

8 Neurowissenschaftliche Komponenten der Sprachverarbeitung

Heiner Drenhaus

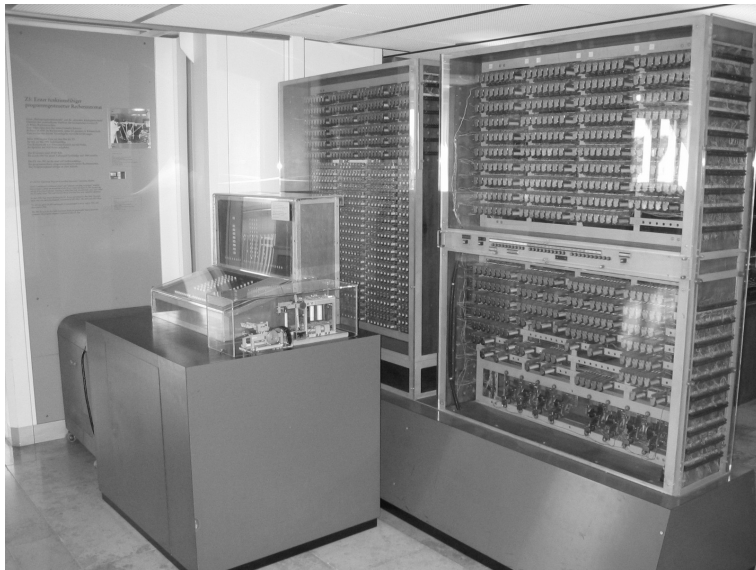


Abbildung 11: Konrad Zuses Relaisrechner Z3 im Deutschen Museum in München

Die Z3 war der erste ‚Computer‘ – ein Relaisrechner, den Konrad Zuse 1941 in Zusammenarbeit mit Helmut Schreyer entwickelt hatte. Relais sind Schalter, die durch elektrischen Strom betrieben werden. Die Z3 war fähig, mittels 600 Relais im Rechenwerk und 1400 Relais im Speicherwerk Informationen zu speichern und Berechnungen auszuführen. Wenn der Vergleich auch etwas weit hergeholt ist: unser Gehirn benutzt eine ähnliche Technik, um die Unmenge an Informationen, die auf uns eindringen, zu verarbeiten und darauf reagieren zu können. Das Spannende daran ist, dass man die bei diesem Prozess entstehenden Potenzialverschiebungen sichtbar machen kann und so die Reaktionen des Gehirns – den Verarbeitungsprozess – indirekt beobachten kann.

Die neurowissenschaftliche Methode der Elektroenzephalographie (EEG) bzw. der ereigniskorrelierten Hirnpotenziale (EKPs) (→ KAPITEL 2.2) stellt im Gegensatz zu vielen anderen Methoden zur Untersuchung der Sprachverarbeitung relativ hohe technische Anforderungen an den Experimentator und die Laborausstattung. Der Vorteil dieses experimentellen Verfahrens wiegt den höheren Aufwand aber wieder auf, da es nur mit dieser Methode möglich ist, den Verlauf eines Verarbeitungsprozesses in Echtzeit (Millisekunde für Millisekunde) zu beobachten. Wie funktioniert dieses Versuchsverfahren genau? Und wie lassen sich EKPs nach unterschiedlichen Kriterien klassifizieren? Bestimmte EKP Komponenten sind für die Sprachverarbeitung von zentraler Bedeutung. Was geschieht, wenn der Parser zum Beispiel mit semantischen oder syntaktischen Verarbeitungsproblemen konfrontiert wird und wir ihn bei der Sprachverarbeitung indirekt beobachten können, und wie können wir diese EKP Effekte einordnen? Auch der Einfluss der Kontextes auf die EKPs ist sehr aufschlussreich für die Sprachverarbeitungstheorie.

8.1 Elektrische Signale des Gehirns: vom EEG zum EKP

8.2 Die Klassifikation von EKP Komponenten

8.3 Sprachverarbeitung und EKP

8.4 EKP und Verarbeitung von Kontextinformation

8.1 Elektrische Signale des Gehirns: vom EEG zum EKP

Bei der Elektroenzephalographie (EEG-Messung) werden die elektrischen Signale des Gehirns auf der Schädeloberfläche mittels über den Kopf verteilter Elektroden abgeleitet. Diese Signale bzw. Signalschwankungen (Spannungsdifferenzen) spiegeln die Aktivität einer größeren Anzahl von Neuronen bzw. Neuronenverbände der Großhirnrinde wider. Der hohe technische Aufwand der EEG/EKP Methodik liegt darin begründet, dass die Spannungsdifferenzen sehr gering sind (zwischen 50 bis 150 Mikrovolt (μV); ein μV entspricht 10^{-6} Volt), sodass das Signal während der Aufnahme verstärkt werden muss. Die kontinuierliche EEG-Ableitung wird dann digitalisiert, d. h. die fortlaufende elektrische Hirnaktivität wird in Zahlenwerte übersetzt, wobei die Anzahl der Datenpunkte pro Sekunde in Hertz gemessen wird (dies entspricht der sogenannten Abtast- bzw. Sampling-Rate pro Sekunde).

