

# Beurteilung multisensorischer Reize – Bedeutungsdimensionen und elektrophysiologische Hirnaktivität

---

Inauguraldissertation  
zur Erlangung des Doktors der Medizin  
des Fachbereichs Medizin  
der Justus-Liebig-Universität Gießen

Vorgelegt von Anna Katharina Hiessl  
aus Freiburg im Breisgau

Gießen 2010

Aus dem Physiologischen Institut  
der Justus-Liebig-Universität Gießen  
Geschäftsführender Direktor Prof. Dr. Klaus-Dieter Schlüter

Betreuer: Prof. Dr. Wolfgang Skrandies

1. Gutachter: Prof. Dr. Wolfgang Skrandies
2. Gutachter: Frau PD Dr. Iris Reuter

Tag der Disputation: 30.11.2010

## Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung .....	3
1.1	Das Semantische Differential.....	3
1.2	EEG und Evozierte Potentiale.....	6
1.3	Bestätigung von konnotativen Bedeutungsdimensionen in funktionellen Gehirnuntersuchungen .....	8
1.4	Sinneswahrnehmung .....	10
1.4.1	Geruchswahrnehmung.....	10
1.4.2	Geschmackswahrnehmung.....	13
1.4.3	Somatosensible Texturwahrnehmung .....	14
1.4.4	Visuelle Wahrnehmung.....	16
1.4.5	Multisensorische Verarbeitung .....	18
1.5	Der orbitofrontale Kortex.....	19
1.6	Sinneswahrnehmung und Emotionen - Valenz und Intensität .....	21
1.7	Auslösen von Sinneswahrnehmungen durch Worte.....	24
1.8	Untersuchung von Sinnesverarbeitung mithilfe des Semantischen Differentials - Fragestellung .....	25
2	Methoden.....	26
2.1	Fragebogenstudie .....	26
2.2	EGG-Studie .....	29
2.2.1	Versuchspersonen.....	29
2.2.2	Reize.....	29
2.2.3	EEG-Messung und Datenerfassung .....	30
2.2.4	Versuchsdurchführung .....	32
2.2.4.1	Sehtest .....	32
2.2.4.2	Kontrollmessung/Standardisierte Messung evozierter Potentiale.....	32
2.2.4.3	Messung evozierter Potentiale .....	33
2.2.4.4	Kontroll-Test .....	33
2.2.5	Auswertung und statistische Methode.....	34
3	Ergebnisse .....	35
3.1	Ergebnisse der Fragebogenstudie.....	35
3.2	Elektrophysiologische Daten und Potentialkarten .....	36
3.3	Komponentenbestimmung .....	39
3.4	Statistische Ergebnisse der Komponentenanalyse .....	41
3.4.1	Vergleich früher und später Komponenten .....	42
3.4.2	Effekte der Komponentenlatenz.....	44
3.4.3	Effekte in der Global Field Power.....	45

3.4.4	Topographische Effekte der Ladungsschwerpunkte .....	47
3.4.5	Durch das statistische Verfahren des Binomialtests gefundene Hemisphäreneffekte .....	50
3.4.6	Topographische Effekte in der Varianzanalyse .....	51
4	Diskussion .....	53
4.1	Betrachtung der Bedeutungsdimensionen .....	53
4.2	Geruchs- und Geschmackswahrnehmung als emotionale Prozesse .....	57
4.3	Frühe Effekte evozierter Potentiale .....	60
4.4	Effekte der Verarbeitung im zeitlichen Verlauf der ausgelösten Hirnaktivität.....	61
4.5	Topographische Effekte .....	65
4.6	Schlussfolgerungen .....	68
5	Zusammenfassung .....	71
6	Abstract .....	73
7	Literaturverzeichnis .....	74
8	Bisherige Publikationen .....	81
9	Abbildungs- und Tabellenverzeichnis .....	82
10	Anhang .....	83
10.1	Zu bewertende Lebensmittel der Fragebogenstudie .....	83
10.2	Daten der Versuchspersonen der Fragebogenstudie. ....	84
10.3	Fragebogen .....	85
10.4	Adjektive, die die Dimensionen beschreiben .....	87
10.4.1	5-Faktoren-Lösung .....	87
10.4.2	3-Faktoren-Lösung .....	87
10.5	Lebensmittelworte der Reizklassen .....	87
10.6	Versuchspersonen der EEG-Studie .....	88
10.7	Potentialkarten .....	90
10.8	GFP-Kurven .....	92

# **1 Einleitung**

Die Verarbeitung der Sinneswahrnehmungen im Gehirn beruht auf einem komplexen System neuronaler Verknüpfungen, das schließlich Einfluss auf menschliches Verhalten nimmt. Entscheidend für die Empfindungen, die bewusst werden, sind neben der Sinnesmodalität und anderen von der Umwelt gegebenen Umständen, Verschaltungen der Nervenzellen im menschlichen Gehirn, die durch Erfahrung entstanden sind. Eine bewusste Wahrnehmung entsteht also in Abhängigkeit von folgenden Faktoren: ein Reiz mit seinen spezifischen Eigenschaften, ein durch Vorerfahrungen individuell geformtes Netzwerk von Neuronen, und schließlich bestimmen auch emotionale Inhalte oder Assoziationen den Verarbeitungsweg innerhalb dieses Netzwerkes.

## **1.1 Das Semantische Differential**

Das Verhalten des Menschen im Bezug auf sich selbst und auf seine Umwelt ist von der Bedeutung abhängig, die die entsprechende Situation für den Menschen hat. Es kann davon ausgegangen werden, dass die Bedeutung eine der wichtigsten Determinanten menschlichen Verhaltens ist (Osgood et al., 1957). Doch was genau ist in diesem Zusammenhang Bedeutung und wie lässt sich diese verstehen und messen, falls sie messbar ist? Einer Situation wird sich der Mensch bewusst, indem er wahrnimmt. Diese Wahrnehmung kann unterschiedlicher Natur sein. Zum einen kann es eine Wahrnehmung von Worten geben, geschrieben oder gesprochen, die eine Situation bestimmen. Auf der anderen Seite können nicht-verbale Sinneswahrnehmungen eine Situation kennzeichnen, wobei es sich hierbei unter anderem um Sehen, Hören, Riechen, Schmecken oder Ertasten handeln könnte.

In seinen grundlegenden Ideen zur Messung von Bedeutung nutzte Osgood Ergebnisse der Synästhesieforschung. Synästhesie ist eine Modalitäten übergreifende Wahrnehmung, die als real empfunden wird (Cytowic und Wood, 1982). Das bedeutet dass physisch getrennte Sinnesempfindungen wie beispielsweise Geschmack und Farbe gleichzeitig empfunden werden, wenn nur eine der Wahrnehmungen tatsächlich gemacht wird. Menschen, bei denen regelmäßig eine solche Kopplung der Sinnesempfindungen stattfindet, bezeichnet man als Synästhetiker. Ein bekanntes Phänomen ist die Tatsache, dass auch Nicht-Synästhetiker im Alltag verschiedene Sinneseindrücke in einen direkten Zusammenhang miteinander stellen.

Beispielsweise werden hohe Töne oft auch als helle Töne bezeichnet und damit in Verbindung mit hellem Licht oder hellen Farben gebracht. Auch der Bezug von lauten Tönen zu großen visuellen Eindrücken ist geläufig. Typischerweise wird in der Notenschrift ein Crescendo, also ein Lauterwerden, mit einem sich öffnenden Winkel, ein Decrescendo mit einem sich schließenden Winkel dargestellt. Nicht zuletzt sind Ausdrücke wie „am Boden zerstört“ oder „himmelhoch jauchzend“ Verbindungen zwischen einer wahrgenommenen emotionalen Stimmung mit einer räumlichen Zuordnung. Das regelhafte Auftreten einer bestimmten Kombination von verschiedenen Sinnesempfindungen, sobald ein bestimmter Reiz auftritt, und sei dieser unimodal, lässt sich kreuzende Erregungskreisläufe auf neuronaler Ebene vermuten. Dabei liegt dieser kombinierten Empfindung verschiedener Sinne weniger eine Verwechslung zugrunde, als das Vorhandensein eines komplexen axonalen Netzwerkes, welches möglicherweise zum vollen Verständnis eines Eindruckes und zu dessen Einbindung in einen Gesamtkontext beiträgt. Diese Art der intermodalen Verknüpfung von Reizen gibt Hinweise darauf, dass es eine oder mehrere Bedeutungsebenen geben könnte, die von verschiedenen Eindrücken sozusagen geteilt werden und durch die verschiedene Modalitäten wiederum eine Verbindung untereinander haben.

Die Vorstellung von einer Art der Informationsverarbeitung im Gehirn auf verschiedenen Bedeutungsebenen im Sinne einer mehrdimensionalen Verarbeitung bildet die Grundlage für die Entwicklung des Semantischen Differentials. Es handelt sich um eine Methode, mit deren Hilfe diese Bedeutungsdimensionen in der Wortverarbeitung herausgefunden werden können. Ein Wort muss in diesem Zusammenhang als ein Zeichen verstanden werden, welches als bestimmtes Muster von Reizen eine Idee oder eine Vorstellung von einem Bedeutungsinhalt im Gehirn auslöst, für welches das Wort steht (vgl. Osgood et al., 1957). Das Wort sollte also in einem Organismus die gleiche Reaktion auslösen wie der Bedeutungsinhalt selbst, für den es steht.

