

# Die Bedeutung von Wörtern und elektrische Hirnaktivität des Menschen

Wolfgang Skrandies

In diesem Beitrag werden unsere psychologischen und elektrophysiologischen Studien über die Bedeutung von Sprache vorgestellt. Hierbei beschäftigten wir uns mit zwei verschiedenen Bereichen, die experimentell an Gruppen von gesunden Erwachsenen untersucht wurden. Auf der Verhaltensebene kann die Analyse von Beurteilungsdaten in Form von Fragebögen zu einem Klassifikationsschema führen, mit dem Worte statistisch und quantitativ eindeutig beschrieben werden können. Parallel hierzu testeten wir, inwieweit sich solche Bedeutungsdimensionen in Verarbeitungsschritten des menschlichen Gehirns widerspiegeln. Dies läßt sich mit einer sehr hohen Zeitauflösung (im Bereich von Millisekunden) nicht-invasiv mit Hilfe der Registrierung der elektrischen Hirnaktivität bei gesunden Probanden messen. Teile der folgenden Studien sind bereits publiziert (vgl. Skrandies 2004), daher werden viele der technischen Details in dieser Arbeit nicht weiter ausgeführt (Skrandies & Weber 1996; Skrandies 1998)

## 1. Einleitung

Neben der inhaltlichen, lexikalischen Bedeutung besitzen Wörter immer auch eine konnotative, affektive Bedeutung. Mit der Methode des Polaritätsprofils (Hofstätter 1955) oder des Semantischen Differentials (Osgood, Suci & Tannenbaum 1957) läßt sich die affektive Bedeutung von Wörtern quantitativ in unab-

hängigen Dimensionen beschreiben. Das Vorgehen ist bei beiden Methoden ähnlich. Die Versuchspersonen werden gebeten, auf Skalen gegensätzlicher Adjektivpaare (klein – groß, ernst – heiter usw.) die Bedeutung eines vorgegebenen Wortes anzugeben. Die Ergebnisse aus solchen Fragebögen werden dann statistisch ausgewertet. Beim *Semantischen Differential* werden mit Hilfe von Faktorenanalysen möglichst wenige unabhängige Dimensionen bestimmt, die möglichst viel Varianz der Daten erklären. Dieses Verfahren findet einen weiten Anwendungsbereich etwa bei der Klassifikation von Emotionen (z. B. Bradley & Lang 1994) oder der Beurteilung der ästhetischen Eigenschaften von Bildern (z. B. Takahashi 1995). Auf ähnliche Weise hatte bereits Wundt (1896) die »qualitative Mannigfaltigkeit der einfachen Gefühle« durch »drei Hauptrichtungen« dargestellt.

In Studien über den Bedeutungsgehalt von Sprachmaterial illustrierten Osgood, Suci und Tannenbaum (1957), daß sich die meisten Substantive auf den Skalen »gut – schlecht« (*evaluation*, E), »stark – schwach« (*potency*, P) und »aktiv – passiv« (*activity*, A) eindeutig lokalisieren lassen. Die empirisch gefundenen drei Dimensionen erklären mehr als die Hälfte der Varianz. Sie sind unabhängig von der jeweiligen Sprache der getesteten Personen, und diese Bedeutungsdimensionen wurden in verschiedenen Kultur-

räumen als grundlegende Charakteristika von Wörtern gefunden (Osgood, May & Miron 1975).

Wir untersuchten, ob die Bedeutungsdimensionen stabil sind und sich reproduzieren lassen und ob es hirnpfysiologische Korrelate zu den jeweiligen Dimensionen gibt. Außerdem verglichen wir die Daten von deutschen Probanden mit denen, die bei chinesischen Versuchspersonen erhoben wurden.

Der Zusammenhang zwischen diesen psychologischen Daten und hirnpfysiologischen Mechanismen wurde mit der Registrierung des EEG bestimmt. Auf dem Gebiet der experimentellen Neurophysiologie gibt es bislang nur eine Arbeitsgruppe, die sich mit dem Semantischen Differential und evozierten EEG-Potentialen beschäftigte (Chapman et al. 1980). In der genannten Untersuchung wurde jedoch nur von sehr wenigen Elektroden registriert, so daß eine Aussage über die Aktivität verschiedener Hirnareale nicht möglich ist. Die Registrierung des EEG in vielen Kanälen ermöglicht eine topographische Datenanalyse, die den Interpretationsraum deutlich erweitert.

Im folgenden werden die Ergebnisse der Fragebogenuntersuchungen sowie topographische EEG-Messungen von wortinduzierter Hirnaktivität dargestellt und diskutiert, zunächst soll jedoch kurz die elektrophysiologische Methodik vorgestellt werden.

## 2. Die topographische Analyse: Landkarten hirnelektrischer Aktivität

Bei der wiederholten Darbietung von Reizen (einfachen Sinnesreizen wie Lichtblitzen oder Tönen oder auch komplexen Reizen wie Buchstaben oder Worte) lassen sich durch Mittelungstechniken im EEG sogenannte evozierte Potentiale (EP) bestimmen (bei psychologischen Studien spricht man auch von er-

eigniskorrelierten Potentialen, EKP). Die Antwort des Gehirns auf ankommende Information stellt ein sich schnell änderndes elektrisches Feld dar, das auf der Kopfhaut registriert werden kann. Die Aktivitätsmuster sind über verschiedenen Hirnarealen unterschiedlich ausgeprägt, so daß man nur dann ein vollständiges Bild gewinnen kann, wenn gleichzeitig an vielen Ableitpunkten registriert wird (Skrandies 1995).