Elektrische
Hirnaktivität

In die Auswertung eines EKP Experimentes bzw. des EEG-Signals gehen nicht alle an den Kopfelektroden gemessenen Aktivitäten ein, da nicht alle neuronalen Prozesse auf eine (experimentelle) Manipulation zurückzuführen sind. So können z. B. Augenbewegungen das EEG-Signal stark beeinflussen und stellen eine mögliche Quelle sogenannter Artefakte dar. Für die weitere Aufbereitung der Daten bedeutet dies, dass diese Artefakte aus den aufgezeichneten Daten ausgeschlossen werden müssen. In die weitere Auswertung gehen dann nur artefaktfreie Messabschnitte (Untersuchungstrials) ein.

Artefakte

Ereigniskorrelierte Hirnpotenziale sind im Gegensatz zur Spontanaktivität des Gehirns zeitlich an exakt festlegbare Ereignisse gekoppelt. Sie treten also in ähnlicher Ausprägung und in ähnlichen zeitlichen Abständen zu einem bestimmten Ereignis bzw. Reiz auf (z. B. x Millisekunden nach der Präsentation eines Wortes, Bildes oder Tons). Die Schwierigkeit, das EKP aus dem EEG herauszulösen, liegt darin, dass die Spontanaktivität des Gehirns (Rauschen) das ereignisgebundene Signal um ein Vielfaches überlagert. Um nun das systematische, ereignisinduzierte Signal (EKP) aus der unsystematischen Spontanaktivität herauszuschälen, wird die Mittelungstechnik verwendet, es werden also Mittelwerte errechnet. Die Idee hierbei ist, dass bei der Mittelung das Rauschen zufällig verteilt ist und über viele Trials hinweg minimiert werden kann. Im Gegensatz hierzu sollte das systematische Signal bei der Mittelung über mehrere relevante Zeitabschnitte erhalten bleiben bzw. sich aus dem Rauschen

Ereigniskorrelierte
Hirnpotenziale

Signal-Rausch-Verhältnis

herauskristallisieren. Die Abhängigkeit von systematischem und un-systematischem Signal wird als Signal-Rausch-Verhältnis bezeichnet. Für ein EKP Experiment bedeutet dies, dass die Anzahl eingehender (ereigniskorrelierter) Zeitbereiche relativ hoch sein muss, um ein gutes Signal-Rausch-Verhältnis zu erhalten. Im Allgemeinen werden für Sprachexperimente ca. 30 bis 40 Trials pro experimenteller Manipulation bei einer Stichprobe von 16 bis 20 Versuchspersonen benötigt.

Zeitlicher Bezug

Das aufgezeichnete EEG wird in Abschnitte aufgeteilt, die in einem festen zeitlichen Bezug zu einem experimentellen Ereignis stehen (→ **ABBILDUNG 12**). Aus dem EEG entsteht so das EKP, also das ereigniskorrelierte Hirnpotenzial. Die Mittelungen eines EKPs finden immer relativ zu einem festgelegten Zeitbereich vor der experimentellen Manipulation statt (Baseline). So soll sichergestellt werden, dass es keine systematischen Unterschiede zwischen experimentellen Bedingungen gibt, die sich dann auf den Zeitbereich der experimentellen Manipulation auswirken – die Daten werden in gewisser Weise normalisiert.