Ähnlich den Sinneseindrücken von Synästhetikern konnte für die Wahrnehmung und Verarbeitung von Worten gezeigt werden, dass es neben dem sachlich-inhaltlichen Sinn, den ein Wort hat und für den es steht, auch „Mitbedeutungen“ gibt, so genannte konnotative Bedeutungen. Gerade diese konnotativen Assoziationen, die durch die Wahrnehmung eines Wortes ausgelöst werden, spielen für dessen Verarbeitung im Gehirn und für seine Bedeutung eine entscheidende Rolle. Mitte des letzten Jahrhunderts konnten von Osgood mit Hilfe des von ihm entwickelten semantischen Differentials diese Bedeutungsdimensionen gefunden werden, entlang derer sich die Verarbeitung von Bezeichnungen im Sinne eines Wortes abspielt.

Diese konnotative Ebene ist jedoch nicht eindimensional. Vielmehr handelt es sich hier um ein mehrdimensionales Konstrukt, das die Verarbeitung und Bedeutungsentstehung von Worten im Gehirn teilweise zu erklären vermag. Verbal lassen sich die Bedeutungsdimensionen mit Hilfe von gegensätzlichen Adjektivpaaren beschreiben. Dazu werden Worte zunächst entlang mehrerer siebenstufiger Skalen zwischen gegensätzlichen Adjektiven bewertet. Beispielsweise kann eine dieser Skalen von „schnell“ bis „langsam“ reichen und sieben dazwischen liegende Abstufungen enthalten. Es muss dann beurteilt werden, ob ein Wort, zum Beispiel „Haus“, eher die Konnotation von schnell oder eher langsam auslöst. Diese Bewertungen werden dann einer Faktorenanalyse unterzogen, wodurch die Dimensionen als Kombination verschiedener Adjektive sichtbar werden. In diesem Sinne ist das semantische Differential eine Kombination zwischen kontrollierter Assoziation und Skalierungsprozessen (Osgood et al., 1957).

In Osgoods Untersuchungen wurden wiederholt drei Dimensionen mit entsprechenden gegensätzlichen Polen gefunden: Evaluation (gut, E+ - schlecht, E-), Stärke (stark, P+ - schwach, P-) und Aktivität (aktiv, A+ - inaktiv, A-). Dabei macht der Faktor Evaluation den größten Teil der Variabilität aus, sukzessiv folgen Stärke und Aktivität. Dies bedeutet, dass die Differenzierung der zu bewertenden Worte bezüglich der Dimension Evaluation feiner ist als entlang der anderen Dimensionen. Es gab auch noch weitere Dimensionen, jedoch war deren Anteil an der Variabilität deutlich kleiner, weshalb sie von Osgood und auch hier nicht näher erläutert werden. Weiterhin konnte eine kulturell übergreifende Konstanz dieser semantischen Klassen gefunden werden (Skrandies und Chiu, 2003). Dieses Ergebnis verdeutlicht die Unabhängigkeit der Anwendung und der Ergebnisse des semantischen Differentials von der jeweiligen Sprache, was als Hinweis darauf gedeutet werden kann, dass mithilfe dieser Methode grundlegende Arbeitsweisen des Gehirns erklärt werden können.

Indem die Bewertung der Bedeutung entlang der entsprechenden Skalen zwischen gegensätzlichen Wortpaaren stattfindet, kann zum einen eine qualitative Bewertung vorgenommen werden, welche durch die gewählte Richtung zu jeweils einem der Adjektive eines Gegensatzpaares ausgedrückt wird. Außerdem gibt es eine quantitative Bewertung, die durch die Stufe der Intensität dargestellt wird. Diese Differenzierung zwischen Intensität und Wertigkeit wird im hirnpfysiologischen Zusammenhang noch bedeutsam sein.

Kehren wir jedoch zurück zum Ausgangspunkt für die Etablierung des semantischen Differentials. Es werden also mehrere Bedeutungsebenen genutzt, um Worte zu verarbeiten. Auch im Bereich der nonverbalen Sinnesverarbeitung könnten diese von mehreren Modalitäten „genutzten“ Verarbeitungsdimensionen vorhanden sein. Hinweise dafür gibt die

Betrachtung des Phänomens der Synästhesie. Die Frage ist dann, ob diese Dimensionen ähnlich oder gar gleich denen sind, die bei der Wortverarbeitung gefunden wurden oder ob sich weitere Dimensionen herauskristallisieren, welche möglicherweise spezifisch für einzelne Modalitäten stehen.

Das Verfahren des Semantischen Differentials wurde bereits zur Bewertung von Gerüchen und Geschmack eingesetzt (Reik und Skrandies, 2006). Dabei konnte gezeigt werden, dass sich imaginierte Gerüche mit Hilfe des Semantischen Differentials konsistent beurteilen lassen und mit den klassischen Dimensionen Evaluation, Aktivität und Stärke beschrieben werden konnten. In einer früheren Studie wurde die Bewertung von Farben anhand des semantischen Differentials untersucht (Hogg, 1969). Es ergaben sich in diesem Zusammenhang vier Dimensionen, wobei ebenfalls wieder die Dimension „Evaluation“ und eine Art „Aktivitätsfaktor“ gefunden wurden. Außerdem ergaben sich noch ein Faktor, der sich mit „Gewöhnlichkeit“ beschreiben lässt und ein vierter, der als „Aufdringlichkeitsfaktor“ mit dem klassischen Faktor „Stärke“ zu vergleichen ist.

## **1.2 EEG und Evozierte Potentiale**

Die gehirnphysiologische Verarbeitung von Reizen kann mit verschiedenen Methoden analysiert werden. Vor allem die Darstellbarkeit einzelner Verarbeitungsstufen im Verlauf der Zeit ist ein wichtiges Kriterium bei der Wahl eines Verfahrens um Bedeutungsdimensionen zu untersuchen.

Das Elektroenzephalogramm (EEG) als Untersuchungsmethode hat einige Vorteile im Vergleich zu anderen Methoden, die versuchen, Hirnaktivität darzustellen und entsprechend zu qualifizieren, zu quantifizieren und schließlich auch zu lokalisieren. Zunächst ist das EEG eine nicht-invasive funktionelle Untersuchungsmethode, welche relativ einfach anzuwenden und schmerzlos für den Probanden ist. Vor allem die Möglichkeit der hohen Zeitauflösung im Bereich von Millisekunden mit Hilfe des EEGs ist für die Darstellung neuronaler Verarbeitungsabläufe entscheidend. Diese elektrophysiologische Methode ist gerade dann sehr sensitiv, wenn es sich um Fragestellungen zum Ablauf einzelner Schritte der Verarbeitung handelt.

Der Entstehung des EEGs liegt die Summation von phasengleichen postsynaptischen Potentialen zu Grunde, die in den oberen Nervenzellschichten des Kortex entstehen. Es handelt sich um Potentiale einer großen Zahl von Nervenzellen, welche dann an der Kopfoberfläche abgeleitet werden (Skrandies, 2005). Der Ursprung der Potentiale findet sich



hauptsächlich in den Pyramidenzellen der kortikalen Schichten. Diese Neurone sind parallel zu einander und senkrecht zur Oberfläche angeordnet. Da die Oberfläche des Gehirns jedoch stark gefaltet ist, wird ein direkter Zusammenhang zwischen der Ableitung von Potentialen auf die äußere Oberfläche, also der Kopfschwarte, und der direkt darunter liegenden Nervenzellen ausgeschlossen. Ein an einer bestimmten Stelle abgeleitetes Potential ist aufgrund der Faltung also nicht auf Pyramidenzellen, die direkt unter der Ableitungsstelle liegen, zurückzuführen.

Bei der Ableitung und Interpretation von Potentialen des Gehirns sollte stets beachtet werden, dass identische Potentialfelder, die auf der Kopfoberfläche abgeleitet werden, entweder von derselben oder von einer unterschiedlichen Nervenzellpopulation generiert werden. Andererseits aber unterschiedlichen Potentialfeldern immer die Aktivität verschiedener Gruppen von Nervenzellen zu Grunde liegt (Skrandies, 2005). Weiterhin ist zu berücksichtigen, dass das Muster von Potentialen, welches in einer EEG-Messung aufgezeichnet wird, in Abhängigkeit zur Positionierung der Elektroden auf der Kopfhaut steht und diese daher mitberücksichtigt werden muss (Skrandies, 1995). Dennoch erbringt das EEG Informationen über die funktionelle Verbindung und Interaktion verschiedener Areale und dem Fluss der Potentiale zwischen diesen Arealen, wie beispielsweise bei durch Geruch evozierten Potentialen gezeigt wird (Lorig, 1989). Auch in anderen Untersuchungen lieferte das EEG wichtige Informationen über die funktionelle und zeitliche Interaktion zwischen verschiedenen Arealen. Dies bestätigen Untersuchungen zu visuell evozierten Potentialen ohne emotionale Inhalte (Skrandies, 2005) und mit emotionalen Inhalten (Carretié et al., 1997; Dolcos und Cabeza, 2002).