In Abbildung 1A ist eine Sequenz von Potentialkarten dargestellt die durch die Darbietung eines Sehreizes ausgelöst wurden. Die elektrische Hirnaktivität ist zwischen 60 und 290 ms nach Reizdarbietung gezeigt. Diese Karten sind so zu lesen wie gewöhnliche Landkarten: es gibt Hügel und Täler und mehr oder weniger steile Gradienten der Aktivität. Erkennbar sind Zeitbereiche, in denen nur geringe Aktivität vorherrscht und die durch eine flache Potentialverteilung charakterisiert sind (z. B. zwischen 60 und 70 ms oder nach 260 ms), während andere Zeitbereiche viel Aktivität mit hohen Extremwerten und steilen Gradienten aufweisen. Die Stärke des hirnelektrischen Feldes läßt sich quantifizieren, indem man zu jedem Zeitpunkt die räumliche Standardabweichung innerhalb der Karte berechnet. Dieses Maß wurde als *global field power* (globale Feldstärke, Lehmann und Skrandies 1980) eingeführt und hat sich als Methode zur Analyse der Topographie hirnelektrischer Aktivität bewährt (Skrandies 1995).

Abbildung 1B zeigt den Verlauf der globalen Feldstärke als Funktion der Zeit. Diese Kurve ist zu bestimmten Zeiten deutlich ausgeprägt und hat Maxima bei 84, 142 und 210 ms. Die starke Aktivität zeigt, daß eine große Anzahl von Neuronen synchron tätig ist, und solche Zeiten werden auch als Komponenten der evozierten Potentiale bezeichnet (Skrandies 1995). Die topographische Verteilung die-

ser Komponenten ist in Abbildung 1B ebenfalls illustriert. So sehen wir deutlich unterschiedliche Aktivitätsmuster der verschiedenen Komponenten: beispielsweise findet sich nach 84 ms eine posteriore Positivität über der linken Hemisphäre, während bei 142 ms Latenz die Positivität über der rechten Hemisphäre zu finden ist (siehe Karten in Abbildung 1B). Bei der Interpretation solcher Daten muß immer berücksichtigt werden, daß die aktivierten neuronalen Elemente nicht unter der Elektrode liegen, an der die maximale Aktivität gemessen wird. Aufgrund von Volumenleitung kann die Quelle der Aktivität weiter entfernt liegen. Dies wird anhand von intracraniell gemessenen tierexperimentellen Daten von Skrandies, Wässle und Peichl (1978) beschrieben, die Problematik der Quellenlokalisierung des EEG wird von Skrandies (2002) illustriert und diskutiert.

Für empirisches Arbeiten ist wichtig, aus den evozierten Potentialen Parameter zu extrahieren, die dann statistisch bewertet werden können, um unterschiedliche Gruppen von Probanden und Patienten sowie unterschiedliche experimentelle Bedingungen vergleichen zu können. Die Latenz der Komponenten läßt sich als Verarbeitungsgeschwindigkeit interpretieren, die Stärke der Antwort (gemessen als globale Feldstärke) gibt an, wie viele Neurone an dem entsprechenden Verarbeitungsschritt beteiligt sind, und die Topographie läßt Schlüsse zu, ob ähnliche oder unterschiedliche Hirnstrukturen aktiviert werden.

### 3. Die Frage nach Gehirnprozessen bei der Sprachverarbeitung

Die Untersuchung von Sprachprozessen mit Hilfe von EEG-Messungen ist ein weites Gebiet und soll hier nicht ausführlich dargestellt werden. Entsprechende Übersichten finden sich bei Kutas, Feder-

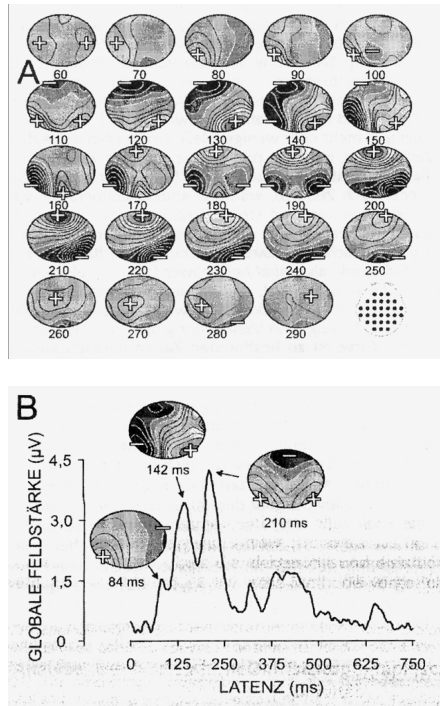


Abb. 1 (A): Serie von gemittelten evozierten Potentialkarten zwischen 60 und 290 ms, die durch die Darbietung eines einfachen Sehreizes ausgelöst wurden. Der Abstand zwischen den Linien beträgt 1  $\mu$ V, dunkelgraue Bereiche mit weißen Linien sind negativ, hellgraue Bereiche mit schwarzen Linien sind positiv (siehe auch + und - Symbole). Die Anordnung der 30 Elektroden ist in dem Kopfschema wiedergegeben. (B): Verlauf der globalen Feldstärke als Funktion der Zeit und Potentialverteilungen bei maximaler Aktivität (mit Latenzen von 84, 142 und 210 ms).