Mittelung

Durch die Digitalisierung des analogen Kurvenverlaufs in numerische Amplitudenwerte wird das Mittelungsverfahren ermöglicht. Die so erhaltenen Messwerte lassen sich weiterverarbeiten und grafisch darstellen. Hierfür werden die Daten zunächst für jede Versuchsperson pro Bedingung pro Elektrode gemittelt. In dem darauffolgenden Auswertungsschritt findet eine Mittelung über alle Versuchspersonen pro

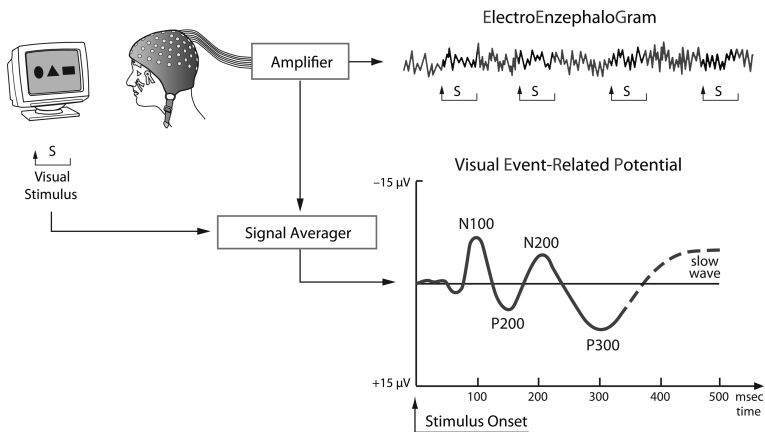


Abbildung 12: Schematische Darstellung der Messung und Mittelung im EEG und EKP (englisch: ERP)

Bedingung pro Elektrode statt, was den sogenannten Grand Average ergibt. So können z. B. Amplitudenmittelwerte pro relevantem Zeitabschnitt für eine statistische Auswertung genutzt werden. Des Weiteren lassen sich auch topografische Faktoren in die Analyse bzw. statistische Auswertung mit einbeziehen; d. h. man kann nur Einzelelektroden betrachten oder aber über ganze Verbände benachbarter Elektroden (Regions of Interest) mitteln. (Für eine ausführliche Darstellung der EEG- bzw. EKP Technik vgl. z. B. Coles/Rugg 1995).

Topografische
Faktoren

8.2 Die Klassifikation von EKP Komponenten

Ereigniskorrelierte Hirnpotenziale liefern unterschiedliche Informationen und lassen sich nach unterschiedlichen Kriterien zusammenfassen – den sogenannten Komponenten (Donchin u. a. 1978).

→ **ABBILDUNG 13** zeigt relevante Eigenschaften von EKPs, die für die Klassifikation wichtig sind. EKPs sind durch die Auslenkung des Kurvenverlaufes charakterisiert, der Verlauf kann negativ oder positiv sein. Dieses Klassifikationskriterium wird Polarität genannt. Wichtig hierbei ist, dass die EKP Kurve einer experimentellen Manipulation kein absolutes Maß darstellt, sondern nur relativ zu einer Vergleichsbedingung

Polarität

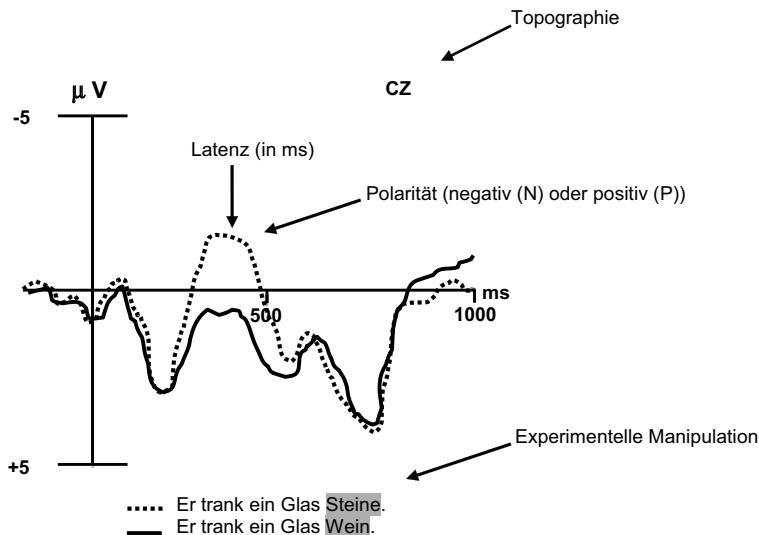


Abbildung 13: Klassifikation der EKPs

interpretiert werden kann. So zeigt → **ABBILDUNG 13** die EKPs auf das im Satzkontext erwartete Wort *Wein* (durchgezogene Linie) als Vergleichsbedingung zum auf das im Satzkontext unerwartete Wort *Steine* (gestrichelte Linie). Wie deutlich zu erkennen ist, unterscheiden sich beide Kurven: der Verlauf der gestrichelten Linie ist im Vergleich zur durchgezogenen Linie negativer (zu beachten ist, dass in der EKP Literatur aus historischen Gründen Negativität häufig nach oben abgebildet wird).