Kommt es zur Reizung eines Sensors durch das Auftreffen eines adäquaten Stimulus, so lassen sich durch dieses Ereignis evozierte Potentiale mit Hilfe des EEGs messen. Da sie eine sehr viel kleinere Amplitude besitzen als das Spontan-EEG, würden diese Potentiale allerdings untergehen und nicht zu erkennen sein. Folglich werden Summationstechniken angewandt, die durch die Mittelung sehr vieler evozierter Potentiale dazu führen, dass sich die evozierten Potentiale vom Spontan-EEG abheben und sichtbar werden. Dies setzt jedoch voraus, dass der entsprechende Reiz sehr oft präsentiert wird. Evozierte Potentiale werden klassischerweise im zeitlichen Verlauf dargestellt. Dies führt zu einer reizspezifischen Kurvenform, die im Sinne des Verarbeitungsverlaufes interpretiert werden kann.

Ungefähr 100 ms nach der sensorischen Reizung eines Nervs kommt es zunächst zu einer messbaren Veränderung im primären Rindengebiet des entsprechenden sensorischen Systems. Beispielsweise führt das Auftreffen eines Lichtreizes auf die Retina nach etwa 100 ms zu

einem evozierten Potential im Brodmann-Areal 17 des Okzipitallappens (P100). Anschließend gibt es eine messbare Aktivität, welche in Kortexgebieten stattfindet, die das primäre Projektionsfeld umgeben. Diese ersten Anteile des evozierten Potentials sind hauptsächlich von exogenen Faktoren bestimmt. Das sensorisch evozierte Potential ist jedoch sowohl von physikalischen Eigenschaften des Reizes als auch von höheren Mechanismen der Informationsverarbeitung abhängig (Skrandies, 1995). Diesen kognitiven Einfluss auf exogen evozierte Potentiale werden wir auch in unserer Studie untersuchen.

Bei der zeitlich-topographischen Auswertung von EEG-Daten sind vor allem sechs Werte von Bedeutung. Zunächst lassen sich Angaben über die Feldstärke machen, die durch die Aktivität der Pyramidenzellen zustande kommt. Sie gilt als Maß für die Menge an synchron aktivierten Pyramidenzellen, welche an der Verarbeitung kognitiver Aufgaben beteiligt sind. Weiterhin ist von Bedeutung, wann die entsprechenden Aktivitäten gemessen werden, was zu einer weiteren Angabe über die sogenannte Latenzzeit führt. Diese Zeitangabe stellt einen neurophysiologischen Parameter dar, der für die Verarbeitungszeit steht (Skrandies, 2005). Vier weitere Werte dienen dazu, die gemessene Aktivität auf der Kopfoberfläche lokalisieren. Dies geschieht mithilfe eines Koordinatensystems, das man sich über die Kopfoberfläche gelegt vorstellt. Es wird die Lokalisation der Ladungsschwerpunkte (Zentroide) angegeben. Zu jedem Zeitpunkt kann sowohl für den positiven als auch für den negativen Ladungsschwerpunkt jeweils ein Wert für die Lage in sagittaler und in vertikaler Richtung bestimmt werden. Eine genaue Erläuterung der Messdaten wird im Methodenteil dargestellt. Allerdings sollte an dieser Stelle erwähnt sein, dass bei Rückschlüssen von Lokalisation des gemessenen Potentials auf den Ort der Entstehung des entsprechenden Potentials vor allem die Positionen der Potentialgradienten eine realistische Bedeutung haben (Skrandies, 2005). Eine direkte Übertragung des Ortes der Ableitung auf das Areal der entsprechenden aktiven Nervenzellen bedarf einer komplizierten computergestützten Berechnung und selbst dann bleiben Unsicherheiten über die genaue Lokalisation des Ursprungs der Potentiale.

### **1.3 Bestätigung von konnotativen Bedeutungsdimensionen in funktionellen Gehirnuntersuchungen**

Der Einfluss der semantischen Dimensionen auf die Wortverarbeitung wurde bereits in einer EEG-Studie (Skrandies, 1998) untersucht. Das bei dieser Untersuchung verwendete verbale Stimulusmaterial waren Worte, die zuvor eindeutig den Klassen Evaluation, Stärke und Aktivität zugeordnet worden waren. Das heißt, dass die gewählten Worte in einzelnen

Dimensionen stark positive oder stark negative Korrelationswerte aufwiesen und gleichzeitig in anderen Dimensionen Korrelationen nahe Null zeigten. Diese Worte wurden als visuelle Reize dargestellt. Vor allem in frühen Verarbeitungsschritten zwischen 80 und 265 ms konnte im EEG Unterschiede der Verarbeitung der einzelnen Dimensionen aufgezeigt werden. Die Unterschiede bezogen sich auf die Topographie, die Latenzzeiten und die Feldstärke der durch die semantischen Inhalte evozierten Potentiale. Diese Ergebnisse weisen darauf hin, dass die gefunden Bedeutungsfaktoren tatsächlich eine mögliche Erklärung für die Verarbeitungsweise im Gehirn darstellen.

Die Aktivierungsmuster der temporalen und parietalen Regionen werden signifikant durch die semantischen Faktoren Aktivität und Stärke modifiziert, was in einer Studie über die Durchblutung des Gehirns durch den Anstieg des Oxyhämoglobins gezeigt wurde (Suzuki et al., 2005). Rechter oberer Temporalgyrus und rechter unterer Parietallappen sind mit Aktivitätsbewertung assoziiert. Hier steigt die Sauerstoffkonzentration bei Assoziationen mit den Worten „statisch“ oder „ruhig“. Dagegen steht die Höhe der Sauerstoffkonzentration in Regionen um die Fissura centralis im Zusammenhang mit Bewertung, die sich auf „Stärke“ beziehen. An dieser Stelle findet man eine höhere Oxygenierung bei „weich“, „glatt“ und „stumpf“. Ebenso zeigte sich auch eine erhöhte Aktivität des linken prä- und postzentralen Gyri bei der Bewertung von „Stärke“. Schließlich wird deutlich, dass die Konzentrationsänderungen des Sauerstoffgehalts durch Reize negativer Polarität bei beiden Faktoren stärker ist, so rufen „schwache“ oder „passive“ Reize deutlichere Antworten hervor, als „starke“ oder „aktive“ Reize. Dieser Zusammenhang ist vergleichbar mit Ergebnissen der oben erwähnten Studie von Skrandies (1998), in der in einem Zeitbereich um 160 ms Worte der Klassen E- und A-, also ebenfalls „schwache“ und „passive“ Worte, zu einer höheren Aktivität im Sinne einer größeren Global Field Power (siehe unten), führen.

Konnotative Bedeutungsebenen können in einem engen Zusammenhang mit Emotionen gesehen werden, wie noch gezeigt wird. Bei der Verarbeitung von Emotionen zeigte sich in weiteren Studien, dass der mediale präfrontale Kortex und tiefere Hirnregionen (Amygdala, Insel, orbitofrontaler Kortex, vorderer Anteil des Cingulum) beteiligt sind (Murphy 2003, Phan 2002). In EEG-Untersuchungen konnte der sogenannte „Emotion-Effect“ (Dolcos et al., 2002) gezeigt werden, welcher möglicherweise für Interaktionen zwischen Amygdala und frontozentralen Kortex steht und dadurch ein Korrelat für die hirnphysiologische Verschaltung emotionaler Inhalte darstellt. Der Begriff des „Emotion-Effekts“ steht im Zusammenhang mit dem vermehrten Auftreten positiver Ereignis korrelierter Potentiale

(event related potentials, ERP) bei angenehmen oder unangenehmen Reizen im Gegensatz zu neutralen (vgl. Abschnitt 1.6).

## **1.4 Sinneswahrnehmung**

Frühere Modelle, welche die Arbeitsweise des Gehirns erklären, gehen von einer separaten Verarbeitung der einzelnen Sinne aus, vor allem bezüglich der primären und sekundären Prozessierung. Es werden jedoch mehr und mehr Hinweise auf eine Art der Verarbeitung gefunden, die auf einer multisensorischen Verschaltung von Sinneswahrnehmungen beruht. Reize der unterschiedlichen sensorischen Modalitäten scheinen sich gegenseitig zu beeinflussen und werden dann vermutlich weitgehend ungeachtet ihrer sensorischen Herkunft nach anderen Kriterien verarbeitet. Um welche Art von Kriterien es sich dabei handelt, ist Gegenstand der Forschung und der vorliegenden Untersuchung. Die bereits beschriebenen Dimensionen im Sinne verschiedener Bedeutungsebenen sind dabei ein möglicher Hinweis.