meier und Sereno (1999) oder bei Hinojosa, Martin-Loeches und Rubia (2001). Die folgenden Befunde bilden die Grundlage für die im folgenden dargestellten EEG-Daten. In der Literatur werden oft relativ späte Komponenten (>300 ms) mit

der Verarbeitung von Sprache in Zusammenhang gebracht. Ein bekanntes Beispiel ist die sogenannte N400-Komponente, die bei nicht kongruenten Sätzen nach etwa 400 ms auftritt (Kutas und Hillyard 1980) und die Schwierigkeit anzeigt, mit der ein Wort in den Kontext eines Satzes eingeordnet werden kann. In einer ähnlichen Untersuchung über inkongruente Satzendigungen beschrieben Brandeis et al. (1995), daß dieser elektro-physiologische N400-Effekt zwischen 244 und 444 ms auftritt und diese Komponente offenbar aus »Unterkomponenten« besteht (pre-N400, N400), die sich in Latenz und Topographie unterscheiden.

Bei den genannten Befunden zum Satzverständnis treten die meisten der berichteten Effekte spät auf. Andererseits wissen wir, daß das Lesen von einzeln dargebotenen Wörtern ein sehr schneller Prozess ist (Rubin & Turano 1992). Aus dieser Diskrepanz ergab sich die Frage, wann signifikante, sprachbezogene evozierte Hirnaktivität beim Lesen von Worten unterschiedlicher Bedeutung auftritt. In einer elektro-physiologischen Studie wurde bei einer Gruppe von 22 gesunden Probanden untersucht, ob die konnotative Bedeutung von Wörtern sich auf die hirnelektrische Aktivität ähnlich spät auswirkt und ob das Lesen einzelner Worte andere Hirnareale aktiviert als das Verarbeiten ganzer Sätze. Parallel hierzu wurde eine Gruppe von 25 chinesischen Probanden in einem identischen, der chinesischen Sprache angepaßten Experiment untersucht, die Analyse der elektro-physiologischen Daten dieser Gruppe befindet sich jedoch erst in einem Anfangsstadium und wird hier nicht berücksichtigt.

#### 4. Das Semantische Differential ist kultur-unabhängig

Um sinnvolles und nicht veraltetes Reizmaterial einsetzen zu können, wurde zunächst eine Liste von Substantiven be-

stimmt, die in den Dimensionen des Semantischen Differentials besonders eindeutig lokalisiert werden können. Die einzelnen Worte sollten nur auf einer Dimension im semantischen Raum ausgeprägt sein. Sie sollten sich also hinsichtlich zweier Dimensionen möglichst neutral verhalten und auf der dritten Dimension einen hohen positiven oder negativen Wert bei der semantischen Klassifizierung erreichen. Dabei sollten die drei Dimensionen [»gut – schlecht« (*evaluation*, E), »stark – schwach« (*potency*, P) und »aktiv – passiv« (*activity*, A)] mit beiden Polaritäten vertreten sein, so daß wir insgesamt die sechs Wortklassen E+, E-, P+, P-, A+ und A- erhalten. Es gibt zwar auch für den deutschen Sprachraum entsprechende Wortlisten, die jedoch relativ alt sind. Es ist nicht auszuschließen, daß sich Bedeutung und Auftretenshäufigkeit verschiedener Wörter im Laufe der Zeit geändert haben. Um zu testen, inwieweit die Dimensionen sprach- und kulturunabhängig sind, wurden zwei Gruppen deutscher Probanden und eine Gruppe chinesischer Probanden untersucht und miteinander verglichen. Zunächst wurden 163 Substantive von 30 Versuchspersonen klassifiziert, und die entsprechenden Bedeutungsskalen wurden mit Hilfe einer Faktorenanalyse extrahiert. In einem Fragebogen mußten die Probanden jedes Wort auf zwölf gegensätzlichen Adjektivskalen beurteilen. Die Fragebögen wurden dann statistisch ausgewertet (Osgood, May & Miron 1975), und Abbildung 2 illustriert die Ladungen der drei größten Faktoren, die extrahiert wurden. Die drei Faktoren erklären etwa 72 % der Varianz der Daten und sie können den Bedeutungsdimensionen Evaluation, Aktivität und Stärke zugeordnet werden. Somit bestätigen diese Ergebnisse die früheren Befunde.

An einem anschließenden elektro-physiologischen Experiment nahmen 22 andere Versuchspersonen teil, die diesel-

ben Worte ebenfalls auf einem Fragebogen beurteilen mußten. Die Übereinstimmung der Ergebnisse der Faktorenanalyse war außergewöhnlich hoch, mit Korrelationen von  $>0,90$ . Dies illustriert die Stabilität der Bedeutungsdimensionen.