Des Weiteren kann man erkennen, zu welchen Zeitpunkt bzw. Zeitfenster die Kurven maximal voneinander abweichen – dies ist das Klassifikationskriterium der Latenz. Im Beispiel liegt die Latenz, also der Zeitpunkt, an dem sich die beiden Kurven am deutlichsten unterscheiden, bei ca. 400 ms nach der Präsentation des Wortes *Wein* bzw. *Steine*.

Ein weiteres Klassifikationskriterium von EKP Komponenten ist die Topografie, die vermerkt, an welchem Ort (an welcher Elektrode) auf der Schädeloberfläche ein Effekt auftritt. → **ABBILDUNG 13** zeigt die EKPs auf der CZ-Elektrode, die auf der Mitte des Schädels angebracht wird (→ **ABBILDUNG 14**). Außerdem geben Unterschiede in der Ausprägung der Amplitude Informationen über quantitative Unterschiede zwischen kognitiven Prozessen.

Aufgrund von Polarität, Latenz, Topografie und der Art der experimentellen Manipulation lassen sich unterschiedliche Komponenten klassifizieren; die Topografie eines Effektes ist unter der methodischen Annahme wichtig, dass einer unterschiedlichen räumlichen Ausprägung des Effektes eine unterschiedliche neuronale Aktivität zugrunde liegt. Mit anderen Worten: Divergierende neuronale Muster (Topografie,

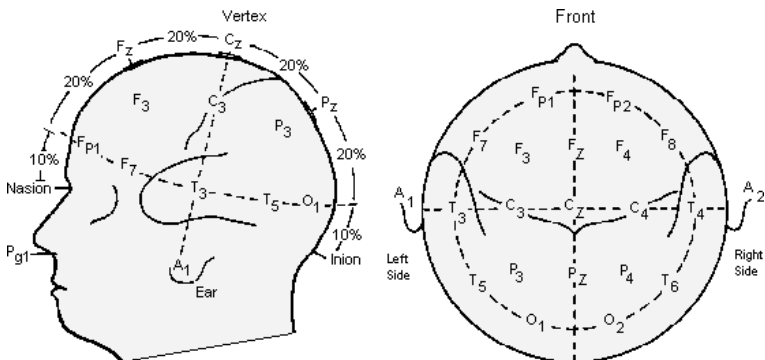


Abbildung 14: Elektrodenpositionen nach dem 10/20-System

Polarität, Latenz und Amplitude) lassen Rückschlüsse auf unterschiedliche kognitive Prozesse zu (für eine kritische Betrachtung dieser Annahme vgl. Coles/Rugg 1995).

8.3 Sprachverarbeitung und EKP

Im Folgenden werden vier EKP Komponenten, die für die Sprachverarbeitung eine wichtige Rolle spielen, mit Blick auf einige relevante Punkte der semantischen und syntaktischen Verarbeitung kurz dargestellt und in ein Modell der Sprachverarbeitung eingeordnet (Friederici 1995, 1999, 2002).

Das Wort *Steine* im Beispielsatz von → **ABBILDUNG 13** stellt eine semantische Anomalie dar und evoziert im Vergleich zu dem semantisch passenden bzw. erwarteten Wort *Wein* eine Negativierung um 400 ms (gemessen ab dem Beginn des sogenannten kritischen Wortes, hier *Steine* bzw. *Wein*). Diese Komponente, die als N400 in die Literatur eingegangen ist, wurde erstmals 1980 von Marta Kutas und Steven Hillyard berichtet (Kutas/Hillyard 1980a, 1980b). Sie gilt als eine der stabilsten sprachrelevanten Komponenten, wurde aber nicht nur bei semantischen Anomalien bzw. Verletzungen gefunden, sondern zeigt auch den Grad der semantischen Erwartung eines Wortes an. So fanden dieselben Forscher heraus, dass die Ausprägung der N400 mit der Stärke der durch den vorherigen Kontext erzeugten Erwartung eines Wortes (Cloze Probability) korrelierte, und zwar unabhängig davon, ob eine semantische Anomalie vorlag oder nicht (Kutas/Hillyard 1984). Die folgenden Sätze unterscheiden sich in der Cloze Probability:

Semantische
Verarbeitung

N400

- 1a. *Der Ritter in der schimmernden Rüstung zog sein **Schwert**.*
- 1b. *Der Ritter in der schimmernden Rüstung zog sein **Taschentuch**.*
- 1c. *Der Ritter in der schimmernden Rüstung zog sein **Handy**.*

Die Amplitude der N400 war bei den Probanden größer, je unerwarteter das Wort war, obwohl alle Varianten semantisch möglich sind. So zeigte sich auf *Taschentuch* in 1b eine größere N400 im Vergleich zu *Schwert* in 1a, und eine noch größere N400 Amplitude auf *Handy* in 1c im Vergleich zu 1a und 1b.

