im Umgang mit der Ableitung elektrophysiologischer Korrelate. Im großen und ganzen ist es jedoch eine vielversprechende Methode, die uns helfen kann, das Geheimnis *Sprache und Gehirn* ein Stück weit zu entschlüsseln.

2.5. Elektrophysiologie der Sprachrezeption bei *Native Speakern*

Bevor wir uns ausgewählten Studien zum Mehrspracherwerb zuwenden, sollen die bedeutendsten sprachsensitiven EKP-Komponenten kurz vorgestellt werden. Da es sich auch hier wieder nur um einen Ausschnitt aktueller Forschungsdiskussion handeln kann, wird an gegebenen Stellen auf relevante Literatur verweisen.

2.5.1. Mismatch Negativity (MMN) – Frühe Automatisierung

Die Mismatch Negativity (im folgenden nur MMN) ist eigentlich ein „Adoptivkind“ der (Neuro)Linguistik. Gebürtig stammt sie nämlich aus der Forschung zur selektiven Aufmerksamkeit (Näätänen, Gaillard & Mäntysalo,

1978).²⁰ Ihr sprachsensitiver Charakter jedoch macht sie ebenso attraktiv für die sprachwissenschaftliche Grundlagenforschung. Seit Mitte der 90iger Jahre (des 20. Jh.) wird sie deshalb verstärkt für psycholinguistische Fragestellungen, insbesondere zum Spracherwerb bzw. -lernen, herangezogen (Näätänen et al., 1997; vgl. auch Näätänen, 2001 und Cheour et al., 2001).

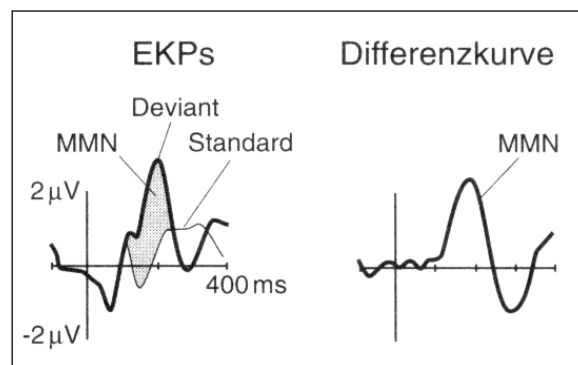


Abb. 6. Die Mismatch Negativity (mod. nach Schröger, Kaernbach & Schönwiesner, 2002)

Präsentiert man in einer Sequenz gleicher auditiver²¹ Stimuli („Standard“; z.B. Töne einer bestimmten Frequenz) zufällig einen abweichenden Reiz („Deviant“; z.B. ein Ton mit einer höheren Frequenz²²) und bittet die Probanden, die Stimuli zu ignorieren, indem z.B. ein Videofilm gezeigt wird, lassen sich für den „Standard“-Reiz und für den „Devianten“ im Zeitbereich von circa 100 – 250 msec nach Reizbeginn jeweils unterschiedliche negative

²⁰ Vgl. dazu insbesondere das Standardwerk von Näätänen (1992). *Attention and brain function*. Hillsdale, N.J.: Erlbaum.

²¹ Einige Arbeitsgruppen konnten ähnliche Reizantworten ebenso im visuellen wie im somatosensorischen System belegen (vgl. Näätänen & Alho, 1995).

²² Eine MMN wird ebenso ausgelöst, wenn Stimuluseigenschaften wie Intensität, Dauer, Lokalisation im Raum oder komplexe Merkmalskombinationen verändert werden (vgl. Schröger, 1997). Neuere Studien belegen sogar, dass Verletzungen impliziter Regeln, die durch den Standardstimulus repräsentiert werden, zu einer MMN führen (z.B. Paavilainen et al., 2001). Das Paradigma zur Evozierung einer MMN (und anderer Komponenten, z.B. der P300; vgl. Verleger, 1986) nennt man Oddball-Paradigma.

Auslenkungen im EEG beobachten (vgl. Abb. 6). Die Differenz zwischen beiden Auslenkungen wird als Mismatch Negativity (MMN) bezeichnet.

Die MMN lässt sich sowohl bei physikalischen Unterschieden zwischen Tönen als auch bei komplexeren Sprachreizen wie Silben oder ganzen Wörtern hervorrufen (vgl. Näätänen, 2001; Cheour et al., 2001; Korpilahti et al., 2001; Pulvermüller et al., 2001; Shtyrov & Pulvermüller, 2002a; Shtyrov & Pulvermüller, 2002b). Im Gegensatz zu den aufmerksamkeitsabhängigen Komponenten wie beispielsweise der Processing Negativity (Näätänen et al., 1978) oder der P300 (Sutton et al., 1965) tritt eine MMN auch dann auf, wenn der auditiven Stimulation keine Beachtung geschenkt wird²³ (Näätänen, 1992). Die Amplitude der MMN korreliert dabei mit behavioralen Testergebnissen zur auditiven Perzeption und stellt somit ein objektives Maß für auditive Diskriminationsleistungen dar (Ebd.). Gleichzeitig spiegelt sie Eigenschaften des sensorischen Gedächtnisses wieder²⁴. Nach Näätänen & Winkler (1999) liegt der Generierung der Mismatch Negativity der Aufbau einer sensorischen Stimulusrepräsentation des Deviants zugrunde, welche mit der Repräsentation des Standardreizes *automatisch*²⁵ abgeglichen wird. Beim Aufbau einer solchen sensorischen Stimulusrepräsentation wird innerhalb eines Zeitfensters²⁶ von etwa 150-200 msec nach Reizpräsentation eine

²³ Deswegen werden die der MMN zugrundeliegende Prozesse auch als präattentiv oder vorbewusst bezeichnet.

²⁴ Diese neurophysiologische Konzeption des sensorischen Gedächtnisses ist exzellent mit Gedächtnismodellen aus behavioralen Daten à la Massaro (1975) und Cowan (1984) vereinbar.

²⁵ Wir sprechen hier auch von rein daten- oder stimulusgetriebener Verarbeitung; vielfach wird dafür der Begriff „bottom-up“ verwendet. Inwieweit auch höhere, „top-down“, Prozesse Einfluss auf die Generierung der MMN haben, ist Gegenstand derzeitiger Diskussion (Schröger et al., in press).

²⁶ Näätänen & Winkler (1999, 847) sprechen hier von dem „temporal window of integration“, in dem alle Merkmale eines Reizes zu einer gemeinsamen Stimulusrepräsentation vereint werden.

sogenannte ‚Gedächtnisspur‘ (*memory trace*) angelegt, die sowohl alle physikalischen als auch die zeitlichen Parameter des Reizes enthält²⁷. Aus dieser ‚(Gedächtnis-)Repräsentation‘ kann schließlich ein auditives Perzept ‚konstruiert‘ werden (Schröger et al., 2002, 99).

Viele Studien, die unter Zuhilfenahme der MMN frühe Prozesse der Sprachverarbeitung studieren, verwenden als Material zumeist ‚Sprachfragmente‘ wie Phoneme oder Silben. Wir dürfen wahrscheinlich trotzdem davon ausgehen, dass bereits solch kleine Segmente eine ganze Reihe von lexikalischen Einträgen aktivieren²⁸, wie es in der Kohorten-Theorie von Marslen-Wilson & Welsh, (1978; vgl. auch die Übersicht bei Frauenfelder & Floccia, 1999 und die aktuelle Studie von O’Rourke & Holcomb (2002) zur Kohorten-Theorie) vorgeschlagen wurde. Poeppel & Marantz (2000) setzen aufgrund eigener Studien den Zeitpunkt auf etwa 180 msec nach Stimulusbeginn fest, an dem wir auf solch gespeichertes Musterwissen zurückzugreifen scheinen, Friederici (2002) spricht sogar von nur 100 msec.

In einer aufschlussreichen Studie gingen Shtyrov & Pulvermüller (2002b) der Frage nach, ob sich ebenfalls auf Flexionsendungen eine Mismatch Negativity evozieren ließe. Als Stimuli verwendeten sie das englische Verb

²⁷ Die Analyse des eintreffenden Inputs und der Aufbau einer Stimulusrepräsentation lässt sich im Sinne einer *Merkmalsanalyse* charakterisieren: „Unter der Merkmalsanalyse fassen wir einen mehrfach gestuften, dynamischen Prozess zusammen, der aus dem eintreffenden Schallereignis akustische Charakteristika extrahiert und zu einer temporären Repräsentation integriert, die es uns wiederum ermöglicht, auf bereits vorhandenes Musterwissen zurückzugreifen“ (Kohls, 2002, 2).

²⁸ Theoretisch gesprochen, lassen sich die verbalen Stimulusrepräsentationen, die die Grundlage der MMN-Evozierung darstellen, als *prälexikalische Inputrepräsentationen* deuten. Diese prälexikalischen Repräsentationen werden *vor* dem Zugriff aufs ‚Lexikon‘ (mit diesem Musterwissen) ausgebildet und schließlich für die lexikalische Identifikation herangezogen. Die Ergebnisse von Shtyrov & Pulvermüller weisen in dieselbe Richtung. In ihrer Studie verglichen sie die MMN auf Wörter im Vergleich mit Pseudowörtern. Die Amplitude der MMN war bei Wörtern signifikant größer. Die Autoren schließen daraus: “This enhancement may reflect the presence of a long-term memory trace for a spoken word” (2002a, 521).

come im Vergleich mit dessen flektierten Form in der 3. Person Singular *comes*. Die MMN auf dem flektierten Verb unterschied sich in einigen wesentlichen Punkten von der Mismatch Negativity der unflektierten Form: Sie hatte ihr Amplitudenmaximum erst nach 155 msec im Vergleich zu 126 msec ($p < .03$) und ihre Topographie lag eher centroparietal (vgl. Abb.2 Elektrodenpositionen Cz und Pz), wogegen die MMN auf dem Verb *come* frontal (Fz) lokalisiert wurde. Die Autoren schließen daraus, dass „[...] the additional unit, the inflectional affix, could be processed by a separate cortical network of neurons, the activation of which takes more time than the processing of the base form“ (Ebd., 1090).