### **1.4.1 Geruchswahrnehmung**

Ein Geruch entsteht meist aus einer komplexen Mischung verschiedener Duftstoffe, welche an die Riechzellen in der Nasenschleimhaut gelangen. Der Mensch kann ungefähr 10000 Gerüche wahrnehmen, wobei das Riechen selbst eigentlich aus einer Vielzahl von Sinneseindrücken zu Stande kommt (Albrecht und Wiesmann, 2006). In diesem Abschnitt soll es jedoch ausschließlich um das olfaktorische System gehen. Bis zur Bewusstwerdung im Gehirn muss ein Geruchsreiz zunächst neuronal kodiert und dann über entsprechende Nervenbahnen in die zugehörigen Anteile des Gehirns gelangen.

In der Nasenschleimhaut am Dach der oberen Nasenhöhle befinden Riechzellen, die in ihrer Zellmembran Rezeptormoleküle besitzen. An diesen Rezeptoren können Duftstoffmoleküle binden und es kommt in Folge zur Entstehung eines Aktionspotentials (Pevsner and Snyder, 1990). Insgesamt gibt es ungefähr 360 verschiedene dieser Geruchsrezeptormoleküle. Ein Duftstoff bindet immer mehrere dieser Rezeptoren in einer bestimmten Kombination und aktiviert diese in unterschiedlicher Ausprägung, wodurch sich circa 10000 verschiedene Gerüche ergeben (Albrecht und Wiesmann, 2006). Es entsteht also ein für den Geruch charakteristisches Aktivierungsmuster der Riechzellen mit ihren Rezeptoren. Die Bündel der Axone dieser Nervenzellen bezeichnet man als Fila olfactoria. Diese ziehen

als Nervus olfactorius zur Schädelbasis, wo sich der Bulbus olfactorius befindet. Im Bulbus olfactorius werden die Reize auf ein zweites Neuron verschaltet und gelangen als Tractus olfactorius an die Basis des Frontallappens, wo sich auch der präpiriforme Kortex befindet, der als primäre Riechrinde im engeren Sinne bezeichnet wird (Trepel, 2004).

In seinem Verlauf teilt sich der Tractus olfactorius in eine Stria olfactoria lateralis, medialis und intermedialis. Die Stria medialis führt zur Septumregion, die Stria olfactoria intermedialis endet am Tuberculum olfactorium. Die Stria olfactoria lateralis projiziert in den Temporallappen, wo sich primärer und sekundäre olfaktorische Kortex befinden. Genauer handelt es sich dabei um Projektionen auf den piriformen Kortex, der sich ebenfalls an der Basis des Frontallappens befindet und auf den enterorhinalen Kortex, welcher sich dorsal im Temporallappen anschließt. Außerdem gelangen Impulse über die Stria olfactoria lateralis zum Nucleus olfactorius anterior, zum Tuberculum olfactorium anterior, zu Teilen der Amygdala. Die genannten sekundären Areale haben untereinander Verbindungen. Gleichzeitig projizieren sie in unterschiedlichem Maße zum Thalamus und den Hypothalamus, den Cortex orbitofrontalis, den Hippocampus, auf die Inselrinde und zum Gyrus cinguli (Trepel, 2004).

Impulse, die über den Thalamus den orbitofrontalen Neokortex erreichen, können auf diese Weise erkannt und interpretiert werden. Durch diesen lateralen Anteil der Stria olfactoria gelangen Gerüche also in unser Bewusstsein. Es gibt im olfaktorischen System aber auch Bahnen, die ohne Umschaltung im Thalamus, ins limbische System und in die Großhirnrinde gelangen. Das bedeutet, dass Geruchsreize auch ohne die bewusste Wahrnehmung verarbeitet werden können, was im Gegensatz zur Verarbeitung anderer sensorischer Qualitäten steht (Albrecht und Wiesmann, 2006).

Verbindungen zur Amygdala, die ein Teil des Limbischen Systems ist, spielen eine wichtige Rolle im emotionalen Erleben. Projektionen zu Amygdala, Hypothalamus und präpiriformem Kortex tragen entscheidend zum menschlichen Verhalten bei (Lorig, 1989). Außerdem kommt es durch die komplexe Verschaltung zu den verschiedenen genannten Arealen zur Integration von Gerüchen mit Impulsen, die aus anderen Hirnregionen kommen, wobei für diesen Prozess vor allem das Tuberculum olfactorium bedeutsam ist.

Eine Möglichkeit die Reaktionen im Gehirn auf Gerüche zu untersuchen, ist die Messung des Blutflusses mit Hilfe des PET (Positronen-Emissions-Tomographie), der bei erhöhter Aktivierung in umschriebenen Gebieten ansteigt. In einer Studie von Royet et al. (2001), in der Gerüche nach Erkennen, Intensität, Annehmlichkeit, Geläufigkeit und ob es sich um etwas Essbares handelt, beurteilt wurden, zeigte sich in der PET-Untersuchung deutlich hohe

Aktivität im orbitofrontalen Kortex (OFK). Am wenigsten Aktivitätsanstieg gab es dagegen bei der reinen Erkennung des Duftes. Insbesondere wenn sich ein Geruch als vertraut erwies, stieg der Blutfluss in diesem Bereich an. Vor allem erhöhte sich der Blutfluss im linken orbitofrontalen Kortex, wenn das Urteil „angenehm“ oder „bekannt“ gefällt wurde. Es scheint also zu einer bestimmten Lateralisierung zu kommen, je nach dem, ob die Aktivität bei einer Beurteilung eher mit kognitiven oder mit emotionalen Prozessen in Verbindung steht. In diesem Zusammenhang ist der linke OFK vor allem dann aktiv, wenn es sich um eine hedonistische Bewertung handelt. Hier wird deutlich, dass bei der Geruchsverarbeitung ein komplexes Netzwerk an Verbindungen im Gehirn einbezogen wird, dessen Muster neben der Art des Stimulus selbst, auch von bestimmten Aufgabenstellungen abhängig ist.

Entscheidend bei der Wahrnehmung von Gerüchen ist deren hedonistische Dimension, also eine primäre Reaktion im Sinne von Mögen oder Nicht-Mögen (Owen und Patterson, 2002). Dies gilt auch für die Reaktion auf Gerüche, welche gar nicht bewusst werden. Kommt es zu Empfindung von Gerüchen mit positiver Valenz, zeigt sich vornehmlich eine Aktivierung der linken frontalen Hirnrinde. Dagegen scheinen negativ bewertete Gerüche eher den rechten frontalen Bereich des Kortex zu aktivieren. Dies verdeutlichen EEG-Untersuchungen, in denen zum einen angenehme und unangenehme Gerüche dargeboten (Kline et al, 2000) und zum anderen affektive Wortreize bewertet wurden (Sutton und Davidson, 2000). Im Vergleich hierzu wurde in fMRI-Experimenten eine Aktivitätszunahme im medialen Bereich des rostralen OFK durch die Darbietung angenehmer Düfte gefunden, dagegen in lateralen Anteilen des OFK durch Wahrnehmung unangenehmer Gerüche (Rolls et al., 2003). Durch Aktivitätsmessungen an Nervenzellen des OFK von Primaten, denen Gerüche bis zur Sättigung dargeboten wurden, zeigte sich, dass der Genuss, der durch den Geruch eines Nahrungsmittels ausgelöst wird, mindestens ein Teil dessen ist, was repräsentiert wird (Rolls, 2005).

Die Bewertung eines Geruches ist nicht allein von entsprechenden Erfahrungen abhängig, vielmehr kann der gleiche Geruchsreiz durch den verbalen Kontext auf hedonistischer Ebene eine entgegengesetzte Wahrnehmung hervorrufen, was als Geruchsillusion bezeichnet wird (Herz und von Clef, 2001). Durch diese so genannte Sinnestäuschung wird klar, wie die Verarbeitung von Geruchsreizen neben dem Riechstoff selbst von weiteren Faktoren abhängig sein muss. Verdeutlicht wird dies noch durch die Tatsache, dass es einen Einfluss auf den Genuss und die Verarbeitung eines Geruches durch kognitive Faktoren gibt, beispielsweise durch den Namen eines Labels, oder durch die Beschreibung des Geruches (Rolls, 2005).

## 1.4.2 Geschmackswahrnehmung

Um einen süßen, sauren, salzigen, bitteren oder „umami“ Geschmack wahrzunehmen, muss ein Stoff mit bestimmter chemischer Zusammensetzung auf die Geschmackspapillen der Zunge gelangen. Jede dieser Papillen besteht aus mehreren Geschmacksknospen, die sich unter anderem aus verschiedenen Geschmackssinneszellen zusammensetzen. Die Sinneszellen besitzen Rezeptoren, welche chemisch (beispielsweise durch NaCl) gereizt werden können. Kommt es zum Auftreffen eines Stimulus auf Geschmackssinneszellen des vorderen Anteils der Zunge, so leitet die Chorda tympani des Nervus facialis die Impulse weiter zum Nucleus tractus solitarii (NTS). Von den hinteren Teilen der Zunge gelangen Geschmacksimpulse über den Nervus glossopharyngeus zum NTS (Trepel, 2004). Vom NTS aus werden die Geschmackserregungen weiter zum Thalamus geleitet, von wo aus sie in den primären Geschmackskortex gelangen (Rolls, 2005). Die primäre Geschmacksrinde erstreckt sich über den frontalen Teil des Operculums und die angrenzende anteriore Inselrinde (Ogawa et al., 2005; O'Doherty et al., 2000; Schoenfeld et al., 2004; Kringelbach et al., 2004). Der sekundäre Geschmackskortex liegt schließlich direkt vor dem primären im dorsolateralen Teil des OFK und bekommt Impulse durch Projektionen aus der primären Geschmacksrinde (Kringelbach et al., 2004).