Ein vergleichbares Experiment wurde mit 32 chinesischen Probanden durchgeführt, die jeweils 210 Wörter beurteilten. Auch für diese Probanden wurden dieselben drei semantischen Dimensionen gefunden (Abbildung 2B). Die Übereinstimmung zwischen den deutschen und den chinesischen Ergebnissen ist sehr gut, was auch durch hohe Korrelationen zwischen den Faktorenladungen belegt wird ( $r$  zwischen 0,83 und 0,92).

Für die weiteren elektrophysiologischen Experimente wurden nur semantisch klar definierte Worte verwendet, die sich weder in der Wortlänge noch in der Auftretenshäufigkeit in der deutschen Sprache unterschieden.

## 5. Evozierte Hirnaktivität und Bedeutungsdimensionen

Worte wurden in zufälliger Reihenfolge eine Sekunde lang sequentiell auf einem Bildschirm dargeboten, und die Versuchspersonen hatten die Aufgabe, sich jedes Wort möglichst bildhaft vorzustellen und im Gedächtnis zu behalten. Die Erinnerungsleistung wurde nach der Untersuchung erfaßt. Das EEG wurde in 30 Kanälen (gleichmäßig verteilt zwischen Inion und 5% frontal von Fz) zusammen mit dem EOG kontinuierlich registriert. Evozierte Potentiale wurden offline für die einzelnen semantischen Klassen berechnet und topographisch analysiert. In einer Kontrollbedingung wurden konventionelle, durch einfache Kontrastreize visuell evozierte Potentiale gemessen. Versuchspersonen waren 22 junge, gesunde, rechtshändige Erwachsene, die

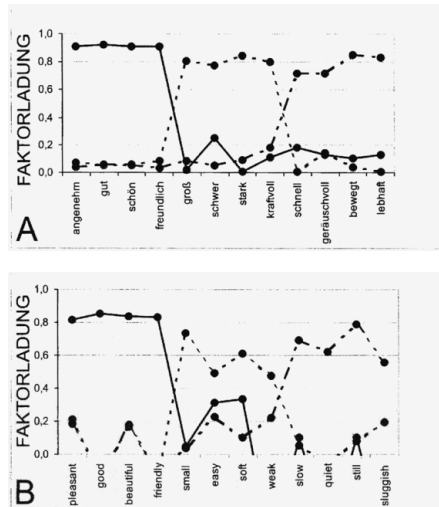


Abb. 2 (A): Faktorladungen der drei größten Faktoren, die bei einer Gruppe von 30 deutschsprachigen Versuchspersonen bestimmt wurden. Die drei Faktoren erklären etwa 72% der Varianz der Daten. 163 Wörter wurden auf 12 gegensätzlichen Adjektivskalen beurteilt. Die Faktoren können den Bedeutungsdimensionen Evaluation, Aktivität und Stärke zugeordnet werden (B): Faktorladungen der drei größten Faktoren, die bei einer Gruppe von 32 chinesischen Probanden bestimmt wurden. 210 Wörter wurden auf vergleichbaren Adjektivskalen wie bei 2A beurteilt. Es ergeben sich dieselben Bedeutungsdimensionen, die 62,5% der Varianz erklären. Die Faktorenstruktur der beiden Gruppen ist sehr ähnlich (Korrelationen zwischen 0,83 und 0,92)

ebenfalls den Fragebogen zum Semantischen Differential ausfüllen. Die durch Wörter ausgelöste evozierte Hirnaktivität ist als Kartenserie in Abbildung 3 dargestellt. Hier sieht man die wechselnden Aktivitätsmuster zwischen 70 und 790 ms nach dem Darbieten des Wortes auf dem Bildschirm, und es treten sowohl frühe Komponenten um etwa 100 ms als auch späte Komponenten auf. Dies war

bei allen Versuchspersonen und allen 6 Wortklassen zu sehen.

In einer Kontrollbedingung wurde ein bedeutungsloses Schachbrettmuster gezeigt (so genanntes *pattern reversal*, 97% Kontrast, 1° Karogröße). Dieser Reiz beeinflusst vor allem die primären sensorischen Hirnareale, die die physikalischen Eigenschaften des Sehreizes verarbeiten. Wie unterscheidet sich diese Aktivität von der, die durch die Darbietung geschriebener Wörter ausgelöst wird? Wir untersuchten die P100-Komponente, die mit einer Latenz von 104 ms auftrat (Skrandies 1995). Bei der Darbietung von Wörtern war diese Komponente kleiner als bei der Darbietung des Schachbrettmusters. Dies ist wenig überraschend, da die Komplexität (Anzahl der Kanten und Kontraste) bei den beiden Reizen deutlich unterschiedlich ist. Andererseits zeigten sich statistisch signifikante topographische Unterschiede. Abbildung 4 illustriert die über alle Probanden gemittelten Potentialverteilungen, und die Amplitudenunterschiede sind deutlich: es gibt signifikant weniger Feldlinien und geringere Extremwerte bei der Darbietung der Wörter. Um die topographischen Unterschiede beurteilen zu können, werden aus den hirnelektrischen Karten Parameter extrahiert, die sich für den direkten statistischen Vergleich eignen. Wichtige Deskriptoren sind beispielsweise die Positionen der physikalischen Schwerpunkte der Potentialfelder (Skrandies 1995). Diese lassen sich separat für die positiven und die negativen Bereiche bestimmen, und wir können Unterschiede in der Richtung von vorne nach hinten (anterior – posterior) oder von links nach rechts analysieren. Auf diese Weise erhalten wir vier abhängige Variablen, die für den statistischen Vergleich von unterschiedlichen experimentellen Bedingungen herangezogen werden können.