Die dargestellten Ergebnisse legen die Vermutung nahe, dass sprachabhängige Gedächtnisspuren bereits auf sehr früher Ebene – ‚Merkmalsanalyse‘– bei der Verarbeitung verbaler Stimuli aktiviert sind. Wahrscheinlich, jedoch nur hypothetisch gedacht, reagiert unser Verarbeitungssystem auf spezifische Merkmalskonfigurationen, die anzeigen, dass es sich bei dem eintreffenden Input um Sprache und nicht um Töne oder Geräusche handelt. Die Studien von Shtyrov & Pulvermüller (2002a, 2002b) lassen sich sogar dahingehend interpretieren, dass selbst ganze lexikalische Einträge (*long-term memory traces*) bzw. grammatische Morpheme einer spezifischen Einzelsprache (*la langue*) auf früheste Analyseschritte rückwirken.

2.5.2. N400 – Semantische Verarbeitung

Stellen wir uns einmal vor, wir bekämen in einem EKP-Experiment Sätze der folgenden Art zu hören: „Der Laden wurde am Samstag geerntet“. Als hirnelektrische Antwort ließe sich darauf eine negative Komponente beobachten, die circa 400 ms *nach Beginn* des kritischen Verbs ihren maximalen Ausschlag hat. Daher auch ihr Name N400, wobei das ‚N‘ für ihre negative Polarität steht. (Kutas & Hillyard, 1980; vgl. Abb.7).

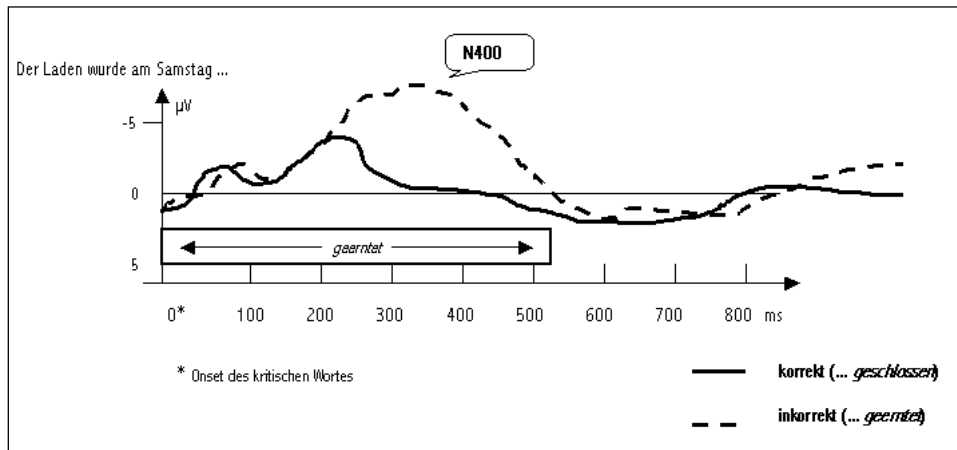


Abb. 7. Ereigniskorreliertes Hirnpotential für semantisch inkorrekte und korrekte Sätze. Die Abbildung zeigt die gemittelten Potentialwellen für das kritische satzfinale Verb in beiden Bedingungen. Erwähnenswert ist, dass wir die ausgeprägte Negativierung (N400) bereits beobachten können, noch bevor das Verb vollständig verarbeitet wurde.

Die N400 korreliert sowohl mit semantisch-pragmatischen Inkongruenzen eines Wortes im Satzkontext als auch mit semantisch-lexikalischen Verletzungen (Friederici & von Cramon, 1999). Sie gilt als eine sehr robuste Komponente, da sie in unzähligen Studien, sowohl bei akustischer als auch bei visueller Stimuluspräsentation und in unterschiedlichen Sprachen beobachtet wurde (Frisch, 2000). Trotzdem ist sie keineswegs als *sprachspezifisch* anzusehen, sondern eher mit *sprachsensitiv* zu umschreiben. Nigam, Hoffman & Simons (1992) konnten nämlich ebenso auf Bilder, die nicht in den vorausgegangenen Satzkontext passten, eine N400 belegen (vgl. folgendes Beispiel: Ich aß eine Banane und eine ✂.)

Die Amplitude der N400 wird durch die Stärke der semantischen Verletzung des Satzkontextes moduliert: stärkere Inkongruenzen führen zu einer größeren Amplitude. Regelrechte semantische Anomalien, wie im Beispielsatz der Abb.7 sind daher vielmehr ein „Spezialfall“ und produzieren einen besonders großen N400-Effekt (Frisch, 2000, 81). Van Berkum, Hagoort & Brown (1999) konnten darüber hinaus zeigen, dass die N400 nicht

nur sensitiv für die Integration eines Wortes in den *Satzkontext* sondern ebenso für die Integration in einen *Diskurskontext* ist. Strittig ist noch immer die Frage, welche *Prozesse* der Wortverarbeitung die N400 widerspiegelt, ob Prozesse des lexikalischen Zugriffs oder die Ebene der lexikalischen Integration (Friederici & von Cramon, 1999).

Nach Marslen-Wilson (1987) müssen wir von drei sukzessiven Stufen bei der auditiven Wortverarbeitung ausgehen: Beim lexikalischen Zugriff wird automatisch durch einen (noch) unvollständigen Input eine Kohorte damit kompatibler Worteinträge aktiviert²⁹. Dieser Prozess ist streng genommen autonom, also vollkommen unabhängig vom *Kontext*, in dem der Input auftaucht. Die anschließende Phase der lexikalischen Selektion führt dazu, dass der physikalisch passende Wortkandidat ausgewählt wird, wobei an dieser Stelle möglicherweise bereits Kontextinformationen involviert sind (vgl. Zwitserlood, 1989). Im Zuge der lexikalischen Integration wird das ausgewählte Wort in den entsprechenden Satz- und Diskurskontext eingepasst. Interpretierten wir nun das ‚Wesen‘ der N400 im Sinne dieses Modells, so spiegelt diese Komponente wohl eher Prozesse der *lexikalischen Integration* wider, da hier die stärksten Kontexteinflüsse zu erwarten sind und die N400 schließlich erheblich von der Plausibilität des Kontextes abhängt (vgl. Frisch, 2000).

2.5.3. (E)LAN und P600 – (Morpho)Syntaktische Prozesse

Betrachten wir Studien zu syntaktischen Verarbeitungsprozessen, begegnen uns gleich drei Komponenten³⁰: die *Early Left Anterior Negativity*

²⁹ Vgl. auch die Überlegungen aus Fußnote ²⁸.

³⁰ Ob wir tatsächlich von drei eigenständigen Komponenten auszugehen haben, ist nicht unstrittig. Vielfach wird betont, von nur zwei Komponenten zu sprechen, da noch nicht

(ELAN), die *Left Anterior Negativity* (LAN) und die P600. Das Untersuchungsparadigma ist dasselbe wie bei der Evozierung der N400. Hier werden jedoch Sätze präsentiert, die entweder nichtpräferierte Strukturen oder gar syntaktische Regelverletzungen enthalten.³¹

In einer ersten Studie von Neville et al. (1991), in der den Probanden ganz unterschiedliche syntaktische Fehler präsentiert wurden, konnte eine frühe negative Komponente (um 125 ms; heute ELAN genannt, vgl. Abb. 8) als Reaktion auf Fehler der Wortkategorie und eine anschließende starke Positivierung um die 600 ms (heute die P600, vgl. Abb. 9) identifiziert werden. Diese Befunde konnten vielfach und in unterschiedlichen Sprachen, z.B. dem Deutschen, repliziert werden (Friederici, 2003).

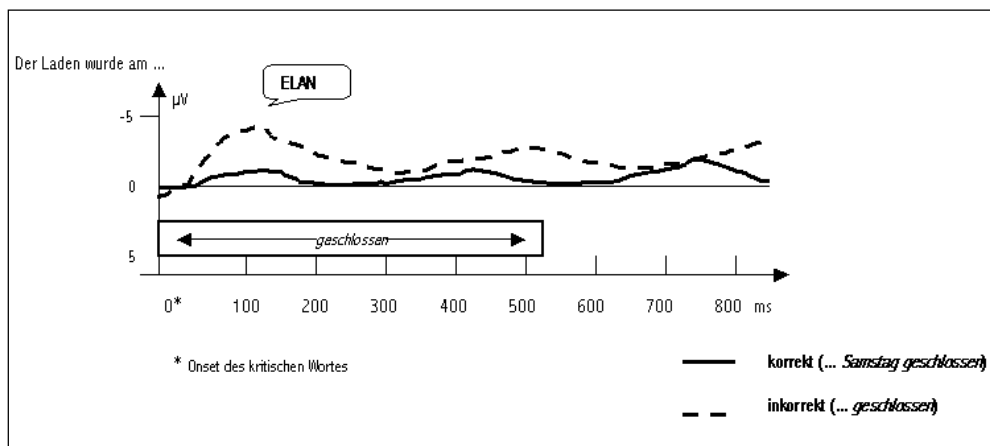


Abb. 8. Frühes ereigniskorreliertes Hirnpotential für syntaktisch inkorrekte und korrekte Sätze. Die Abbildung zeigt die gemittelten Potentialwellen für das kritische satzfinale Verb in beiden Bedingungen.

geklärt scheint, ob die LAN und die ELAN unterschiedliche Verarbeitungskorrelate darstellen oder Mitglieder derselben Komponente sind (Friederici & von Cramon, 1999).