In einer fMRI-Untersuchung der Geschmackswahrnehmung des Menschen zeigte sich, dass es sowohl in der primären als auch in der sekundären Geschmacksrinde Areale gibt, deren Neurone sehr spezifisch reagieren und entweder nur oder am stärksten durch einen der prototypischen Geschmacksrichtungen wie süß, sauer, salzig, bitter aktiviert werden (Schoenfeld et al., 2004). Dies sind Hinweise auf eine chemotopische Organisation der primären Geschmacksrinde. Ebenfalls zu den prototypischen Geschmacksrichtungen kann man, wie bereits erwähnt, „umami“ zählen, was beispielsweise durch Glutamat empfunden wird. Auch für diese Geschmacksrichtung hat man im fMRI umschriebene Areale im primären Geschmackskortex des Menschen gefunden, die bei Reizung spezifisch aktiviert werden (Schoenfeld et al., 2004). Es gibt weiterhin Neurone in der Geschmacksrinde, die auf Wasser oder auf somatosensorische Reize, zum Beispiel durch Gerbsäure, Hitze oder Schärfereizstoffe reagieren (Rolls, 2005). Für die letztgenannten Empfindungen gibt es allerdings keine speziellen Geschmackssinneszellen auf der Zunge. Stattdessen werden beispielsweise Schärfereize von Schmerzrezeptoren wahrgenommen und über den Nervus trigeminus ins Gehirn weitergeleitet (Trepel, 2004). Damit gehören diese Sinnesempfindungen streng genommen nicht zum eigentlichen Geschmackssystem, spielen jedoch trotzdem eine sehr wichtige Rolle bei der Verarbeitung von Geschmack.

In der sekundären Geschmacksrinde wird wahrscheinlich der Geschmack identifiziert, sowie die Sättigung und die Vorliebe für einen Geschmack verarbeitet. Hinweise darauf lieferten Untersuchungen, in denen die Gehirndurchblutung im Zusammenhang mit der Verarbeitung gustatorischer Reize analysiert wurde (Kobayashi et al., 2004). Die Reaktion der Neurone in der sekundären Geschmacksrinde ist zum einen davon abhängig, ob ein Nahrungsmittel mit einem entsprechenden Geschmack schon bis zur Sättigung aufgenommen wurde (Rolls, 2005). Die Aktivität der Neurone in dieser Region sinkt mit zunehmender Sättigung stark ab, während Neurone, welche andere Geschmacksrichtungen repräsentieren, noch aktiv bleiben. Zum anderen korreliert die Aktivierung der Nervenzellen damit, wie angenehm oder unangenehm ein Nahrungsmittel schmeckt und ob dieses gegessen werden sollte. FMRI-Untersuchungen am Menschen zeigten, dass sich in Abhängigkeit davon, ob ein Geschmack angenehm oder unangenehm ist, unterschiedliche Regionen des orbitofrontalen Kortex aktiviert wurden (O'Doherty et al., 2000). Prinzipiell ist hervorzuheben, dass die Art eines Geschmacks und seine Intensität getrennt von der Annehmlichkeit beziehungsweise der Unannehmlichkeit repräsentiert wird, die die Geschmackswahrnehmung ausgelöst.

#### 1.4.3 Somatosensible Texturwahrnehmung

Die Beurteilung eines Geschmacks hängt immer auch mit der Textur des Stoffes zusammen, der sich im Mund befindet. Folglich ist die orale Texturwahrnehmung nur schwer unabhängig von der Geschmackswahrnehmung zu beschreiben. Beispielsweise kann die wahrgenommene Viskosität von Lösungen durch erhöhte Anteile von Zucker, Zitronensäure und Natriumchlorid verändert werden. Gleichzeitig nehmen Geschmack und Aromaintensität mit steigender Viskosität einer Lösung ab (Christensen, 1980b). Trotzdem soll an dieser Stelle versucht werden, die Texturwahrnehmung möglichst isoliert zu betrachten.

Es können bezüglich der Textur von sich im Mund befindlichen Stoffen die Viskosität, die Fetttextur sowie die Rauheit unterschieden werden (Kadohisa et al., 2005; Rolls, 2005). Durch den Kontakt mit einer entsprechenden Textur, scheint es zum einen die ausgelöste Berührungsempfindung selbst und zum anderen direkte Einflüsse auf die Geschmackswahrnehmung zu geben. Die Berührungsempfindung, also die somatosensible Wahrnehmung, wird im vorderen Teil der Zunge, an den Zähnen und dem die Zähne umgebenden Zahnfleisch von den sensiblen Fasern der Nervus trigeminus registriert. Handelt es sich um grobe Berührungen oder gar Schmerz, so werden diese Impulse im Nucleus spinalis nervi trigemini im Hirnstamm umgeschaltet und über den Tractus spinothalamicus



zum Thalamus und von dort zur somatosensiblen Großhirnrinde, dem Gyrus postzentralis, fortgeleitet. Feinere Berührungsimpulse werden von den Fasern der Nervus trigeminus und denen des Nervus glossopharyngeus im Nucleus principalis nervi trigemini umgeschaltet, welcher sich ebenfalls im Hirnstamm befindet. Von hier gelangen die Erregungen über den Lemniscus trigeminalis als Teil des Lemniscus medialis ebenfalls zum Thalamus und von dort zum sensiblen Gyrus postzentralis (Trepel, 2004).

In der somatosensiblen Großhirnrinde befinden sich Neurone für Schmerz rostral (Brodmann-Areal 3b), dahinter sind die nicht-schmerzhaften Berührungen der Haut lokalisiert (Brodmann-Areal 1). Der somatosensible Kortex weist eine somatotopische Gliederung auf, wobei sich die Repräsentationsgebiete für Lippe, Zähne, Zahnfleisch und Zunge in räumlich absteigender Reihenfolge entsprechend des Homunculus nach Penfield et al. (1950) weiter laterokaudal befinden. Die sekundäre somatosensible Rinde schließt sich am basalen Ende des Gyrus postzentralis an und erhält seine Afferenzen aus dem primären sensorischen Kortex (Trepel, 2004).

Außer in der somatosensiblen Großhirnrinde gibt es jedoch auch in der primären Geschmacksrinde im frontalen Operculum und der anterioren Inselrinde Nervenzellen, welche auf die Textur oraler Stimuli reagieren. Dies konnte in einer invasiven Untersuchung der Nervenzellen in diesem Hirnbereich an Makaken gezeigt werden (Verhagen et al., 2004). Hier fanden sich unimodal auf Viskosität reagierende Neurone im anterioren Teil des Inselkortex. Eine kleinere Zahl ebenfalls unimodal reagierender Nervenzellen zeigte erhöhte Aktivität bei der Verarbeitung von Fetttextur oder bei Reizen, die durch die Wahrnehmung einer rauen Oberflächentextur auslöst wurden. Andere Nervenzellen in dieser Region reagierten dagegen bei einer bestimmten Kombination von Geschmack, Temperatur und den verschiedenen Texturen. Weiterhin ist zu erwähnen, dass sich die unterschiedlichen unimodalen Nervenzellen räumlich deutlich voneinander abgrenzen ließen. Die Lokalisation der Neurone, die auf verschiedenen Viskositäten und der Fette reagieren, unterscheiden sich also von einander. Die Aktivierung der Insel und des frontalen Operculums durch Texturstimuli und taktile Reize wurde auch durch Messung der Oxygenierung verschiedener Gehirnbereiche während der Geschmackswahrnehmung und -vorstellung gefunden (Kobayashi et al., 2004). Weitere Hinweise hierfür zeigten sich in Untersuchungen an einzelnen Nervenzellen des Geschmackskortex von Makaken während der Kieferbewegung (Scott und Plata-Salamán, 1999).

All die Felder, die hier beschrieben wurden, befinden sich im primären Geschmackskortex, welcher seine Impulse aus dem Thalamus erhält (siehe Abschnitt 1.4.2).