Darüber hinaus wurden N400 Effekte beobachtet, die nicht als ein Effekt einer Erwartung interpretierbar sind (Fischler u. a. 1985):

- 2a. *Ein Rotkehlchen ist ein Baum.*
- 2b. *Ein Rotkehlchen ist kein Baum.*

3a. *Ein Rotkehlchen ist ein Vogel.*

3b. *Ein Rotkehlchen ist kein Vogel.*

Die Forscher konnten zeigen, dass es auf dem letzten Wort in Sätzen wie 2a/b einen stärkeren N400 Effekt gab als in Sätzen wie 3a/b. Ebenso konnte gezeigt werden, dass dieses Ergebnis unabhängig vom Wahrheitswert der Aussage war (3a vs. 3b). Wenn hier nur die Cloze Probability einschlägig wäre, wäre zu erwarten, dass nur 3b, nicht aber 3a eine N400 evoziert, da ein Satzfragment wie *Ein Rotkehlchen ist ein ...* das Wort *Vogel* erwarten lässt, nicht aber das Satzfragment *Ein Rotkehlchen ist kein* Dieses Ergebnis deutet darauf hin, dass der berichtete N400 Effekt eher auf die unterschiedlich starke semantische Assoziation zwischen den beiden Nomen des Satzes zurückzuführen ist (*Rotkehlchen* und *Vogel* vs. *Rotkehlchen* und *Baum*) und die N400 somit Verarbeitungsschwierigkeiten bei der Aktivierung eines lexikalischen Eintrages widerspiegelt. Diese Annahme nennt man lexikalische Zugriffshypothese. Ein Kontext aktiviert demnach semantische Merkmale vor und erleichtert die Verarbeitung von Kandidaten, die nach Cloze Probability oder wahrheitsfunktional mit dem Zielwort übereinstimmen. Experimente mit einer entsprechenden semantischen Voraktivierung zeigen eine Reduktion der N400 Amplitude (Kutas/Federmeier 2000).

Lexikalische
Zugriffshypothese

Zwei Komponenten bzw. Komponentengruppen werden besonders mit der syntaktischen Verarbeitung in Verbindung gebracht: die sogenannte (E)LAN (Early Left Anterior Negativity), eine (frühe) links-frontale Negativierung, und die späte Positivierung, genannt P600 (zur Lokalisation im Gehirn → KAPITEL 13.1).

Syntaktische
Verarbeitung

Die ELAN ist eine im Zeitverlauf des EKP's frühe Komponente mit einer maximalen Ausprägung um 150 bis 300 ms. Sie wird als Zeichen von Wortkategorieverletzung bzw. Phrasenstrukturverletzung interpretiert (Friederici 2002) und als Korrelat initialer Strukturbildungsprozesse angesehen. Wenn der syntaktische Kontext ein Wort einer bestimmten Kategorie erfordert, aber ein Wort einer anderen Kategorie präsentiert wird, erscheint die ELAN gefolgt von einer P600.

Early Left Anterior
Negativity ELAN

4a. *Die Gans wurde im Ofen gebraten.*

4b. **Die Gans wurde im gebraten.*

Der Parser erwartet nach dem Verarbeiten der Präposition *im* in 4a und 4b ein Nomen oder ein Adjektiv. Er wird also eine Präpositionalphrase aufbauen, in die er im nächsten Schritt ein Adjektiv oder ein Nomen integrieren kann. Wird aber stattdessen eine andere Wortkategorie präsentiert – wie in 4b das Partizip *gebraten* –, liegt eine Phrasenstrukturverletzung vor, da das Partizip nicht integriert

werden kann. Die nachfolgende Positivierung P600 repräsentiert dann einen syntaktischen Reanalyseprozess (→ KAPITEL 7.2) bzw. den Versuch des Parsers die Struktur zu reparieren. Die ELAN Komponente ist nicht unumstritten, da sie sich in manchen Studien nicht replizieren ließ. Ebenso ist der Vergleich auf dem Partizip *gebraten* in 4a vs. 4b mit Vorsicht zu betrachten, da unterschiedliche Wörter vor dem kritischen Wort stehen (unterschiedliche Baseline), was einen Einfluss auf die EKPs haben kann (für eine kritische Auseinandersetzung vgl. Osterhout u. a. 2004).