³¹ Für einen einführenden Überblick siehe Hahne (1998) und Friederici & von Cramon (1999).

Für morphosyntaktische Verletzungen, z.B. Fehler der Subjekt-Verb-Kongruenz, Genus- oder Kasusfehler³², wurde die LAN-Komponente beobachtet, die im gleichen Zeitfenster wie die N400 auftritt, jedoch topographisch von ihr dissoziierbar ist. Eine Studie von Gunter, Friederici & Schriefers (2000) konnte darüber hinaus belegen, dass morphosyntaktische und semantische Prozesse *funktional* unabhängig voneinander, jedoch zeitlich parallel ablaufen. Erst in einem späteren Analyseschritt interagieren beide Informationstypen; elektrophysiologisch widergespiegelt durch die P600, die immer dann auftritt, wenn eine strukturelle Reanalyse oder die Korrektur³³ eines Satzes erforderlich ist.

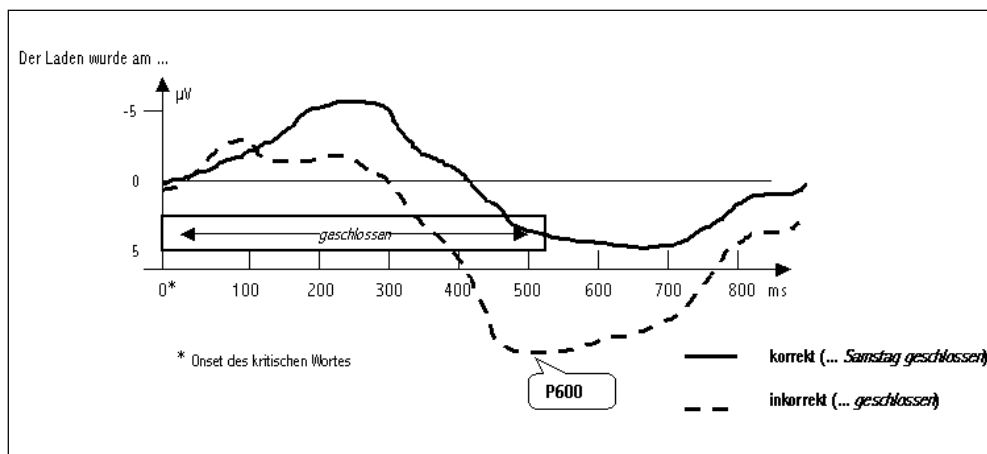


Abb. 9. Spätes ereigniskorreliertes Hirnpotential für syntaktisch inkorrekte und korrekte Sätze. Die Abbildung zeigt die gemittelten Potentialwellen für das kritische satzfinale Verb in beiden Bedingungen.

³² Kluender & Kutas (1993) fanden ebenso eine LAN auf Sätze, die stark das Arbeitsgedächtnis belasten. Jedoch lässt sich diese LAN von einer morphosyntaktisch-evozierten LAN unterscheiden, da der letztgenannten zumeist eine P600 folgt, der ersten jedoch nicht (Kluender & Münte, 1998).

³³ Beispielsweise weiß man aus Studien zur Blickbewegung beim Lesen, dass durch Schwierigkeiten bei der Verarbeitung eines Satzes, z.B. durch Ambiguitäten, die Versuchsperson dazu gezwungen wird, „in frühere Regionen [des Satzes] zurück[zu]springen, um eine initiale Fehlinterpretation zu revidieren“ (Hemforth & Strube, 1999, 261).

Eine Korrektur scheint auch erforderlich, wenn es aufgrund eines Wortkategoriefehlers („Der Laden wurde am geschlossen“ vs. „Der Laden wurde am Samstag geschlossen“) zur Verletzung der Phrasenstruktur innerhalb eines Satzes kommt. In unserem Beispielsatz verlangt die Präposition „am“ eine Nominalphrase mit einem Nomen als Kopf. Im inkorrekten Satz wird dieses Prinzip jedoch verletzt, da der Präposition anstatt eines Nomens ein Verb folgt. Wie bereits oben erwähnt, konnte man aufgrund solcher Verletzungen die ELAN und die P600 beobachten. Die ELAN tritt in einem sehr frühen Zeitfenster zwischen 100 und 200 ms auf. Neuere Studien belegen, dass sie mit einem *hochautomatischen* Verarbeitungsprozess assoziiert ist, der auch dann beobachtbar bleibt, wenn beispielsweise die Versuchsperson bewusst (oder auch strategisch) von dem syntaktischen Fehler abgelenkt wird³⁴. Dieses „Ablenkungsmanöver“ hat dagegen zur Folge, dass die P600 ganz verschwindet, so dass man diese Komponente eher mit *kontrollierten* Verarbeitungsprozessen – was immer das heißen mag – in Verbindung gebracht hat (Hahne, 1998, 228ff.). Diskussionsbedürftig bleibt, so Frisch, ob die syntaxspezifische P600 eher „die *Detektion* eines Prozessproblems reflektiert oder aber den Versuch von dessen *Beseitigung* [...]“ (2000, 93; Hervorhebung im Original).

Wie lassen sich die aufgeführten Daten mit Hinblick auf die *Chronometrie* sprachlicher Verarbeitungsprozesse interpretieren?

Friederici (1995; 2002) schlägt auf der Basis neuropsychologischer und -physiologischer (darunter EKP) Daten folgendes dreistufiges Modell der Sprachverarbeitung vor: In der frühen Phase zwischen 150-250 ms wird

³⁴ Die *Early Left Anterior Negativity* scheint gleichfalls die Annahme zu untermauern (vgl. 2.5.1), dass in einem Zeitbereich zwischen 100 und 250 msec nach Reizdarbietung, in dem auch die *Mismatch Negativity* generiert wird, (automatisch) Zugriff auf linguistische Repräsentationen besteht. Wortkategorieinformationen scheinen also bereits in diesem frühen Zeitfenster aktiviert zu sein.

durch die Identifikation der Wortkategorie (und nur durch sie) schnell und automatisch eine syntaktische Struktur erstellt (vgl. ELAN). Parallel dazu werden bereits lexikalisch-semantische Prozesse angeworfen, die zwischen 300-500 ms zur lexikalischen Integration, d.h. zum Abgleich von semantischer Kontextinformation mit dem momentan aktiven lexikalischen Element führen (vgl. N400). Gleichzeitig werden auf der Grundlagen von Verb-Argument-Struktur und weiteren morphosyntaktischen Informationen thematische Rollen zugewiesen (vgl. LAN). Während der anschließenden dritten Phase (nach 500 ms) kommt es zum Abgleich zwischen der initialen syntaktischen Struktur und den lexikalisch-semantischen Aspekten. Können beide Informationstypen konsistent miteinander in Beziehung gesetzt werden, findet erfolgreiches Verstehen statt. Treten dagegen Probleme auf, setzen Reanalyse- (bei unpräferierten Strukturen) oder Korrekturprozesse („*repair*“; bei ungrammatischen Sätzen) ein (vgl. P600).

Als Postulat bleibt also festzuhalten, dass wir bei sprachlichen Verstehensprozessen – vor allem auf Satzebene – von frühen autonom arbeitenden Informationsebenen ausgehen können (bis circa 250-300 msec nach Stimuluspräsentation; vgl. ELAN und auf Wortebene die MMN), die erst in späteren Analyseschritten koordiniert werden³⁵.

³⁵ Das darf aber nicht heißen, dass wir die Bedeutung eines Satzes erst mit dessen vollständigen Abschluss verstehen. Wir müssen eher davon ausgehen, je mehr Wörter wir seriell verarbeiten, desto *konkreter* wird die Interpretation des Satzes (Hemforth & Konieczny, 2002).

3. Ausgewählte EKP-Studien zur Mehrsprachigkeit

Im nun folgenden Abschnitt möchte ich anhand dreier ausgesuchter Studien die in der Einleitung umrissenen Fragestellungen diskutieren, inwiefern elektrophysiologische Korrelate in der Lage sind, Prozesse des Sprachlernens bzw. Besonderheiten des Mehrspracherwerbs offen zu legen. Da es, wie bereits an anderer Stelle erwähnt, eher wenige Studien auf diesem Gebiet gibt, scheint die weitere Einschränkung auf nur drei ausgewählte Veröffentlichungen kontraintuitiv. Dieses Vorgehen rechtfertigt sich jedoch dadurch, dass sich die folgenden Studien explizit mit einer bestimmten Problematik des Mehrspracherwerbs auseinandersetzen (vgl. Einleitung), wogegen die meisten anderen eher explorativen Charakter haben. Trotzdem sollen auch diese, wenn erforderlich, zur Sprache kommen.

3.1. Winkler et al. (1999) – *Plastizität*

Im einführenden Kapitel zur Mismatch Negativity (MMN) wurden Ergebnisse vorgestellt, die uns vermuten lassen, dass unser Gehirn über sprachspezifische Mechanismen und Muster verfügt, die uns in die Lage versetzen, nicht nur Sprache als Sprache („langage“) sondern auch eine spezifische Einzelsprache zu erkennen („langue“). Die Studie von Winkler et al. (1999) demonstriert, dass man anhand der Mismatch Negativity verfolgen kann, wie *Erwachsene* lernen, ein fremdsprachiges Phonem(inventar) wahrzunehmen und zu diskriminieren.