Es muss weiterhin in Betracht gezogen werden, dass es auch kortikokortikale Verbindungen aus der für die Repräsentation von Zunge, Zähnen und Gaumen zuständigen somatosensorischen Rinde zu anteriorer Inselrinde und frontalem Operculum gibt (Verhagen et al., 2004). Auf diese Weise können somatosensorische Reize mit Geschmack und Aromen in Wechselwirkungen treten und deren Wahrnehmung modulieren (Weel et al., 2002). Es gibt also Hinweise, dass diese Verschaltung und kombinierte Verarbeitung durch kortikokortikale Verbindungen im primären Geschmackskortex, das heißt schon auf einer sehr frühen Prozessebene stattfinden könnte. Solche Assoziationen sind ähnlich wie bei Geruchs-Geschmacksassoziationen wahrscheinlich erlernt und durch Erfahrungen gefestigt (Rolls, 2004, Stevenson und Prescott, 1995).

#### 1.4.4 Visuelle Wahrnehmung

Die visuelle Wahrnehmung beginnt mit der Erregung des ersten Neurons der Sehbahn, der Sinneszellen in der Retina. In der Retina unterscheidet man Stäbchen für das skotopische Sehen und Zapfen für das photopische Sehen. Über so genannte bipolare Zellen gelangen die visuellen Erregungen zum dritten Neuron, den Ganglienzellen. Die Axone dieser Ganglienzellen bilden in ihrer Gesamtheit den Sehnerv (N. opticus). Der Sehnerv gelangt aus der Orbita in die Schädelhöhle und vereinigt sich über der Hypophyse mit dem Sehnerv der Gegenseite im Chiasma opticum. An dieser Stelle kreuzen jeweils die Fasern der nasalen Netzhautanteile auf die Gegenseite. Im sich anschließenden Tractus opticus ziehen die Fasern aus dem temporalen Teil der ipsilateralen Netzhaut zusammen mit den Fasern des nasalen Teils der kontralateralen Netzhaut zum Corpus geniculatum laterale des Thalamus. Von hier werden die Erregungen über die Gratiolet-Sehstrahlung in den Okzipitallappen zur primären Sehrinde (Brodmann-Areal 17) geleitet (Trepel, 2004).

In der primären Sehrinde, die sich über den Okzipitalpol erstreckt, werden visuelle Eindrücke bewusst, ohne jedoch schon zugeordnet und interpretiert zu werden. Es findet sich an dieser Stelle eine retinotopische Gliederung. Das bedeutet, dass jedem Teil der Netzhaut ein bestimmtes Areal im visuellen Kortex zugeordnet ist. Die Fovea, der Ort des schärfsten Sehens in der Retina, ist mit einer Fläche von vier Fünftel der primären Sehrinde am stärksten vertreten.

Der primäre visuelle Kortex hat Efferenzen zur sekundären Rinde des visuellen Systems, zu welcher die Areale 18 und 19 nach Brodmann gehören und die die primäre Sehrinde umrandet. Aber auch Areale, welche sich bis in den Temporal- und den Parietallappen

erstrecken, sind an der sekundären und an der tertiären Verarbeitung von visuellen Eindrücken beteiligt. In den sekundären Rindenarealen des visuellen Systems finden ein erkennendes Zuordnen und eine sinnvolle Weitergabe visueller Information statt. Weitere integrative Funktionen werden von tertiären Arealen übernommen, die beispielsweise spezifisch für die Erkennung von Gesichtern oder die Orientierung im Raum zuständig sind.

Von der beschriebenen sekundären Sehrinde aus gibt es zahlreiche Verbindungen in andere Gehirnregionen. Beispielsweise ziehen Efferenzen in das im Gyrus angularis gelegene Sprachzentrum, das für das Lesen von Worten bedeutsam ist. Auch zum Frontallappen gibt es Verbindungen in das so genannte frontale Augenfeld, welches an der Korrektur von Blickbewegungen beteiligt ist. Im orbitofrontalen Kortex finden sich zum Teil Nervenzellen, die unimodal auf visuelle Reize reagieren. Zusätzlich gibt es in diesem Bereich auch Neurone, welche erst bei einer Kombination von Geruch und visuellem Eindruck reagieren (Rolls, 2005).

Bei der Darstellung von visuell evozierten Potentialen findet man typischerweise die so genannte P100-Komponente, die nach der Darbietung eines visuellen Reizes mit einer Latenzzeit von etwa 100 ms auftritt. Diese Komponente entsteht bei zentraler Stimulation der Retina auf beiden Hemisphären mit ähnlicher Amplitude. Wird allerdings die linke Hälfte der Retina gereizt, so kommt es zu einer größeren Amplitude über der rechten Hemisphäre und bei Stimulation der rechten Retinahälfte zur größeren Amplitude der P100-Welle über der linken Hemisphäre. Dieser vom anatomischen Aufbau der Sehbahn her unerwartete Befund wird als „Paradoxe Lateralisation“ visuell evozierter Hirnaktivität bezeichnet (Skrandies, 2005) und weist auf Einschränkungen der direkten Übertragbarkeit von Lokalisation des Elektrodenpotentials auf die Lokalisation des Ursprungspotentials hin, wobei eine sinnvolle Interpretation trotzdem möglich ist. Dafür muss jedoch die anatomische Ausrichtung der Kortexneurone berücksichtigt werden. Denn obwohl eine größere elektrische Aktivität in den Sehrindengebieten der linken Hemisphäre statt findet, in die die Impulse der linken Retinahälfte geleitet werden, ergibt sich durch die Ausrichtung der linksseitigen Kortexneurone in Richtung der rechten Rindengebiete gerade dort ein deutlich positives Potential und über den Arealen, in denen die Aktivität tatsächlich stattfindet, ein negatives.

Der Zusammenhang zwischen der Verarbeitung visueller Information und anderen Sinneswahrnehmungen wird in einer Studie über Geruchsbewertung deutlich (Royet et al., 2001). Gerade wenn Geruchsstimuli als essbar oder lustvoll bewertet wurden, konnte ein Aktivitätsanstieg im Sinne eines erhöhten Blutflusses in Bereichen der primären Sehrinde und eventuell auch in der sekundären Sehrinde gefunden werden. Es scheint sich hierbei also um

neuronalen Kreisläufe zu handeln, welche eine Verbindung zwischen dem Riechen, dem Sehen und emotionalen Prozessen herstellen. Das visuelle System ist wahrscheinlich an der Bedeutungsverarbeitung von olfaktorischen Reizen beteiligt. Möglicherweise geschieht dies, in dem es zu einer visuellen Vorstellung kommt, die dann wiederum den Zusammenhang zu Essbarem herstellen könnte.

#### 1.4.5 Multisensorische Verarbeitung

Wenige Kortexareale sind tatsächlich unimodal. Vielmehr scheint es sinnvoll, Kortexareale statt durch eine dominante Modalität eher durch den relativen Anteil der verschiedenen Arten von neuronalen Eingängen zu charakterisieren (Kaas und Collins, 2004). Bestimmte erfahrungsbedingte, emotionale und affektive „Mitbedeutungen“, die von unterschiedlichen Sinnesreizen ausgelöst werden können, spielen möglicherweise für deren weitere Verarbeitung eine wichtigere Rolle als die Herkunft der Impulse aus den einzelnen Sinnesorganen. Neurone, die zu primären sensorischen Kortexarealen führen und meist unimodal sind, werden häufig durch andere sensorische Impulse beeinträchtigt. Dies betrifft also schon sehr frühe Verarbeitungsstufen (Kaas und Collins, 2004). Beispielsweise gibt es schon nach 40 ms Interaktionen zwischen visuell evozierten Potentialen und durch auditorische Stimuli ausgelöste Erregungen (Giard und Peronnet, 1999). Nach welchem Muster diese sehr frühen Interaktionen ablaufen, ist jedoch weitgehend offen. Farben, Textur, Klängen, irritativen Reizen und Temperatur konnte eindeutig ein Einfluss auf die Aromaempfindung nachgewiesen werden. Dies geschieht ungeachtet ob die Interaktionen auf der Wahrnehmungsebene oder auf physikalischer Ebene stattfindet (Delwiche, 2004). Hinweise für eine enge Verbindung von Geruch und Geschmack mit bestimmten Farben oder Lebensmitteln gab auch eine Untersuchung von Skrandies und Reuther (2008), in der entschieden werden sollte, ob Geruch oder Farbe zu bestimmten Lebensmitteln beziehungsweise zu bestimmten Farben passten. Passende und nicht passende Reizpaare dienten dann als Stimulusmaterial für die Auslösung evozierter Potentiale. Es wurde eine konsistente Assoziation von Worten des Geruchs und Geschmacks mit Lebensmittelworten und Farben festgestellt. Ob bestimmte Sinnesempfindungen zusammen passten oder nicht, zeigte sich in sehr frühen Unterschieden der evozierten Potentiale bereits um 100 ms. Auch diese Ergebnisse legen eine multisensorische Interaktion zu einem sehr frühen Zeitpunkt der Verarbeitung nahe.