Auch die links-anteriore Negativierung (LAN) ist eine weitere wichtige Komponente (→ ABBILDUNG 14). Sie wird mit der morphosyntaktischen Verarbeitung in Verbindung gebracht. Diese Komponente hat eine Latenz zwischen 300 ms und 500 ms und kann beobachtet werden, wenn eine morphosyntaktische Verletzung wie Kongruenz- oder Rektionsverletzung vorliegt. So fanden Forscher auf dem Verb in 5b im Vergleich zu 5a eine Negativierung, (morphosyntaktische Verletzung) gefolgt von einer späten Positivierung (Reanalyse).

5a. *Das Auto wurde gefahren.*

5b. *Das Auto wurde fahre.*

Die LAN lässt sich allerdings auch anders interpretieren. Ein Test mit einer Struktur wie in 6 ergab eine linksseitige, frontale Negativierung, gefolgt von einer späten Positivierung (Coulson u. a. 1998).

6. **Every Monday he mow the lawn.*

Die Forscher argumentierten, dass die LAN, die durch die falsche Flexionsform des Verbs *mow* ausgelöst wird, ein Zeichen erhöhter Arbeitsgedächtnisbelastung sei. Das Problem hierbei ist natürlich, dass die Arbeitsgedächtnisbelastung mit einer syntaktischen Verletzung zusammenfällt, die deshalb als Auslöser für die LAN nicht ausgeschlossen werden kann. Generell deuten verschiedene Ergebnisse darauf hin, dass die LAN sowohl bei morphosyntaktischen Verletzungen als auch bei erhöhter Belastung des Informationsspeichers (des Arbeitsgedächtnisses) zu finden ist.

Die späte Positivierung P600 schließlich ist eine Komponente, die topografisch zentro-parietal mit maximaler Auslenkung der Amplitude zwischen ca. 600 und 1000 ms nach dem kritischen Reiz auftritt. Sie steht für Reanalyse- bzw. Reparaturprozesse. Lee Osterhout und Phillip J. Holcomb fanden P600 Effekte, wenn Probanden syntaktisch korrekte, aber lokal ambige Sätze (Holzwegsätze → KAPITEL 7.1) lasen oder hörten (7a vs. 7b) – wenn also ein Wort nicht in die präferierte Satzstruktur integriert werden konnte und somit eine Reanalyse notwendig war (Osterhout/Holcomb 1992, 1993).

Links-anteriore
Negativierung LAN

Späte Positivierung
P600 ...

... in lokal ambigen
Sätzen

7a. *The broker persuaded the investor to sell the stock.*

7b. *The broker persuaded to sell the stock was sent to jail.*

... in nicht-
präferierten
Satzstrukturen

Untersuchungen mit dem Auxiliar (*hat* vs. *haben*) zeigten eine Positivierung in syntaktisch korrekten, aber nicht-präferierten Satzstrukturen (8a vs. 8b) (Mecklinger u. a. 1995).

Präferierte Lesart: Subjektrelativsatz:

8a. *Das sind die Studentinnen, die die Professorin gesehen hat.*

Nicht-präferierte Lesart: Objektrelativsatz:

8b. *Das sind die Studentinnen, die die Professorin gesehen haben.*

Interessant an diesem Ergebnis ist, dass die gefundene Positivierung im Gegensatz zur Studie von Osterhout und Holcomb in einem früheren Zeitfenster (um 345 ms) lag. Dies könnte bedeuten dass die P600 in ihrer Latenz aber auch in ihrer Amplitude den Schwierigkeitsgrad der Reanalyse widerspiegelt.

Des Weiteren konnten viele Studien zeigen, dass eine Positivierung nicht nur für nicht-präferierte Lesarten, sondern auch in syntaktisch inkorrekten Strukturen evoziert werden kann. Die rein syntaktische Interpretation der P600 wird allerdings durch Studien infrage gestellt, die eine Positivierung nach semantisch/pragmatischen Verletzungen berichten. Sowohl in semantisch unplausiblen Sätzen (wie in 9) als auch in syntaktisch unakzeptablen Strukturen (etwa Numerusverletzungen wie in 10) zeigten sich ähnliche Positivierungen.

... bei semantisch/
pragmatischen
Verletzungen

9. *Die Katze, die vor den Mäusen flüchtete, rannte durch den Raum.*

10. **Der Betrüger, der auf die Polizisten schießen, saß hinter dem Auto.*

Zusammenfassend kann eine P600 Komponente mit Reanalyseprozessen bei ambigen Strukturen, mit Reparaturprozessen bei syntaktisch inkorrekten Sätzen, als auch mit semantisch/pragmatischen Verletzungen assoziiert werden.