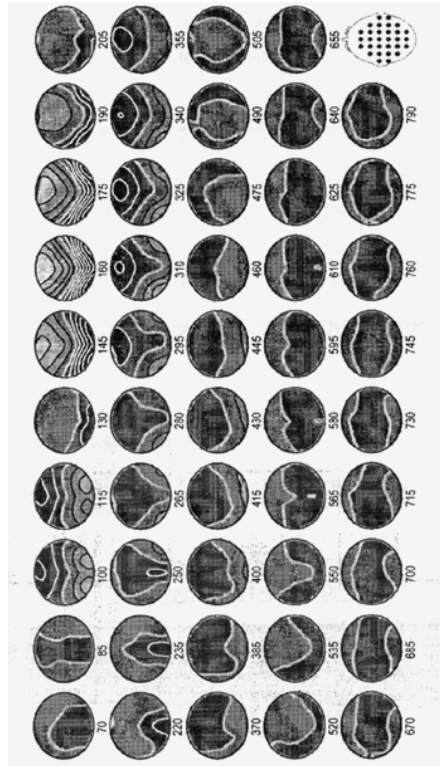


Abb. 3: Durch Wörter ausgelöste gemittelte evozierte Hirnaktivität als Kartenserie zwischen 70 und 790 ms nach Darbietung des Wortes auf dem Bildschirm. Der Abstand zwischen den Linien beträgt  $0,5 \mu\text{V}$ , dunkelgraue Bereiche mit weißen Linien sind negativ, hellgraue Bereiche mit schwarzen Linien sind positiv. Die Anordnung der 30 Elektroden ist in dem Kopfschema wiedergegeben. Mittelwerte über alle 6 Wortklassen

Die Positionen der Schwerpunkte der evozierten Potentialfelder sind ebenfalls in Abbildung 4 illustriert. Der statistische Vergleich der positiven Schwerpunkte zeigte einen signifikanten Unterschied: In der Wortbedingung waren die Aktivitätsmuster konsistent weiter anterior lokalisiert.

siert als bei den einfachen Schachbrettmustern ( $F(6,126) = 4,09, p < 0,001$ ). Da aus physikalischen Gründen unterschiedliche Potentialfelder auf dem Kopf durch unterschiedliche neuronale Generatoren erzeugt sein müssen, belegen diese Befunde, daß in den beiden Reizbedingungen unterschiedliche Gehirnstrukturen aktiviert werden. Es ist natürlich naheliegend, daß es sich dabei nicht um weit auseinanderliegende Gebiete handelt, vielmehr kann man annehmen, daß verschiedene Neuronenpopulationen innerhalb der Sehrinde aktiviert werden.

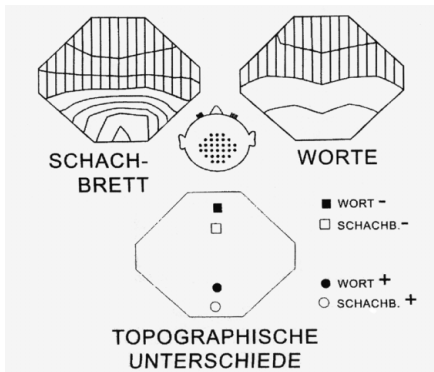


Abb. 4: Topographische Verteilungen der P100-Komponente (ca. 100 ms Latenz), die nach Darbietung eines Schachbrettmusters (links) oder von Wörtern ausgelöst wurden. Der Abstand zwischen den Linien beträgt  $2 \mu\text{V}$ , schraffierte Bereiche sind negativ. Die Anordnung der 30 Elektroden ist in dem Kopfschema wiedergegeben. Unten sind die Positionen der positiven (Kreise) und negativen Schwerpunkte (Quadrate) der Potentialfelder dargestellt. Die Lokalisation der positiven Schwerpunkte ist bei Wörtern signifikant weiter frontal lokalisiert als bei den Schachbrettmustern ( $F(6,126) = 4,09, p < 0,001$ ). Mittelwerte von 22 Versuchspersonen. Daten aus Skrandies (1998)

Wie unterscheidet sich Hirnaktivität, die bei der Verarbeitung von Wörtern der sechs verschiedenen semantischen Klassen auftritt? Wie Abbildung 3 illustriert,

gibt es viele unterschiedliche Komponenten, die früh oder spät nach dem Reiz auftreten. Das Meßintervall der evozierten Aktivität betrug 1 s, und es konnten mit Hilfe der Berechnung der globalen Feldstärke (siehe oben) zehn verschiedene Komponenten quantitativ bestimmt werden. Die früheste dieser Komponenten trat zwischen 80 und 130 ms auf, und sie ist bereits in Abbildung 4 illustriert. Die letzte Komponente lag in einem Latenzzeitbereich von 860 bis 975 ms. Die Spannweite der Latenzen entspricht der Variation zwischen den Versuchspersonen und zwischen den experimentellen Bedingungen. Diese Tatsache illustriert, daß beim Lesen einfacher Worte ein komplexes, lang andauerndes Aktivitätsmuster im Gehirn ausgelöst wird.