## 1.5 Der orbitofrontale Kortex

Für multisensorische Prozesse scheint vor allem der orbitofrontale Kortex (OFK) eine wichtige Rolle zu spielen. Insbesondere zeichnet sich der OFK dadurch aus, dass in diesem Bereich des Gehirns eine Konvergenz von Erregungen verschiedener Sinne wie Geruch, Geschmack, Wahrnehmung von Fetten und Viskosität stattfindet (Kadohisa et al., 2005; Rolls, 2004; 2010; De Araujo et al., 2003). Der OFK beinhaltet die sekundäre Geschmacksrinde, sowie die sekundäre und tertiäre Riechrinde, wie in den vorangegangenen Abschnitten erläutert wurde. Außerdem gelangen Informationen über das „Mundgefühl“ in den OFK. So hat er somatosensorische Eingänge durch Nervenzellen, die auf Viskosität der Nahrung, die Textur, beispielsweise die Fetttextur, und auf die Temperatur reagieren (Rolls, 2004). Von den visuellen Arealen des Temporallappens erreichen ihn Informationen über das Aussehen des Objekts. Vor allem der dorsolaterale Teil des präfrontalen Kortex wird neben Geschmackserregungen zusätzlich durch olfaktorische Reize aktiviert und auch das Aussehen des Nahrungsmittels führt zu Aktivität in diesem Bereich (Kringelbach et al., 2004, Small et al., 1997).

Die verschiedenen Modalitäten werden zwar zum einen getrennt voneinander durch verschiedene Neurone repräsentiert, jedoch kommt es außerdem zur Konvergenz bestimmter Modalitäten (Kadohisa et al., 2005; Small et al., 1997). Dies führt dazu, dass Zellen gefunden werden konnten, die beispielsweise bimodal auf Geruch und Geschmack reagieren, wie Untersuchungen an Makaken gezeigt haben (Rolls und Baylis, 1994). Assoziatives Lernen zwischen visuellen, olfaktorischen Eingängen und Geschmackseingängen ist dabei ein möglicher Mechanismus, der zu einer derartigen Verschaltung führt (Rolls, 2004). Sogar der dorsolaterale präfrontale Kortex, die sekundäre Geschmacksrinde, erhält Informationen über den Geruch, sowie das Aussehen des entsprechenden Reizes (Kringelbach et al., 2004; Rolls, 1999).

Eine solche Art der konvergenten Verschaltung von Erregungen, denen unterschiedliche Sinnesmodalitäten zu Grunde liegen, erklärt, dass die Genussbewertung von Sucrose-Geschmack in Kombination mit Erdbeerduft signifikant höhere Werte erreichte als der Genuss von Geruch und Geschmack jeweils für sich genommen (De Araujo et al., 2003). Außerdem wurde gefunden, dass Gerüche entsprechend einer „Geruch-Geschmack“- sowie einer „Visuell-Geschmack“-Diskrimination im OFK kategorisiert werden (Rolls, 2005).

Untersuchungen an Nervenzellen von Makaken zeigten, dass in der dem OFK vorgeschalteten Amygdala 52% der untersuchten Zellen unimodal auf Geschmack, Temperatur, Viskosität und Fetttextur reagierten. 23% der Neurone waren bimodal und 16%

multimodal erregbar (44 Nervenzellen entsprechen 100%). Im OFK scheinen 30 % der Zellen bimodal und 28% multimodal zu sein. Dagegen nur etwa 30% unimodal (53 Nervenzellen entsprechen 100%) (Kadohisa et al., 2005). Dieses Ergebnis spricht für eine Konvergenz der Impulse verschiedener Modalitäten im OFK. Multimodale Zellen zeichnen sich durch Eingänge verschiedener unimodal entstandener Erregungen aus. Solche Neurone konnten vor allem in Grenzgebieten zwischen Arealen, in denen vornehmlich die Verarbeitung einer Modalität stattfindet, gefunden werden (Meredith, 2004). Dabei scheint es neben rein erregenden Eingängen verschiedener Modalitäten auch die Kombination von erregenden und hemmenden Impulsen jeweils verschiedener Sinneseindrücke, im Sinne einer funktionellen Konvergenz, zu geben.

Es zeigt sich, dass einige Stoffe, die als reine Geruchs- oder Geschmacksstoffe gesehen werden, wie beispielsweise Speisesalz (NaCl), zusätzlich auch irritierend wirken können. Dies bedeutet, dass sie den Nervus trigeminus mitreizen (Delwiche, 2004). Auf diese Weise wird die Verarbeitung und Wahrnehmung des entsprechenden Geruchs- oder Geschmacksreizes beeinflusst, vor allem, wenn es sich dabei um höhere Konzentrationen des angebotenen Stoffes handelt. Die Irritation kann hemmend auf die Wahrnehmung von Gerüchen wirken und umgekehrt. So ist es möglich, dass Geruchsstoffe wiederum die trigeminal übermittelte Irritation hemmen (Delwiche, 2004, Green und Lawless, 1991).

Hinweise für die integrierte Verarbeitung von Geruch und Geschmack gibt ferner die Tatsache, dass ein Geruchseindruck alleine schon ausreicht, um eine Aromaempfindung hervorzurufen, falls es durch Erfahrung schon zu einer neuronalen Geruchs-Geschmacks-Assoziation gekommen ist. Außerdem können für sich genommen unterschwellige Reize des Geruchs oder des Geschmacks in Kombination schließlich überschwellig sein und bewusst werden. Allerdings müssen diese Kombinationen wahrscheinlich ebenfalls durch Erfahrung entstanden sein (Delwiche, 2004; De Araujo, 2003). Der Begriff Aroma meint in diesem Zusammenhang gerade die kombinierte Wahrnehmung von Geruch und Geschmack und meist auch noch das Hinzukommen eines trigeminalen, also eines somatosensorischen Sinneseindrucks (ISO 5492, 1992).

Die Verarbeitung visueller Information spielt im OFK ebenfalls eine große Rolle. Der OFK ist sozusagen eine Schnittstelle zwischen dem Visuellen System und anderen sensorischen Systemen (Rolls, 2004). Die Farbwahrnehmung zeigt einen ausgeprägten Einfluss auf die Identifikation von Nahrungsmitteln. Bestimmte Aromen sind fest mit einer bestimmten Farbe verbunden. Wenn eine Farbe künstlich geändert wird, so ist die Erkennung des Aromas erschwert (Delwiche, 2004). Auch die konsistente Beurteilung von bestimmten

Kombinationen von Farbe und Geruch, Geschmack oder Lebensmittel (Skrandies und Reuther, 2008) gibt Hinweise auf die enge Verbindung der Verarbeitung von Aroma und Farbe. Außerdem scheint die Farbe einen Einfluss auf die wahrgenommene Intensität eines Geruchs oder eines Geschmacks zu haben. Dies lässt ebenfalls den Schluss auf eine zentralnervöse Integration der Sinne zu. Gerade das Zusammenkommen von geschmacklichen und visuellen Pfaden scheint grundlegend für das assoziative Lernen zu sein (Rolls, 1996). In diesem Sinne ist der OFK für Identifikation von Nahrungsmitteln von großer Bedeutung. Die alleinige Information über einen Geschmacksreiz reicht nicht aus, um ein Nahrungsmittel zu erkennen (Kobayashi et al., 2004), vielmehr ist die Konvergenz von Geruch, Geschmack und visuellem Eindruck notwendig.

Neben Teilen des OFK und der Amygdala können auch Teile der Inselrinde und des anterioren Teils des Cingulums sowohl durch Geruch als auch durch Geschmack aktiviert werden, wie durch eine fMRI-Studie gezeigt wurde (DeAraujo et al., 2003) und wie im Abschnitt 1.4.3 bereits angedeutet. Hier gibt es zum einen unimodale Nervenzellen, die auf Geschmacks- und Geruchsreize, sowie auf visuelle Eindrücke reagieren und sich vornehmlich im agranulären (anterioren) Teil der Inselrinde befinden. Außerdem wurde deutlich, dass es im anterioren Teil des Operculums ein unimodales Geschmacksgebiet gibt, das durch Geruchsreize nicht angeregt wird. Es können hier jedoch somatosensorische Eindrücke sowie Informationen über die Temperatur einfließen. Dies legt nahe, dass diese Region für die Erkennung der Nahrungsmitteltextur wichtig ist.

## **1.6 Sinneswahrnehmung und Emotionen - Valenz und Intensität**

Die beschriebene Konvergenz in der Sinnesverarbeitung im OFK bildet die Grundlage für verschiedene reaktive Verhaltensweisen bei der Wahrnehmung einer bestimmten Kombination oraler Reize (Kadohisa, 2005). Der OFK spielt neben der Identifikation von Nahrungsmitteln und dem assoziativen Lernen ebenfalls eine grundlegende Rolle für das Empfinden von Vorliebe und Sättigung. Es konnte gezeigt werden, dass der OFK durch angenehme und unangenehme Berührungen deutlich stärker aktiviert wurde als durch neutrale (Rolls, 2010). Dieser Befund weist darauf hin, dass der OFK vor allem bei emotionalen Ereignissen und Verhalten von Bedeutung ist. Möglicherweise ist dies ein Hinweis auf potentielle Bedeutungsebenen, in welchen sich die Verarbeitung von wahrgenommenen Sinnesreizen abspielt.