Unterschiedliche Effekte im EKP können also mit unterschiedlichen Verletzungen in sprachlichem Material bzw. Präferenzen in der Sprachverarbeitung in Zusammenhang gebracht werden. Es ist daher möglich, die Verarbeitungsschritte, die der Parser bei der Sprachverarbeitung durchläuft, direkt sichtbar zu machen. Um die vielfältigen Ergebnisse aus sprachrelatierten EKP Studien einzuordnen, wurde von Angela D. Friederici ein Drei-Phasenmodell der Sprachverarbeitung aufgestellt (Friederici 1995, 1999, 2002). Es handelt sich um ein serielles Modell, welches unter Zuhilfenahme neuronaler Ergebnisse Sprachverarbeitungsprozesse beschreibt (→ **ABBILDUNG 15**).

Drei-Phasenmodell
der Sprach-
verarbeitung

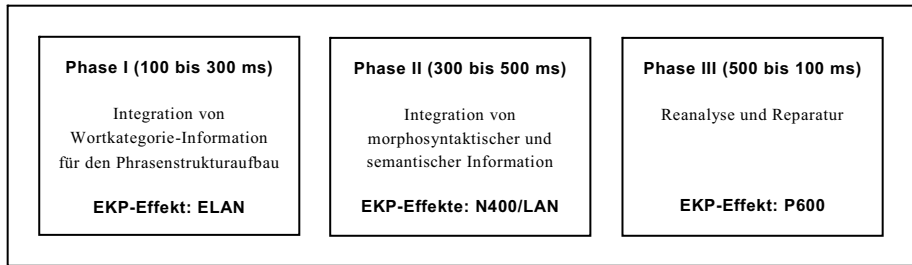


Abbildung 15: Schematische Darstellung des Modells der Sprachverarbeitung (nach Friederici 1995, 1999, 2002)

- Diesem Modell zufolge umfasst die erste Verarbeitungsphase strukturbildende Prozesse (bis ca. 300 ms). Eine falsche Wortkategorie oder eine Phrasenstrukturverletzung schlägt sich in einer frühen, links-anterioren Negativierung (ELAN) nieder.
- Die zweite Phase (300 bis 500 ms) beinhaltet zwei unterschiedliche Prozesse: Zum Einen kann semantische Information im Mittelpunkt des Verarbeitungsprozesses stehen, zum anderen kann syntaktische Information integriert werden. Der erste Prozess, der als semantische Integration interpretiert wird, schlägt sich bei Verarbeitungsproblemen in einer N400 nieder, während der andere Prozess bei morphosyntaktischen Verletzungen eine links-anteriore Negativierung evoziert.
- In der dritten Phase schließlich findet sich die P600. Diese Komponente steht nach Friederici für (syntaktische) Reanalyse und Reparatur einer anfänglich aufgebauten Struktur, die im weiteren Verlauf der Verarbeitung als inkorrekt oder nicht möglich identifiziert wurde.

8.4 EKP und Verarbeitung von Kontextinformation

Da der Satzkontext bzw. die semantische Beziehung von Wörtern im Satzkontext die N400 Komponente beeinflussen kann, stellt sich die Frage, ob sich ähnliche Effekte auch beobachten lassen, wenn Probanden längere Kontexte präsentiert werden und so der Verarbeitungsapparat pragmatische Information nutzen kann, um eine Struktur zu verarbeiten.

Eine klassische Studie wurde 1984 von Marie St. George, Suzanne Mannes und James Hoffman durchgeführt (St. George u. a. 1994). Die Forscher präsentierten Geschichten, die so aufgebaut waren, dass sie erst dann Sinn ergaben, wenn sie mit einer Überschrift versehen waren – Beispiel 11 (gekürzt) etwa mit der Überschrift *to do one's laundry* (Wäsche waschen).

11. *The procedure is actually quite simple. First you arrange things into different groups depending on their makeup. Of course, one pile may be sufficient depending on how much there is to do. If you have to go somewhere else due to lack of facilities that is the next step [...].*

Integration auf
Diskursebene

Beim Vergleich der EKPs, die während des Lesens der Geschichten mit oder ohne Überschrift abgeleitet worden waren, zeigte sich auf jedem Wort ein deutlicher Unterschied in der N400 Amplitude zwischen den beiden Bedingungen. Die Geschichten ohne Überschrift führten zu negativeren EKP Komponenten als die Geschichten mit Überschrift. Dieses Ergebnis zeigt, dass die N400 nicht nur ein Marker für semantische Integration auf der Satzebene ist, sondern auch Integration auf globaler Diskursebene widerspiegelt.