Wir untersuchten, ob die verschiedenen Wortklassen die hirnelektrische Aktivität beeinflussen. Hierzu wurden statistische Analysen durchgeführt, wobei die Parameter der physiologischen Antworten bewertet wurden: Latenz, Feldstärke und Topographie. Interessanterweise konnten für mehrere der Komponenten experimentelle Effekte nachgewiesen werden. An dieser Stelle können nicht alle Ergebnisse einzeln dargestellt werden, sondern die Befunde sind in Abbildung 5 zusammengefaßt. Hier wird illustriert, welche Parameter bei welchen Latenzzeiten durch die Wortklassen signifikant beeinflusst wurden. Neben vielen Details fallen zwei wesentliche Punkte ins Auge: 1. Effekte der semantischen, konnotativen Bedeutung auf elektrische Hirnaktivität treten relativ früh auf; die frühesten sieht man zwischen 80 und 130 ms; 2. die Verteilung dieser Effekte über die Analysezeit ist nicht zufällig, sondern es kristallisiert sich eine Regelmäßigkeit heraus. Zwischen 80 und 265 ms und zwischen 565 und 975 ms sehen wir viele Effekte, während in dem dazwischen liegenden Zeitbereich (265 bis 565 ms) die

semantische Bedeutung der Wörter keinen statistisch signifikanten Einfluß auf die hirnelektrische Aktivität besitzt.

Die frühen Effekte zeigen, daß bereits Teile der primären visuellen Informationsverarbeitung den Bedeutungsgehalt der Reize verarbeiten. Diese Latenzen sind vergleichbar mit denen, die mit einfachen Stimuli erhalten werden, während ihre Topographie graduelle, aber signifikante Unterschiede aufweist. Die Form der Potentialfelder deutet auf die Aktivierung visueller Gebiete der menschlichen Großhirnrinde. Diese Ergebnisse zeigen, daß durch Sprachreize ausgelöste Hirnaktivität von der affektiven Bedeutung abhängt, wobei bereits relativ frühe Stufen der Informationsverarbeitung durch die Dimension semantischer Reize beeinflusst werden.

Etwas überraschend erscheint, daß in dem Zeitbereich der »klassischen« kognitiven Potentiale (z. B. P300, Donchin, Ritter & McCallum 1978) oder Komponenten, die mit Sprachverarbeitung befaßt sind (N400, Kutas & Hillyard 1980), keine bedeutungsrelevanten Effekte auftraten. Ein wesentlicher Unterschied zu den »N400«-Untersuchungen ist, daß in unseren Experimenten keine Sätze, sondern einzelne Wörter gelesen wurden und die syntaktischen Parameter weitgehend ignoriert werden können. Offenbar ist die hirnelektrische Aktivität beim Lesen einzelner Worte zeitlich anders segmentiert und verläuft anders als bei der Verarbeitung ganzer Sätze. Die beiden Zeitbereiche (80–265 ms und nach 565 ms bei Wörtern, 300–500 ms bei Satzverarbeitung) ergänzen sich sinnvoll, so daß man darüber spekulieren kann, wie verschiedenes Verarbeiten unterschiedliche Hirnprozesse aktiviert.

Die frühen Effekte, die zwischen 80 und 100 ms nach der Darbietung eines Wortes auftreten und die auch in den Abbildungen 4 und 5 illustriert sind, scheinen nur

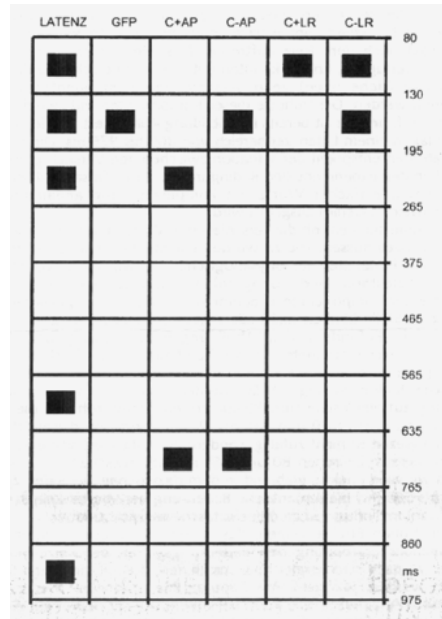


Abb. 5: Übersicht über den Einfluß der Bedeutungsdimensionen auf die 10 evozierten Komponenten, die zwischen 80 und 975 ms gefunden wurden. Signifikante Effekte auf die Latenz, Feldstärke (GFP) und die Position der positiven (C+) und negativen Schwerpunkte (C-) in der anterior – posterior (AP) und links – rechts Richtung sind markiert. Freie Felder bedeuten, daß keine Effekte auftraten. Die signifikanten Ergebnisse konzentrieren sich auf frühe (bis 265 ms) und späte Zeitbereiche (>565 ms). Mittelwerte von 22 Versuchspersonen. Daten aus Skrandies (1998)

auf den ersten Blick überraschend. Sieht man sich verschiedene Gehirnfunktionen an, die während der menschlichen Informationsverarbeitung ablaufen, so findet man, daß die beschriebenen frühen kognitiven Effekte mit Befunden aus anderen Experimenten übereinstimmen. Studien zum Lesen einzelner Worte zeigen, daß bei stillem Lesen bereits 36,3 ms pro Wort ausreichend sein können, um den