Neurophysiologisch gesprochen, verlangt das (flüssige) Erlernen einer uns fremden Sprache plastische Veränderungen auf neuronaler Ebene. Phoneme als kleinste bedeutungsunterscheidende Einheiten einer Einzelsprache müssen also ebenso neurophysiologisch manifest sein. Wenn sich Kinder das Phoneminventar ihrer Muttersprache aneignen, dann können wir davon aus-

gehen, dass das tagtägliche Ausgesetztsein der Umgebungssprache zu *automatischen* neuronalen Veränderungen führt (vgl. Neville, 1991). Hierbei ist das Kind aber keineswegs eine „tabula rasa“, die erst beschrieben werden muss. Nein, vielmehr verfügt es bereits über eine reichhaltige Merkmalsausstattung phonetischer Art. Und die distinktiven Merkmale, die für die jeweilige Muttersprache nicht relevant sind, verlernt es einfach (vgl. Kochendörfer, 2002). Lassen sie uns also im Zuge des Erstspracherwerbs von *negativer Plastizität* sprechen. Ganz im Gegensatz zum späten Zweitspracherwerb, bei dem einem bereits bestehenden Phoneminventar neue Phoneme hinzugefügt werden müssen. Dabei können sich die neuen Phoneme in nur einem einzelnen phonetischen Merkmal vom bereits vorhandenen Inventar unterscheiden. Unser ‚Analysesystem‘ muss folglich für einige Merkmalskonfigurationen, die in der Muttersprache nicht vorkommen – mit einem gewissen Aufwand, d.h. kontrolliert und nicht mehr nur automatisch – Gedächtnisspuren etablieren, die schließlich als kategoriale „Schablonen“³⁶ bei der Perzeption der neuen Phoneme dienen (vgl. auch Näätänen, 2001). Studien mit sprachentwicklungsgestörten Kindern konnten zeigen, dass eine *defiziente* Diskriminationsfähigkeit beispielsweise zwischen den Phonemen /d/ und /t/ (zumeist realisiert in Silben wie /da/ und /ta/) zu massiven sprachlichen Entwicklungsproblemen führen (vgl. Tallal, 2000). Sprich, die Akkuratheit, mit der wir in der Lage sind, sehr kleine Unterschiede zwischen verbalen Signalen auszumachen, prädisponiert zum großen Teil unser (späteres) sprachliches Können.³⁷

³⁶ Bei Näätänen (2001) finden wir ähnliche Begriffe wie *recognition pattern* oder *templates*.

³⁷ Näätänen führt noch einen weiteren interessanten Punkt an, wenn er nämlich davon spricht, dass sich neben der Etablierung neuer *memory traces* ebenso sprachverarbeitende Mechanismen verändern. So heißt es bei ihm: „[B]ut the early exposure to a specific language environment might also permanently modify the afferent mechanisms, so that they become increasingly more sensitive to, or accurate for, the type of acoustic variations that is

In einer mittlerweile klassischen Studien verglichen Näätänen und Mitarbeitern (1997) sprachspezifische Phonemrepräsentationen zwischen finnischen und estnischen Muttersprachlern. Zwar sind sich beide Sprachen sehr ähnlich, jedoch existiert der Vokal /õ/ nur im Estnischen. Die Amplitude der MMN auf diesen, in ihrer Sprache nicht vorkommenden Vokal war bei den Finnen signifikant geringer im Vergleich mit der MMN auf den Vokal /õ/, den es im Finnischen gibt. Näätänen et al. schlossen daraus, dass es, wie bereits mehrfach ausgeführt, phonemische Gedächtnisspuren gibt, die von der jeweiligen Muttersprache abhängig sind. Bei den finnischen *native speakern* gab es für den Vokal /õ/ keine bereits fest etablierte Phonemspur im Gegensatz zu den estnischen Versuchspersonen.

Winkler et al. (1999) testeten nun die Frage, wie sich ein Vokal einer Fremdsprache als das Ergebnis eines Lernprozesses manifestiert. Dazu wurden Versuchspersonen aus zwei verwandten Sprachen, nämlich dem Ungarischen und dem Finnischen herangezogen. Die ungarischen Versuchspersonen wurden nochmals in zwei Subgruppen aufgeteilt, wobei die eine Gruppe flüssig Finnisch sprechen konnte, die andere jedoch nicht. Das Stimulusmaterial bestand aus dem Standardreiz /e/, einem Vokal, der in beiden Sprachen vorkommt und dem Devianten /ä/, der im Ungarischen zur gleichen Kategorie wie der Standard /e/ gehört. Als Kontrollbedingung wurde der Vokalkontrast /e/ versus /y/ abgeleitet. Dieser Phonemkontrast ist für beide Sprachen relevant. Die Ergebnisse der Studie gibt Abb. 10 wieder:

Für den /e/ - /ä/ Kontrast, der in der Finnischen Sprache, jedoch nicht im Ungarischen relevant ist, zeigte sich keine MMN für die Ungarischen *native speaker* ohne Finnisch-Kenntnisse. Dagegen unterschied sich die MMN zwi-

frequently present in stimulation.” (2001, 12f.). Zwar spezifiziert er diese Modifikationen nicht im Detail, jedoch können wir festhalten, dass wir beim Spracherwerb nicht nur von quantitativen (Speicherung) sondern auch von qualitativen (Verarbeitung) Veränderungen ausgehen müssen.

schen den Finnen und den Ungarn, die flüssig Finnisch sprechen konnten, nicht; bei beiden Gruppen lässt sich eine gut ausgeprägte Mismatch Negativity beobachten. Auch zeigten die ‚naiven‘ Ungarn beim behavioralen Diskriminieren zwischen /e/ und /ä/ sehr schlechte Leistungen; sie waren nicht in der Lage beide Phoneme zu unterscheiden.

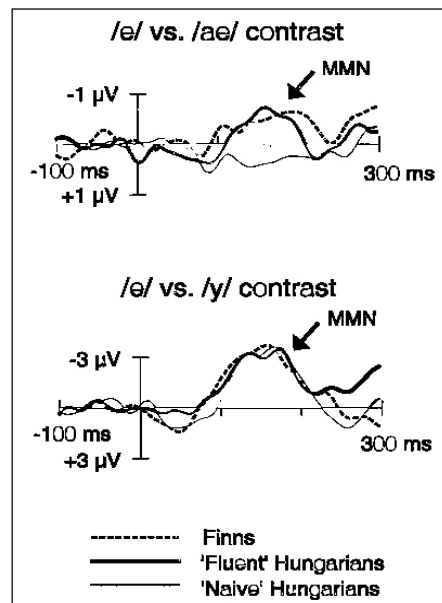


Abb. 10. Mismatch Negativity auf die Vokal-Kontraste (aus Winkler et al., 1999, 640).

Der /e/ - /y/ Kontrast, der für beide Sprachen relevant ist, evokierte bei allen drei Gruppen eine gleichgroße MMN. Beim behavioralen Unterscheiden des Kontrastes erlangten die drei Gruppen ebenso gleich gute Resultate.

Die präsentierten Ergebnisse demonstrieren, dass das Erlernen einer Fremdsprache zu plastischen Langzeitveränderungen auf der Ebene der *phonetischen* Merkmalsanalyse führen. Eine phonemischer Kontrast, der phonetisch realisiert ist, muss sich erst angeeignet werden. Da die MMN sogenannte *präattentive* – vorbewusste – Verarbeitungsprozesse widerspiegelt (vgl. 2.5.1.) und sich die ‚flüssigen‘ Ungarn nicht von den Finnischen

native speakern im Bezug auf die MMN unterschieden, spekulieren Winkler et al., dass „the phonetic aspects of learning one’s mother tongue [...] or a second language might be similar“ (1999, 641). Diese Schlussfolgerung möchte ich anzweifeln, da sie nicht zwangsläufig aus den Ergebnissen herauszulesen ist. Zwar unterscheiden sich die beiden genannten Gruppen weder neurophysiologisch noch behavioral voneinander, das sagt aber noch lange nichts über die *zugrundeliegenden* Lernprozesse aus, die beide Personengruppen durchlaufen haben. Da es keine angelegte Longitudinalstudie war, kann eben nur ein vorläufiger ‚Endzustand‘ dargestellt werden. Außerdem, so belegen MMN-Studien, spielt das bewusste Fokussieren – die Aufmerksamkeit – auf das zu Lernende mit zunehmenden Alter eine immer wichtigere Rolle, so auch beim Spracherwerb (vg. Näätänen, 2001). Es lässt sich ganz bewusst postulieren, dass sich bei Kindern die sprachspezifischen Gedächtnisspuren bis zu einem gewissen Alter mehr oder weniger automatisch etablieren, wogegen der erwachsene Sprachlerner angehalten ist, auf der Grundlage eines bereits voll ausgebildeten Sprachsystems mit einer neuen, fremden Sprache ‚fertig zu werden‘. Hier ist bewusste Auseinandersetzung gefragt. Das belegt z.T. auch die Studie von Näätänen et al. (1993; vgl. dazu Abb. 11).

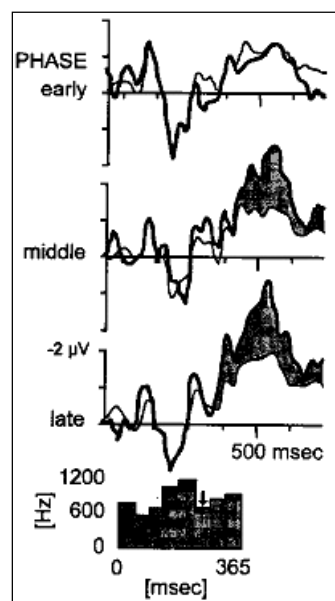


Abb. 11. Dargestellt ist die Zunahme der MMN im Laufe behavioralen Lernens eines komplexen Tongebildes (aus Näätänen et al., 1993).