Kontextuelle
Überschreibung
semantischer
Verletzungen

Einen Schritt weiter gingen Mante Nieuwland und Jos van Berkum. In ihrer Studie wollten sie überprüfen, ob Kontext eine semantische Verletzung überschreiben kann. Sie präsentierten Versuchspersonen Kontexte wie in 12 (hier aus dem Niederländischen näherungsweise ins Deutsche übertragen nach Nieuwland/Berkum 2006).

12. *Eine Frau sah eine tanzende Erdnuss, die ein breites Lächeln im Gesicht trug. Die Erdnuss sang über einen Mann, den sie gerade getroffen hatte. Und nach dem Lied zu urteilen war sie total verrückt nach diesem Mann. Die Frau dachte, dass es wirklich süß sei, die Erdnuss so singen und tanzen zu sehen. Die Erdnuss war **gesalzen/verliebt** und so wie es aussah beruhte es auf Gegenseitigkeit. [...].*

Wir wissen, dass Erdnüsse gesalzen sind und sich nicht verlieben können. In dem gegebenen Kontext scheint es jedoch möglich, dass die Erdnuss sich verlieben kann. Das Verliebt-Sein der Erdnuss stellt insofern eine semantische Anomalie dar, die innerhalb des Kontexts allerdings akzeptierbar ist. Auf der anderen Seite ist das Gesalzen-Sein semantisch adäquat, innerhalb des Kontexts aber unpassend. Nieuwland und van Berkum fanden auf dem kritischen Wort *gesalzen* im Vergleich zu *verliebt* eine größere N400 Amplitude. Dies legt den Schluss nahe, dass Kontextinformation genutzt wird und seman-

tische Anomalien sogar überschreiben kann. Die beiden Studien, die hier exemplarisch für zahlreiche Studien zu Kontexteffekten stehen, zeigen, dass Sprachverarbeitungsprozesse nicht nur in isolierten Sätzen untersucht werden sollten, da wichtige Informationen über die menschliche Sprachverarbeitung so nicht zugänglich sind.

Fragen und Anregungen

- In Sprachexperimenten, die die EKP Methode nutzen, können unterschiedliche Komponenten gefunden werden. Geben Sie einen kurzen Überblick.
- Erörtern Sie an der folgenden Beispielen, welche Komponenten in den ungrammatischen (*) bzw. fragwürdigen (?) Sätzen auftreten könnten. Versuchen Sie diese Komponenten in ein Modell einzuordnen.
 - a. *Vorm Bahnhof wurde oft gebettelt.*
 - b. **Vorm Bahnhof wurde beim gebettelt.*
 - c. **Der Bahnhof wurde oft gebettelt.*
 - d. *Einige Monate haben Feiertage.*
 - e. *?Einige Monate haben Wochen.*
 - f. **Einige Monate haben Wünsche.*
- Recherchieren und diskutieren Sie: Warum ist das sogenannte Inverse Problem für die EKP Forschung wichtig – welchem Irrglauben darf man nicht verfallen?

Lektüreempfehlungen

- Michael G. H. Coles / Michael D. Rugg: **Event-Related Brain Potentials: An Introduction**, in: ders./ders. (Hg.), *Electrophysiology of Mind: Event-Related Brain Potentials and Cognition*, New York 1995, S. 1–26. *Gibt eine sehr gute Einführung in die EKP Methode.*
- Lee Osterhout / Judith MacLaughlin / Albert Kim / Ralf Greenwald / Kayo Inoue: **Sentences in the Brain: Event-Related Potentials as Real-Time Reflections of Sentence Comprehension and Language Learning**, in: Manuel Carreiras / Charles Clifton (Hg.), *The Online Study of Sentence Comprehension: Eyetracking, ERP, and Beyond*,

Brighton 2004, S. 271–308. *Geht über eine Einführung hinaus und beleuchtet EKP Ergebnisse kritisch.*

- **Jos J. A. van Berkum: Sentence Comprehension in a Wider Discourse: Can We Use ERPs to Keep Track of Things?**, in: Manuel Carreiras/Charles Clifton (Hg.), *The Online Study of Sentence Comprehension: Eyetracking, ERP, and Beyond*, Brighton 2004, S. 229–270. *Stellt EKP Ergebnisse vor, die nicht nur auf die Satzebene beschränkt sind.*