Sinn der dargebotenen Reize zu erfassen (Rubin & Turano 1992). Aus elektrophysiologischen Experimenten sind ebenfalls Effekte bekannt, die auch bei komplexer Informationsverarbeitung relativ früh auftreten. Die Verarbeitung von relevanten visuellen Reizen beeinflusst die elektrische Hirnaktivität bereits nach etwa 80 ms (Skrandies 1983), und ähnlich frühe Effekte findet man in den evozierten Potentialen beim Kopfrechnen und beim Lösen von Anagrammen (Skrandies, Reik & Kunze 1999).

Das visuelle System arbeitet im allgemeinen sehr schnell: auch sehr komplexe Reize wie dynamische Zufallspunktstereogramme, bei denen eine riesige Menge von Bildpunkten auf räumliche Korrelation überprüft werden müssen, können verarbeitet werden, wenn die Reize schon nach 14 ms wechseln. Diese enorme funktionelle Kapazität des primären visuellen Systems spiegelt sich im Auftreten früher kortikaler Komponenten beim Stereosehen wider (Skrandies & Vomberg 1985; Skrandies 2001). Hier scheint das Verarbeiten komplexer sensorischer Information nicht mehr Zeit zu benötigen als das Verarbeiten relativ einfacher Sehreize. Intracerebrale Ableitungen der elektrischen Aktivität während Gehirnoperationen deuten auf ähnlich schnelle Mechanismen hin, wo die Information der Netzhaut den primären menschlichen visuellen Kortex nach weniger als 50 ms erreichen kann (Ducati, Fava & Motti 1988).

Berücksichtigt man die ausgeprägten Verbindungen zwischen vielen Hirnarealen und funktionelle Rückkopplungsmechanismen, so ist die semantisch beeinflusste Aktivität in visuellen Gebieten des Gehirns weniger überraschend. Solch schnelle Verarbeitungsschritte sind zum Erfassen von Sinn und Inhalt und für das schnelle Lesen von entscheidender Bedeutung. Ähnlich frühe Prozesse wie bei

der Analyse der Wortbedeutung finden sich auch bei syntaktischen Merkmalen. So konnten Koenig und Lehmann (1996) nachweisen, daß eine Komponente der elektrischen Hirnaktivität zwischen 116 und 172 ms deutliche Unterschiede zwischen dem Lesen von Verben und Substantiven aufweist. Dies und weiterführende Befunde zur Elektrophysiologie der Sprachverarbeitung finden sich auch in der Übersicht von Pulvermüller (1999). Zusammengefaßt läßt sich sagen, daß die früheren Ergebnisse zum Semantischen Differential stabil und reproduzierbar sind. Der Vergleich der deutschen mit den chinesischen Ergebnissen unserer Fragebogenstudie zeigt außerdem, daß diese Bedeutungsdimensionen weitgehend sprach- und kulturunabhängig sind. Dies illustriert, daß die E-, P-, A-Dimensionen sowohl im deutschen als auch im chinesischen Sprachraum wiedergefunden werden. Außerdem zeigte sich, daß die Klassifikation einzelner Worte über verschiedene Probandengruppen hinweg sehr stabil und wiederholbar ist.

Ähnlich wie in der früheren elektrophysiologischen Studie von Chapman et al. (1980) finden wir, daß unterschiedliche Bedeutung der Worte zu unterschiedlicher Hirnaktivität führt. In unseren Daten sehen wir außerdem topographische Veränderungen, die die Unterschiede verdeutlichen. Interessanterweise war die evozierte Hirnaktivität bereits 80 ms nach Reizdarbietung durch Bedeutungsdimensionen systematisch beeinflusst. Komplexe Wahrnehmungsprozesse wie das Lesen beruhen nicht nur auf der visuellen Verarbeitung von Reizen, sondern hängen auch von Aufmerksamkeit und Gedächtnis ab. Deshalb weisen die vorgestellten Ergebnisse darauf hin, daß die komplexe menschliche Informationsverarbeitung bereits in primären visuellen Arealen von kognitiven Parametern bestimmt ist.

## Danksagung

Die Daten der chinesischen Probanden wurden in Kooperation mit Herrn Dr. M. J. Chiu am Department of Neurology, NTUH, Taipei, erhoben. Unterstützt durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft, DFG Sk 26/5-3 und den DAAD 992288.