Die Versuchspersonen der Studie wurden, während sie lasen, mit einem komplexen Tongebilde konfrontiert. Der Deviant unterschied sich in nur einem kleinen Segment (vgl. Abb. 11) vom Standard. Die Probanden, die den Unterschied zwischen Standard und Deviant behavioral nicht diskriminieren konnten, zeigten auch keine MMN. Ein Teil dieser Probanden wurde nun dahingehend trainiert, die beiden komplexen Töne zu unterscheiden, und nach ein bis zwei Trainingsphasen konnte auch bei ihnen eine MMN beobachtet werden. Bei den schlechten Diskriminierern, die ohne Training blieben, ließ sich auch nach stundenlangem *passiven* Zuhören (während sie lasen) keine MMN evozieren; sie hatten nichts gelernt (vgl. auch Tervaniemi et al., 2001).

Wie wir sehen, wird ein bestimmtes Maß an ‚Training‘ benötigt, um für komplexe Umweltreize eine mustergültige Gedächtnisspur zu manifestieren. Diese *kontrolliert* aufgebaute Spur dient dann als „Schablone“ für *automatische* Musterabgleichsprozesse.

3.2. Weber-Fox & Neville (1996) – *Biologische Zeitfenster*

Eine Frage, die in der Forschung zum (Mehr)Spracherwerb zumeist dominiert, ist die nach der „kritischen Zeitspanne“. Eher wenige Kinder, die in frühen Jahren ohne sprachlichen Input aufwachsen, meistern in späteren Jahren einen unauffälligen Spracherwerb (Curtiss, 1977). Man kann vermuten, dass beim Zweitspracherwerb ähnliche Restriktionen im Spiel sind. Deren genauen Prozesse sind jedoch noch ziemlich unklar. Zwei Erklärungsansichten konkurrieren in diesem Zusammenhang um Gültigkeit: Die *earlier-is-better* und die *less-is-more* Hypothese (vgl. Friederici, Steinhauer & Pfeifer, 2002). Bei der *earlier-is-better* Hypothese geht man davon aus, dass Beschränkungen durch neuronale Reifungsprozesse bestehen. Sind bestimmte Reifungsprozesse abgeschlossen, müssen komplizierte

„Umwegprozesse“ angestoßen werden, damit eine andere, neue Sprache erlernt werden kann (z.B. Lenneberg, 1967). Die less-is-more Hypothese postuliert, dass die Unterschiede zwischen frühem und spätem Spracherwerb eher ein Nebenprodukt beschränkter Kapazitäten sind, die beim Zweitspracherwerb eine fokussiertere und somit aufwendigere Hinwendung zur erlernenden Sprache fordert (vgl. z.B. Newport, 1990). Exakt definierte biologische Zeitfenster liegen trotz allem nicht vor, die standardisiert festlegen würden, ab diesem oder jenem Lebensalter sprächen wir vom Zweitspracherwerb.

Wenden wir uns nun einer der ersten Studie zu, die unter Zuhilfenahme ereigniskorrelierter Hirnpotentiale semantische und syntaktische Aspekte des Mehrspracherwerbs untersuchte.

Nachdem Ardal et al. (1990) und Kutas & Kluender (1991) vor allem semantische Prozesse – hier also die N400 – im Blickfeld hatten³⁸, interessierten sich Weber-Fox & Neville (1996) insbesondere für die syntaktische Verarbeitung bei ihren Chinesisch-Englischen Mehrsprachlern. Interessant an dieser Studie ist die Einteilung der Probanden nach dem age-of-exposure (d.h. Alter des Kontakts mit der Zweitsprache). Hierzu wurden 5 Gruppen gebildet: 1-3, 4-6, 7-10, 11-13 und 16+. Als kritische Stimuli wurden sowohl semantische als auch syntaktische Fehler in visuell dargebotenen Sätze verwendet. Dazu mussten die Probanden nach jedem Satz entscheiden, ob dieser richtig oder falsch gewesen ist (acceptability judgement task). Auf die semantischen Fehler zeigten alle fünf Gruppen eine N400, die nur bei denen eine verlängerte Latenz aufwies, die ihre Zweitsprache nach dem 11. Lebensalter erlernt hatten. Auf Fehler der Wortkategorie zeigten die

³⁸ Ardal et al. (1990) konnten zeigen, dass der N400-Effekt auf semantische Anomalien bei flüssigen Englisch-Französischen Mehrsprachlern im Vergleich zu Monolingualen in der Latenz verlängert auftrat. Kutas & Kluender (1991) fanden bei ihren unflüssigen Mehrsprachlern ebenfalls eine verlängerte N400-Latenz und dazu eine verringerte Amplitude.

Monolingualen typischerweise sowohl eine N125 (vgl. ELAN) als auch einen P600-Effekt. Bei *keiner* der mehrsprachigen Gruppen ließ sich dagegen eine ‚klassische‘ ELAN beobachten. Diejenigen, die ihre Zweitsprache (L2) später als 11 erlernt haben, zeigten zwar eine frühe Negativierung, diese war jedoch bilateral anstatt links anterior prominent. Dagegen ließ sich nur bei den frühen Lernern (bis 10) ein P600-Effekt evozieren.

In eine ähnliche Richtung weisen die Ergebnisse der Arbeitsgruppe um Angela Friederici und Anja Hahne. Für späte L2-Lerner des Deutschen konnte auf Phrasenstrukturfehler weder eine ELAN noch eine P600 beobachtet werden. Eine N400 ließ sich dagegen immer evozieren (zit. nach Hahne, 2000).

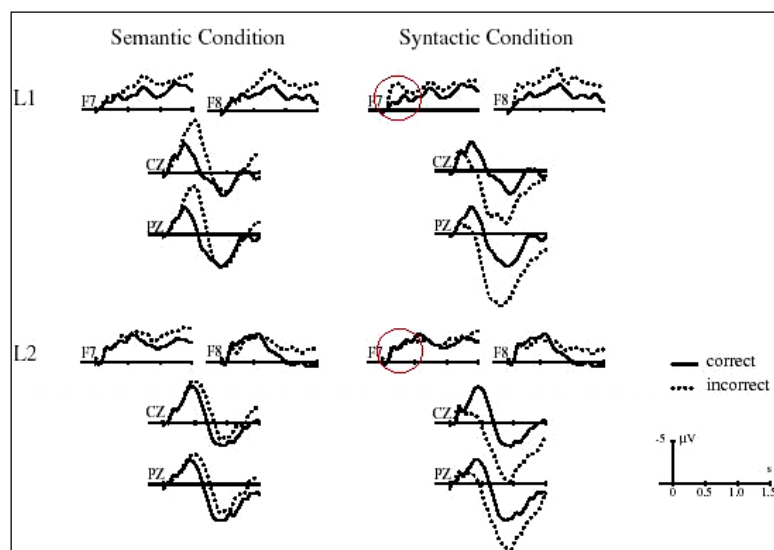


Abb. 12. EKPs auf semantische und syntaktische Verletzungen für *native* (L1) und *non-native speakern* (L2) (verändert nach Hahne, 2000, 28).

Hahne (2000; vgl. dazu Abb. 12) verwendete in einer Studie mit Russischen *native speakern*, die ab dem 10. Lebensjahr Deutsch erlernt hatten, Sätze, die auditorisch präsentiert wurden. Auf semantische Verletzungen des Deutschen zeigte sich bei den Russischen *native speakern* eine reduzierte und verlängerte N400-Komponente. Wie aus Abb. 12 zu entnehmen ist, konnte

dagegen auf die syntaktischen Fehler keine frühe ELAN (vgl. roter Kreis) evoziert werden. Zwar gab es ebenso eine P600, diese war jedoch, ähnlich der N400, in ihrer Latenz verlängert. Anhand einer Metaanalyse zeigte sich, dass die späte Positivierung (P600) mit besseren Deutschkenntnissen assoziiert ist.

Zusammenfassend halten wir fest: Bei semantischen Prozessen verfügen *native speaker* und L2-Lerner, über sehr ähnliche Verarbeitungsstrategien. Eine verlängerte N400-Latenz könnte hier bedeuten, dass die zweisprachigen Versuchspersonen mehr Zeit für die Integration eines Wortes in den Satzkontext benötigen. Wahrscheinlich ist das Ausdruck für eine gewisse *Unsicherheit* im Umgang mit dem Vokabular der Fremdsprache (vgl. Friederici & Hahne, 2001). Dagegen offenbaren sich bei syntaktischen Verarbeitungsprozessen erhebliche Unterschiede zwischen *native* und *non-native speakern* (vgl. Tab.1).

Komponente	Funktion	vor 10.-11. Lebensjahr	nach 10.-11. Lebensjahr
ELAN	<i>Initiale Phrasenstruktur</i>	▪ <u>Nicht</u> vorhanden	▪ <u>Nicht</u> vorhanden
N400	<i>Lexikalisch- semantische Integration</i>	▪ Vorhanden	▪ Verlängerte Latenz
P600	<i>Reanalyse/Repair</i>	▪ Vorhanden	▪ <u>Nicht</u> vorhanden, außer bei guten Sprachkenntnissen mit verlängerter Latenz

Tab. 1. Zusammenfassung der oben referierten Studien. Dargestellt sind die Komponenten, die Funktionen, die sie widerspiegeln und die Studienergebnisse aufgeteilt in zwei Altersblöcke³⁹ (Alter des Zweitspracherwerbs). Resultate sind immer im Vergleich mit gleichaltrigen, monolingualen Kontrollprobanden zu verstehen.