## Literatur

- Bradley, M. M.; Lang, P. J.: »Measuring emotion: The self-assessment manikin and the semantic differential«, *Journal of Behavioral Therapy and Experimental Psychiatry* 25 (1994), 49–59.
- Brandeis, D.; Lehmann, D.; Michel, C. M.; Mingrone, W.: »Mapping event-related brain potential microstates to sentence endings«, *Brain Topography* 8 (1995), 145–159.
- Chapman, R. M.; McCrary, J. W.; Chapman, J. A.; Martin, J. K.: »Behavioral and neural analysis of connotative meaning: Word classes and rating scales«, *Brain and Language* 11 (1980), 319–339.
- Donchin, E.; Ritter, W.; McCallum, W. C.: »Cognitive psychophysiology: The endogenous components of the ERP«. In: E. Callaway; P. Tueting; S. H. Koslow (Eds.): *Event-related potentials in man*. New York: Academic Press, 1978, 349–411.
- Ducati, A.; Fava, E.; Motti, E. D. F.: »Neuronal generators of the visual evoked potentials: Intracerebral recording in awake humans«, *Electroencephalography and clinical Neurophysiology* 71 (1988), 89–99.
- Hinojosa, J. A.; Martin-Loeches, M.; Rubia, F. J.: »Event-related potentials and semantics: An overview and an integrative proposal«, *Brain and Language* 78 (2001), 128–139.
- Hofstätter, P.: »Über Ähnlichkeit«, *Psyche* 9 (1955), 54–90.
- Koenig, T.; Lehmann, D.: »Microstates in language-related brain potential maps show noun-verb differences«, *Brain and Language* 53 (1996), 169–187.
- Kutas, M.; Hillyard, S. A.: »Reading senseless sentences: Brain potentials reflect semantic incongruity«, *Science* 207 (1980), 203–204.
- Kutas, M.; Federmeier, K. D.; Sereno, M. I.: »Current approaches to mapping language in electromagnetic space«. In: C. M. Brown; P. Hagoort (Eds.): *The neurocognition of language*. New York: Oxford University Press, 1999, 359–392.
- Lehmann, D.; Skrandies, W.: »Reference-free identification of components of checkerboard-evoked multi channel potential fields«, *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology* 48 (1980), 609–621.
- Osgood, C. E.; May, W. H.; Miron, M. S.: *Cross-cultural universals of affective meaning*. Urbana: University of Illinois Press, 1975.
- Osgood, C. E.; Suci, G. J.; Tannenbaum, P. H.: *The measurement of meaning*. Urbana: University of Illinois Press, 1957.
- Pulvermüller, F.: »Words in the brain's language«, *Behavioral and Brain Sciences* 22 (1999), 253–279.
- Rubin, G. S.; Turano, K.: »Reading without saccadic eye movements«, *Vision Research* 32 (1992), 895–902.
- Skrandies, W.: »Information processing and evoked potentials: Topography of early and late components«, *Advances in Biological Psychiatry* 13 (1983), 1–12.
- Skrandies, W.: »Visual information processing: Topography of brain electrical activity«, *Biological Psychology* 40 (1995), 1–15.
- Skrandies, W.: »Evoked potential correlates of semantic meaning: A brain mapping study«, *Cognitive Brain Research* 6 (1998), 173–183.
- Skrandies, W.: »The processing of stereoscopic information in human visual cortex: Psychophysical and electrophysiological evidence«, *Clinical EEG* 32 (2001), 152–159.
- Skrandies, W.: »EEG Topography«. In: J. P. Hornak (Ed.): *The encyclopedia of imaging science and technology*, Vol. 1. New York: John Wiley & Sons, 2002, 198–210.
- Skrandies, W.: »Die Bedeutung von Wörtern und elektrische Hirnaktivität des Menschen«. In: H. M. Müller; G. Rickheit (Hrsg.): *Neurokognition der Sprache*. Tübingen: Stauffenberg, 2004, 91–106.
- Skrandies, W.; Vomberg, H. E.: »Stereoscopic stimuli activate different cortical neurons in man: Electrophysiological evidence«, *International Journal of Psychophysiology* 2 (1985), 293–296.
- Skrandies, W.; Weber, P.: »Dimensionality of semantic meaning and segments of evo-

- ked potential fields«. *Ex. Med. Intern. Congr. Ser.* (C. Ogura, Y. Koga, M. Shimokochi (Eds.): *Recent Advances in Event-Related Brain Potential Research*) 1996, 206–212.
- Skrandies, W.; Reik, P.; Kunze, C.: »Topography of evoked brain activity during mental arithmetic and language tasks: Sex differences«, *Neuropsychologia* 37 (1999), 421–430.
- Skrandies, W.; Wässle, H.; Peichl, L.: »Are field potentials an appropriate method for demonstrating connections in the brain?«, *Experimental Neurology* 60 (1978), 509–521.
- Takahashi, S.: »Aesthetic properties of pictorial perception«, *Psychological Review* 102 (1995), 671–683.
- Wundt, W.: *Grundriß der Psychologie*. Leipzig: Engelmann, 1896.

\* Bei diesem Beitrag handelt es sich um einen Vortrag im Rahmen der 33. Jahrestagung Deutsch als Fremdsprache des Fachverbandes Deutsch als Fremdsprache (FaDaF) vom 5.–7. Mai 2005 an der Friedrich-Schiller-Universität Jena zum Rahmenthema »Umbrüche«. Der Beitrag wird auch in den Sammelband zu dieser Tagung in der Reihe *Materialien Deutsch als Fremdsprache* (MatDaF) aufgenommen. Der Tagungsband erscheint voraussichtlich im Frühjahr 2006.