Das vollkommene Nichtvorhandensein einer ELAN-Komponente erstaunt jedoch weniger. Diese korreliert, wie bereits in 2.5.3. dargelegt, mit *hoch-*

³⁹ Diese Einteilung in Altersblöcke dient lediglich einer besseren Präsentation.

automatischen Parsingprozessen. Bei den L2-Lernen scheinen diese Prozesse noch nicht in gleichen Maßen wie bei *native speakern* etabliert zu sein, auch wenn sie mit der Zweitsprache bereits sehr früh in Kontakt gekommen sind. Eine spannende Datenlage, die weiterer Klärung bedarf. Kontrollierte Reanalyse- bzw. Korrekturprozesse hängen bei L2-Lernern dagegen vor allem davon ab, wie gut sie mit der erlernten Sprache umzugehen wissen. Interessanterweise zeigt sich hier, dass eine P600 auch dann evoziert werden kann, ohne dass eine (E)LAN-Komponente vorangegangen ist; ein Befund, der bis dato nur bei aphasischen Patienten beobachtet wurde (Friederici et al., 1999). Aus den zitierten Studien ließe sich darüber hinaus ein *cut-off* herauslesen, der die L2-Lerner in zwei Altersblöcke einteilen würde: Diejenigen, die ihre Zweitsprache vor dem 10.-11. Lebensjahr und solche, die sie danach erlernt haben. Ich halte diese Aufspaltung jedoch für wenig sinnvoll und eher für einen methodischen Artefakt, der sich zurückführen lässt auf die Unterschiedlichkeit solch studientechnischer Variablen wie verwendetes Material, Modalität (visuell vs. auditorisch), auszuführende Zusatzaufgaben und vor allem das *Sprachkönnen* der untersuchten Probanden (vgl. auch Goral et al., 2002). Zugespitzt formuliert, zeigt sich doch folgendes Bild: Eine N400 ist immer da, eine ‚klassische‘ ELAN nie und die P600 hängt eher vom Wissen ab, die ein *non-native speaker* von der erlernten Zweitsprache hat. Die Frage nach biologischen Zeitfenstern können wir auch hier nicht beantworten. Außerdem müssen wir bei der Interpretation der Ergebnisse immer die Frage miteinbeziehen, *welche* Probanden *welche* Sprache erlernt haben; Italiener, deren Zweitsprache Französisch ist, zeigen womöglich ein gänzlich anderes EKP-Muster als Deutsche, die Französisch sprechen. Der Verwandtheitsgrad der Sprachen (in unserem Beispiel zwischen romanischen und germanischen) wird mit großer Wahrscheinlichkeit einen modulierenden Einfluss ausüben. Um dieses potentielle Interpretationsproblem zu umgehen und

nochmals explizit die Frage der „kritischen Zeitspanne“ zu überprüfen, wurde die Studie konzipiert, die im Folgenden vorgestellt und diskutiert werden soll.

3.3. Friederici, Steinhauer & Pfeifer (2002) - Transferleistungen

Ein besonders interessantes Vorgehen bei der Untersuchung von Mehrsprachigkeit, ist das Konstruieren einer *künstlichen Grammatik (artificial grammar)*; vgl. Reber, 1967). Wie im vorhergehenden Abschnitt deutlich gemacht, können methodische Probleme zu Ergebnisverzerrungen führen, die eine überzeugende Deutung der EKP-Resultate in großem Maße beeinträchtigen. Insbesondere das fremdsprachige Können und die spezifische Muttersprache des *non-native speakers* sind nicht zu unterschätzende Faktoren, die kontrolliert werden müssen. Beim Erlernen einer künstlichen Grammatik ist diese Kontrolle gegeben.

In der Studie von Friederici, Steinhauer & Pfeifer (2002) standen vor allem syntaktische Fragestellungen im Mittelpunkt des Erkenntnisinteresses. Wie oben ausgeführt, existieren gerade bei den (automatischen) syntaktischen Verarbeitungsprozessen erhebliche Unterschiede zwischen L1- und L2-Lernern (vgl. die Resultate zur ELAN). Semantische Verarbeitung blieb in der Studie deswegen ausgeklammert.

Die zu erlernende künstliche Grammatik hieß BROCANTO. Wie aus Abb. 13 zu entnehmen, bestand diese aus syntaktischen Regeln und einem eingeschränkten Vokabular von wenigen Worten. Um Transfereffekte aus der Muttersprache der Versuchspersonen auszuschließen, wurden Phrasenstrukturregeln entwickelt, die im Deutschen nicht vorkommen. Der Umfang der künstlichen Grammatik wurde bewusst klein gehalten. Den Hintergrund hierfür bildeten die beiden in 3.2. dargestellten Hypothesen zur Frage der „kritischen Zeitspanne“: Die *earlier-is-better* Hypothese würde voraussagen,

dass das späte Lernen einer Zweitsprache zu gänzlich unterschiedlichen Verarbeitungsprozessen und so auch zu einem anderen EKP-Muster als bei L1-Lernern führt. Gemäß der less-is-more Hypothese würde eine klein gehaltene Grammatik, wie in BROCANTO realisiert, zu vergleichbaren Prozessstrategien zwischen L1- und L2-Lernern beitragen; die EKP-Komponenten wären demzufolge dieselben.⁴⁰

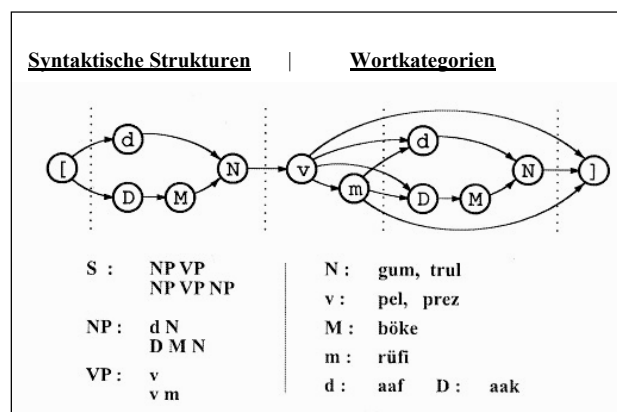


Abb. 13. Die künstliche Grammatik BROCANTO
(mod. nach Opitz & Friederici, 2001)

Zwei Experimentalgruppen wurden für das Experiment herangezogen. Eine Gruppe wurde anhand eines Computerspiels mit dem Vokabular und der Syntax von BROCANTO geübt, die andere Gruppe erhielt lediglich ein Vokabeltraining, ohne die Syntax zu erlernen. Während der anschließenden hirnelektrischen Ableitung bekamen beide Gruppen die gleichen 488 Sätze zu hören, wobei die Hälfte dieser Sätze Wortkategoriefehler enthielten. Fehler solcher Art riefen eigentlich eine ELAN und eine P600 hervor.

Bei der untrainierten Gruppe, evozierten die syntaktischen Fehler rein gar nichts. Die Gruppe jedoch, die ein vollständiges BROCANTO-Training er-

⁴⁰ Der letztgenannte Ansatz geht demzufolge mit der Idee einher, dass weniger das Erwerbsalter als vielmehr der Wissensgrad der bestimmende Faktor für die (möglichen) Unterschiede bei der Verarbeitung der Erst- im Vergleich mit der Zweitsprache ist (vgl. Friederici et al., 2002).

halten hatte, zeigte sowohl eine frühe ELAN als auch eine späte P600; ein biphasisches Komponentenmuster, das typisch für *native speaker* ist. Da Transfereffekte aus dem Deutschen ausgeschlossen werden können (s.o.), lässt sich feststellen, dass die beobachtbaren EKP-Korrelate auf syntaktische Verarbeitungsprozesse in der künstlichen Grammatik zurückzuführen sind. Was bedeutet das im Hinblick auf die „kritische Zeitspanne“?

Vergleicht man die Ergebnisse dieser Studie mit den Resultaten, die im vorangegangenen Abschnitt referiert wurden, dann lässt sich behaupten, dass die Unterschiede in den EKP-Komponenten, vor allem bei der ELAN, der „Größe“ einer zu lernenden Sprache zuzuschreiben sind. Und somit auch dem Wissensgrad, den man in dieser Sprache besitzt (Ebd.). BROCANTO verfügt über ein eingeschränktes Vokabular, und eben auch über eine kleine Zahl an Wortkategoriemitgliedern, so dass der frühe, automatische Zugriff auf grammatikalische Informationen (z.B. der Wortkategorie) effizienter ablaufen kann; demzufolge auch die beobachtbare ELAN bei den *non-native speakern*.

Die Daten unterstützen zwangsläufig die less-is-more Hypothese und weisen das Erwerbsalter als *den* kritischen Faktor beim Zweitspracherwerb zurück. Relevanter scheinen Umstände zu sein wie die „Größe“ einer Sprache – was immer das im Detail auch heißen mag – und damit assoziiert das Wissen und Können, über das jemand in seiner Zweitsprache verfügt.⁴¹

⁴¹ Vgl. auch dazu das Review von Goral et al., 2002, die unter Einschluss von aphasiologischen, elektrophysiologischen und bildgebenden Veröffentlichungen zu einem ganz ähnlichen Resultat kommen.

4. Ausblick

Sich eine erste, zweite oder dritte Sprache anzueignen, ist ein langjähriger Prozess. Wir vermuten, dass er in ganz jungen Jahren relativ automatisch und effizient abläuft. Ab einem gewissen Alter – wir wissen nur nicht ab wann genau – scheinen wir tatsächlich jedoch richtig *lernen* zu müssen. Besser gesagt, trainieren. Ich habe es in einem Kapitel etwas schwammig die bewusste *Auseinandersetzung* mit der Fremdsprache genannt. Die Ableitung ereigniskorrelierter Hirnpotentiale, so haben wir weiter hervorgehoben, ist eine sehr sensitive Methode, was das Sichtbarmachen zeitlicher Abläufe betrifft. Doch kann sie auch angesprochene *Lernprozesse* offen legen? Die referierten Studien zeigen oft ‚Endprodukte‘ sprachlichen Lernens. Über die zugrundeliegenden *Lernmechanismen* wissen wir relativ wenig. Die derzeitigen elektrophysiologischen Ableitungen, außer vielleicht die MMN, helfen uns an diesem Punkt auch nicht viel. Gefragt sind Studien, die einmal longitudinal schauen, was tatsächlich in den Köpfen derjenigen vorgeht, die eine andere Sprache erlernen. Wie bereits in der Einleitung formuliert, steckt die Forschung einfach noch in den Kinderschuhen.

Trotzdem, in der vorliegenden Arbeit wurde versucht, die Stellung elektrophysiologischer Ableitungen für die Erforschung der Mehrsprachigkeit zu reflektieren. Hierbei konnten Studienergebnisse präsentiert werden, die einen großen Erkenntnisgewinn für diesen Forschungszweig bedeuten. Natürlich zeigten sich ebenso viele offene Fragen, die es zu beantworten bedarf; mit oder auch ohne Elektrophysiologie. Der Wink der Zukunft ist wahrscheinlich die Kombination der unterschiedlichen Neuroscience-Methoden und ein Über-den-Tellerrand-hinausschauen auf Erkenntnisse anderer linguistischer, psychologischer und medizinischer Forschungsgebiete. So könnten beispielsweise Ergebnisse gesunder mehrsprachiger Probanden mit solchen von sprachentwicklungsgestörten Kindern verglichen werden,

schließlich zeigen beide Versuchsgruppen Sprachdefizite (vgl. Sparks et al., 1997).

Es bleibt also ganz zum Schluss festzuhalten: Viele neue Erkenntnisse führen zu vielen neuen Fragen. Und der Forschung zur Mehrsprachigkeit wird der Stoff so schnell nicht ausgehen.

Literatur

- Altenmüller, E. (1996): Ereigniskorrelierte Potentiale. In: M. Stöhr, J. Dichgans, U.W. Buettner, C.W. Hess, E. Altenmüller (Hrsg.), *Evozierte Potentiale*. Berlin u.a.: Springer-Verlag.
- Ardal, S., Donald, M.W., Meuter, R., Muldrew, S. & Luce, M. (1990). Brain responses to semantic incongruity in bilinguals. *Brain and Language*, 39, 187-205.
- Berger, H. (1929). Über das Elektrenkephalogramm des Menschen. *Archiv für Psychiatrie und Nervenkrankheiten*, 87, 527-570.
- Birbaumer, N. & Schmidt, R.F. (2003). *Biologische Psychologie*. 5., vollst. überarb. u. erg. Aufl. Berlin u.a.: Springer-Verlag.
- Cheour, M., Korpilahti, P., Martynova, O. & Lang, A.-H. (2001). Mismatch negativity and late discriminative negativity in investigating speech perception and learning in children and infants. *Audiology & Neuro-Otology*, 6, 2-11.
- Coles, M.G.H. & Rugg, M.D. (1995). Event-related brain potentials: an introduction. In: M.D. Rugg & M.G.H. Coles (Hrsg.), *Electrophysiology of mind: Event-related brain potentials and cognition*. New York: Oxford University Press, 1-26.
- Cowan, N. (1984). On short and long auditory stores. *Psychological Bulletin*, 96, 341-370.
- Creutzfeldt, Otto D. (1983). *Cortex Cerebri. Leistung, strukturelle und funktionelle Organisation der Hirnrinde*. Berlin u.a.: Springer-Verlag.
- Curtiss, S. (1977). *Genie: A psycholinguistic study of a modern-day wild child*. New York: Academic Press.
- Donchin, E., Ritter, W. & McCallum, W.C. (1978). Cognitive Psychophysiology: The endogenous components of the ERP. In: E. Callaway, P. Tueting & S.H. Koslow (Hrsg.), *Event-related brain potentials in man*. New York: Academic Press, 349-411.
- Elbert, T.; Junghöfer, M.; Rockstroh, B.; Roth, W.T. (2001). Physiologische Grundlagen und psychophysiologische Meßmethoden. In: Frank Rösler (Hrsg.), *Grundlagen und Methoden der Psychophysiologie. Enzyklopädie der Psychologie, Serie I: Biologische Psychologie (Bd. 4)*. Göttingen u.a.: Hogrefe-Verlag.
- Frauenfelder, U.H. & Floccia, C. (1999). Das Erkennen gesprochener Wörter. In: Angela D. Friederici (Hrsg.), *Sprachrezeption. Enzyklopädie der Psychologie, Serie III: Sprache (Bd. 2)*. Göttingen: Hogrefe, 1-48.
- 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. (2002). Towards a neural basis of auditory sentence processing. *Trends in Cognitive Sciences*, 6, 78-84.
- Friederici, A.D. (2003). Neurobiologische Grundlagen der Sprache. In: Hans-Otto Karnath & Peter Thier (Hrsg.), *Neuropsychologie*. Berlin & Heidelberg: Springer-Verlag, 367-377.
- Friederici, A.D., Steinhauer, K. & Pfeifer, E. (2002). Brain signatures of artificial language processing: Evidence challenging the critical period hypothesis. *PNAS*, 99, 529-543.
- Friederici, A.D., von Cramon, D.Y. & Kotz, S.A. (1999). Language-related brain potentials in patients with cortical and subcortical left hemisphere lesions. *Brain*, 122, 1033-1047.
- Friederici, A.D. & von Cramon, D.Y. (1999). Neurobiologische Grundlagen des Sprachverstehens. In: Angela D. Friederici (Hrsg.), *Sprachrezeption. Enzyklopädie der Psychologie, Serie III: Sprache (Bd. 2)*. Göttingen: Hogrefe, 307-349.
- Frisch, S. (2000). *Verb-Argument-Struktur, Kasus und thematische Interpretation beim Sprachverstehen*. MPI Series in Cognitive Neuroscience, 12.
- Garnsey, S.M. (1993). Event-related brain potentials in the study of language: An introduction. *Language and Cognitive Processes*, 8, 337-356.
- Goral, M., Levy, E.S. & Opler, L.K. (2002). Neurolinguistic aspects of bilingualism. *The International Journal of Bilingualism*, 6, 411-440.
- Gunter, T.C., Friederici, A.D. & Schriefers, H. (2000). Syntactic gender and semantic expectancy: ERPs reveal early autonomy and late interaction. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 12, 520-541.
- 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. (2000). *What is different in second language processing? Evidence from German and Russian native listeners*. Annual Report 2000, Max Planck Institute of Cognitive Neuroscience, Leipzig.
- Hahne, A. (1998). *Charakteristika syntaktischer und semantischer Prozesse bei der auditiven Sprachverarbeitung*. MPI Series in Cognitive Neuroscience, 1.
- Hahne, A. & Friederici, A.D. (2001). Processing a second language: late learner's comprehension mechanisms as revealed by event-related potentials. *Bilingualism: Language and Cognition*, 4, 123-141.
- Hebb, D.O. (1949). *The organization of behaviour*. New York: Wiley.
- Heil, M. & Rösler, F. (2000): Neuro- und elektrophysiologische Verfahren. In: W. Sturm; M. Herrmann; C.-W. Wallesch (Hrsg.), *Lehrbuch der Klinischen Neuropsychologie*. Lisse: Swets&Zeitlinger Publishers, 219-228.

- Hemforth, B. & Konieczny, L. (2002). Sätze und Texte verstehen und produzieren. In: Jochen Müsseler & Wolfgang Prinz (Hrsg.), *Allgemeine Psychologie*. Heidelberg & Berlin: Spektrum Akademischer Verlag, 546-642.
- Hemforth, B. & Konieczny, L. (2000). Cognitive parsing in German: An introduction. In: Barbara Hemforth & Lars Konieczny (Hrsg.), *German sentence processing*. Dordrecht, NL: Kluwer, 1-23.
- Hemforth, B. & Strube, G. (1999). Syntaktische Struktur und Sprachperzeption. In: Angela D. Friederici (Hrsg.), *Sprachrezeption. Enzyklopädie der Psychologie, Serie III: Sprache (Bd. 2)*. Göttingen: Hogrefe, 243-270.
- Hernandez, A.E. & Bates, E. (1999). *Bilingualism and the brain*.
URL: <http://www.psych.ucsb.edu/research/language/EncyCogSci99.pdf>
- Hugdahl, K. (1995). *Psychophysiology. The mind-body perspective*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Klein, W. (1992), *Zweitspracherwerb. Eine Einführung*. 3., Auflage. Frankfurt am Main: Hain.
- Kluender, R. & Kutas, M. (1993). Subjacency as a processing phenomenon. *Language and Cognitive Processes*, 8, 573-633.
- Kluender, R. & Münte, T. (1998). ERPs to grammatical and ungrammatical subject/object asymmetries in German Wh-questions. *Paper presented at the 11th CUNY Conference on Human Sentence Processing*, New Brunswick, NJ, März 1998.
- Kochendörfer, G. (2002). *Studien zum Spracherwerb in neuronalen Modellen*. URL: <http://www.cortical-linguistics.de>.
- Kohls, G. (2002). *Zentral-auditive Verarbeitung – neurophysiologisch gedacht*. Manuskript am Neurolinguistischen Labor, Universität Freiburg.
- Korpilahti, P., Krause, C.M., Holopainen, I. & Lang, A.-H. (2001). Early and late mismatch negativity elicited by words and speech-like stimuli in children. *Brain and Language*, 76, 332-339.
- Kosslyn, S.M. (1994). On Cognitive Neuroscience. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 6, 297-303.
- Kutas, M. & Hillyard, S.A. (1980). Reading senseless sentences: Brain potentials reflects semantic incongruity. *Science*, 207, 203-205.
- Kutas, M. & Kluender, R. (1991). What is who violating? A reconsideration of linguistic violations in light of event-related brain potentials. In: H.-J. Heinze, T.F. Münte & G.R. Mangun (Hrsg.), *Cognitive electrophysiology*. Boston: Birkhäuser, 183-210.
- Kutas, M. & van Petten, C. (1994). Psycholinguistics electrified. Event-related brain potential investigations. In: M.A. Gernsbacher (Hrsg.), *Handbook of psycholinguistics*. San Diego: Academic Press, 83-143.
- Lenneberg, E. (1967). *Biological foundations of language*. New York: Wiley.

- Locke, J.L. (1993). *The child's path to spoken language*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Marslen-Wilson, W.D. (1987). Functional parallelism in spoken word recognition. *Cognition*, 25, 71-102.
- Marslen-Wilson, W.D. & Welsh, A. (1978). Processing interactions and lexical access during word recognition in continuous speech. *Cognitive Psychology*, 10, 29-63.
- Marslen-Wilson, W.D. & Tyler, L.K. (1980). The temporal structure of spoken language understanding. *Cognition*, 8, 1-71.
- Massaro, D.W. (1975). *Experimental psychology and information processing*. Chicago: Rand McNally.
- Näätänen, R. (1992). *Attention and brain function*. Hillsdale, N.J.: Erlbaum.
- Näätänen, R. (2001). The perception of speech sounds by the human brain as reflected by the mismatch negativity (MMN) and its magnetic equivalent (MMNm). *Psychophysiology*, 38, 1-21.
- Näätänen, R., Gaillard, A.W.K. & Mäntysalo, S. (1978). Early selective attention effect on evoked potential reinterpreted. *Acta Psychologica*, 42, 313-329.
- Näätänen, R., Schröger, E., Karakas, S., Tervaniemi, M. & Paavilainen, P. (1993). Development of a memory trace for a complex sound in the human brain. *Neuroreport*, 4, 503-506.
- Näätänen, R. & Alho, K. (1995). Mismatch negativity – a unique measure of sensory processing in audition. *International Journal of Neuroscience*, 80, 317-337.
- Näätänen, R., Lehtokoski, A., Lennes, M., Cheour, M., Huotilainen, M., Iivonen, A., Vainio, M., Alku, P., Ilmoniemi, R.J., Luuk, A., Allik, J., Sinkkonen, J. & Alho, K. (1997). Language-specific phoneme representations revealed by electric and magnetic brain responses. *Nature*, 385, 423-434.
- Näätänen, R. & Winkler, I. (1999). The concept of auditory stimulus representation in Cognitive Neuroscience. *Psychological Bulletin*, 125, 826-859.
- Neundörfer, B. (1990). *EEG-Fibel. Das EEG in der ärztlichen Praxis*. Mit einem Beitrag von Klaus Witzel, 3., überarb. und erw. Aufl.. Stuttgart u.a.: Gustav Fischer Verlag.
- Neville, H.J. (1991). Neurobiology of cognitive and language processing: Effects of early experience. In: K.R. Gibson & A.C. Peterson (Hrsg.), *Brain maturation and cognitive development. Comparative and cross-cultural perspectives*. New York: de Gruyter, 355-380.
- Neville, H.J., Nicol, J., 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.

- Newport, E. L. (1990). Maturational constraints on language learning. *Cognitive Science*, 14, 11-28.
- Nigam, A., Hoffman, J.E. & Simons, R.F. (1992). N400 to semantically anomalous pictures and words. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 4, 15-22.
- O'Rourke, T.B. & Holcomb, P.J. (2002). Electrophysiological evidence for the efficiency of spoken word processing. *Biological Psychology*, 60, 121-150.
- Opitz, B. (1999). *Funktionelle Neuroanatomie der Verarbeitung einfacher und komplexer akustischer Reize: Integration haemodynamischer und elektrophysiologischer Maße*. MPI Series in Cognitive Neuroscience, 8.
- Opitz, B. & Friederici, A.D. (2001). *The brain circuitry mediating language learning*. Annual Report 2001, Max Planck Institute of Cognitive Neuroscience, Leipzig.
- Paavilainen, P., Simola, J., Jaramillo, M., Näätänen, R. & Winkler, I. (2001). Preattentive extraction of abstract feature conjunctions from auditory stimulus as reflected by the mismatch negativity (MMN). *Psychophysiology*, 38, 359-365.
- Poeppel, D. & Marantz, A. (2000). Cognitive neuroscience of speech processing. In: Alec Marantz, Yasushi Miyashita & Wayne O'Neil (Hrsg.), *Image, language, brain. Papers from the First Mind Articulation Project Symposium*. Cambridge, MA & London, England: MIT Press, 29-50.
- Pulvermüller, F. (1996). *Neurobiologie der Sprache: gehirnthoretische Überlegungen und empirische Befunde*. Lengerich u.a.: Pabst Science Publishers.
- Pulvermüller, F., Kujala, T., Shtyrov, Y., Simola, J., Tiitinen, H., Alku, P., Alho, K., Martinkauppi, S., Ilmoniemi, R.J. & Näätänen, R. (2001). Memory traces for words as revealed by the mismatch negativity. *Neuroimage*, 14, 607-616.
- Reber, A.S. (1967). Implicit learning of artificial grammar. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 6, 855-863.
- Rösler, F. (1982). *Hirnelektrische Korrelate kognitiver Prozesse*. Berlin u.a.: Springer-Verlag.
- Rösler, F. & Heil, M. (1998). Kognitive Psychophysiology. In: Frank Rösler (Hrsg.), *Ergebnisse und Anwendungen der Psychophysiology. Enzyklopädie der Psychologie, Serie I: Biologische Psychologie (Bd. 5)*. Göttingen: Hogrefe Verlag für Psychologie, 165-224.
- Rugg, M.D. (1999). Functional neuroimaging in cognitive neuroscience. In: Colin M. Brown & Peter Hagoort (Hrsg.), *The neurocognition of language*. New York: Oxford University Press, 15-36.
- Schröger, E. (1997). On the detection of auditory deviations: A pre-attentive activation model. *Psychophysiology*, 34, 245-257.

- Schröger, E., Kaernbach, C. & Schönwiesner, M. (2002). Auditive Wahrnehmung und multisensorische Verarbeitung. In: J. Müsseler & W. Prinz (Hrsg.), *Allgemeine Psychologie*. Heidelberg & Berlin: Spektrum Akademischer Verlag, 66-117.
- Schröger, E., Tervaniemi, M. & Huotilainen, M. (in press). Bottom-up and top-down flows of information within auditory memory: electrophysiological evidence. In: C. Kaernbach, E. Schröger & H.J. Müller (Hrsg.), *Psychophysics beyond sensation: Laws and invariants of human cognition*. Hillsdale: Erlbaum.
- Sharbrough, F. et al. (1991). American Electroencephalographic Society Guidelines for standard electrode position nomenclature. *Journal of Clinical Neurophysiology*, 8, 200-202.
- Shtyrov, Y. & Pulvermüller, F. (2002a). Neurophysiological evidence of memory traces for words in the human brain. *Neuroreport*, 13, 521-525.
- Shtyrov, Y. & Pulvermüller, F. (2002b). Memory traces for inflectional affixes as shown by mismatch negativity. *European Journal of Neuroscience*, 15, 1085-1091.
- Sparks, R.L., Ganschow, L., Artzer, M. & Patton, J. (1997). Foreign language proficiency of at-risk and not-at-risk learners over two years of foreign language instruction: A follow-up study. *Journal of Learning Disabilities*, 30, 92-98.
- Sutton, S., Braren, M., Zubin, J. & John, E.R. (1965). Evoked-potential correlates of stimulus uncertainty. *Science*, 150, 1187-1188.
- Tallal, P. (2000). Experimental studies of language learning impairments: From research to remediation. In: D.V.M. Bishop & L.B. Leonard (Hrsg.), *Speech and language impairments in children. Causes, characteristics, intervention, and outcome*. Hove: Psychology Press, 131-155.
- Tervaniemi, M., Rytönen, M., Schröger, E., Ilmoniemi, R.J. & Näätänen, R. (2001). Superior formation of cortical memory traces for melodic pattern in musicians. *Learning & Memory*, 8, 295-300.
- Tracy, R. & Gawlitzek-Maiwald, I. (2000). Bilingualismus in der frühen Kindheit. In: H. Grimm (Hrsg.), *Sprachentwicklung. Enzyklopädie der Psychologie, Serie III: Sprache (Bd. 3)*. Göttingen: Hogrefe, 495-535.
- Van Berkum, J., Hagoort, P. & Brown, C. (1999). Semantic integration in discourse: Evidence from the N400. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 11, 657-671.
- Verleger, R. (1986). *Die P3-Komponente im EEG. Literaturübersicht, Diskussion von Hypothesen, Untersuchung ihres Zusammenhangs mit langsamen Potentialen*. München: Profil Verlag.
- Weber-Fox, C. & 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.

- Zwitserslood, P. (1989). The locus of the effects of sentential-semantic context in spoken word-processing. *Cognition*, 32, 25-64.
- Zschocke, S. (1995). *Klinische Elektroenzephalographie*. Mit einem Beitrag von S. Kubicki über das Schlaf-EEG und einem Geleitwort von E. Niedermeyer. Berlin u.a.: Springer-Verlag.