Es kann prinzipiell von einer zweidimensionalen Organisation ausgegangen werden, was emotionales Verhalten betrifft. Die Bewertung von Sinneswahrnehmungen wie von Gerüchen und Geschmack ist in diesem Zusammenhang als eine Art von emotionalem Verhalten, im Sinne einer emotionalen Reaktion, zu sehen. Diese zwei Dimensionen wurden unter anderem in einer fMRI Studie untersucht (Anders et al., 2004). Die erste Dimension ist dabei die Valenz (Wertigkeit), mit der eine Wahrnehmung belegt ist und die sich von negativ zu positiv, also von angenehm zu unangenehm, erstreckt. Auf der anderen Seite ist jede Empfindung durch ein bestimmtes Niveau der Erregung, das von niedrig bis hoch variiert, gekennzeichnet.

Bei der Wahrnehmung von Gerüchen werden diese beiden Dimensionen getrennt voneinander verarbeitet (Anderson et al., 2003), was in einer früheren fMRI-Untersuchung gezeigt werden konnte. So steht die Amygdala im Zusammenhang mit der Intensität eines Geruches, Regionen des OFK dagegen mit dessen Wertigkeit, also ob dieser als angenehm oder unangenehm empfunden wird. Die Amygdala spielt bei der Verarbeitung von Lust-abhängigen Aspekten der Stimuli und deren Einfluss auf die Nahrungsaufnahme im Vergleich zum OFK eine untergeordnete Rolle.

Ähnlich wie die erhöhte Aktivität des OFK bei positiven oder negativen Berührungen, zeigt sich in einer ERP-Studie von Dolcos et al. (2002), in welcher Bilder bewertet wurden, eine Reaktion, die als „Emotion-Effekt“ bezeichnet wird. Dabei konnten für angenehme und unangenehme Reize im Verhältnis zu neutralen Reizen deutlich höhere Amplituden der ERPs gemessen werden. Dieser Effekt zeigte sich vornehmlich in parietalen und frontozentralen Elektroden. In den frontozentralen Ableitungen trat der Effekt für positiv bewertete Bilder insgesamt früher auf als für die negativ bewerteten und auch früher als die Effekte, die in den parietalen Ableitungen registriert wurden. In anderen Studien wird ein ähnlicher Effekt gefunden, der auf ein erhöhtes emotionales Erregungsniveau zurückzuführen ist. Dabei kommt es zu einer größeren P300-Welle, die bei emotional intensiven Situationen auftritt (Cuthbert et al., 2000). Dieser „arousal-effect“ wird auch als eine Reflektion der Beanspruchung motivationaler Systeme interpretiert, welche für eine vollständigere Verarbeitung eines Stimulus von Nutzen ist (Delplanque et al., 2004). Klassischerweise wird die P300-Welle bei Aufgaben gefunden, in denen die Relevanz, das Wiedererkennen und die Vorhersehbarkeit eine Rolle spielen (Sutton et al., 1965) und scheint durch emotionale Inhalte moduliert zu werden, wie die Studien von Cuthbert et al. (2000) und Delplanque et al. (2004) zeigen.



Interessanterweise zeigen die Ergebnisse von Delplanque et al. (2004) auch, dass die P100-Komponente im parieto-okzipitalen Bereich für unangenehme visuelle Reize größer ausfällt, als für angenehme. Ebenso war die P200-Welle für negativ besetzte Stimuli größer. Der emotionale Inhalt der Reize ist also offensichtlich entscheidend für die neuronale Verarbeitung. Schließlich führten unangenehme im Vergleich zu angenehmen Bildreizen vor allem in den fronto-zentralen Ableitungen zu kleineren P300b-Komponenten.

Ebenfalls in einer Studie, in welcher die emotionale Reaktion auf visuelle Reize untersucht wurde (Carretié et al., 1997), zeigte sich eine N300-Welle. Die höchste Amplitude erreichte diese Komponente in der Reaktion auf Bilder, die besonders hohe Aktivitätswerte aufwiesen. Dieser Effekt wurde vor allem bei negativen Reizen in den frontalen Ableitungen registriert. Dagegen waren die größten Ausschläge der positiven Stimuli eher in den parietalen Ableitungen zu finden.

Dem OFK wird die Verarbeitung von affektiven Reaktionen zugeschrieben. Entsprechend ihrer Valenz werden angenehme Gerüche eher im medialen Anteil und weiter frontal, unangenehme dagegen eher im lateralen Anteil etwas weiter okzipital des OFK repräsentiert (DeAraujo et al., 2003; Rolls, 2005; 2010). Aber auch die positiven und negativen affektiven Aspekte andere Sinneswahrnehmungen, wie der somatosensorischen Wahrnehmung (Rolls, 2004) werden im OFK abgebildet. Im OFK kann von einer „hedonischen Karte“ der Sinneswahrnehmungen ausgegangen werden, wobei Neurone, welche eine ähnliche hedonische Komponente repräsentieren, räumlich nahe aneinander liegen (Rolls, 2005).

Emotional bewertete Reize führten in den Modalitäten Geruchswahrnehmung und Sehen zu einem erhöhten Blutfluss im hinteren unteren Teil des OFK (Brodmann-Areal 11/47), im Temporalpol und im oberen frontalen Gyrus (Brodmann-Areal 9) in der linken Hemisphäre (Royet et al., 2001). Dieses Ergebnis lässt auf eine parallele Verarbeitung im rechten und linken Anteil des OFK schließen, wobei der relative Grad der Aktivität in einem der beiden Bereiche davon abhängt, ob es sich um eine Bewertung handelt, welche eher Erkennungsprozesse oder Emotionen involviert (Royet et al., 2001). Auch verschiedene Geschmacksstimuli führen zu einem Aktivitätsanstieg im kaudalen Bereich des OFK (De Araujo et al., 2003, Kringelbach, 2004; Small et al., 1999), wobei eben gerade dieser Region die Verarbeitung emotionaler Eindrücke zugeschrieben wird (Kringelbach und Rolls, 2003).

Die emotionale Bewertung und Einordnung ist bedeutend für die Entschlüsselung primärer Verstärker, wie es beispielsweise ein bestimmter Geschmack sein kann. Für diese Identifikation einer Sinneswahrnehmung als Belohnung oder auch Bestrafung scheint der OFK die entscheidende Rolle zu spielen (Kringelbach et al., 2004; Rolls, 2004). Hinweise

darauf gibt die Tatsache, dass die Aktivität der Geschmacksneurone im OFK durch Hunger moduliert wird, was bei den Nervenzellen in der primären Geschmacksrinde, die sich im Temporallappen befindet, nicht der Fall ist (Rolls, 2004). In diesem Zusammenhang nimmt die belohnende Eigenschaft eines Nahrungsmittels, welches bis zur Sättigung aufgenommen wurde, stetig ab (Kringelbach et al., 2004). Dies wird wiederum dadurch deutlich, dass die Aktivität der Neurone auf dieses entsprechende Nahrungsmittel relativ zu anderen Nahrungsmitteln geringer wird.

Wie im Abschnitt über Geruchswahrnehmung (1.4.1) beschrieben, spielt bei der Bewertung eines Geruches auch der verbale Zusammenhang eine Rolle. Dies scheint auch ein Ergebnis der Sinneskonvergenz und der emotionalen Bewertung im OFK zu sein und gilt auch für andere Sinneswahrnehmungen, wie die Texturwahrnehmung (Rolls, 2010). So kann der verbale Kontext oder der Zusammenhang zu einer bestimmten Marke die Wahrnehmung und entsprechende Bewertung eines Sinneseindrucks stark beeinflussen (Herz et al., 2001; Rolls, 2005). Es konnte für die Verarbeitung von Geruch, Geschmack und Aromen gezeigt werden, dass sich die kognitive Bewertung auf den affektiven Inhalt der Sinneswahrnehmung auswirkt und dieser Einfluss schon auf ganz frühen Stufen der Verarbeitung bedeutsam ist (De Araujo et al., 2005; Grabenhorst et al., 2008; Rolls, 2010). Genau wie die reine Geruchsempfindung, kann auch die Interaktion zwischen Geruch und Geschmack durch eine gegebene Instruktion beeinflusst werden (Prescott, 1999). An dieser Stelle wird die Komplexität der Verarbeitung besonders deutlich, indem hier der Zusammenhang zu verbal modulierten kognitiven Prozessen hergestellt wird.

## **1.7 Auslösen von Sinneswahrnehmungen durch Worte**

Eine wichtige Voraussetzung für die Anwendung der Methode des semantischen Differentials zur Messung von Sinneswahrnehmungen ist die Möglichkeit, Worte zur Beschreibung von Sinnesreizen verwenden zu können. Es wurde gezeigt, dass es möglich ist, durch die Imagination von Gerüchen Gehirnareale zu aktivieren, die zum großen Teil mit den Arealen kongruent sind, welche bei tatsächlicher Geruchsempfindung aktiv sind (Djordjevic, et al., 2004). Die Vorstellung von Gerüchen ist also eine sinnesspezifische Art der Vorstellung, bei der Regionen, die zum olfaktorischen System gehören, angeregt werden. Die enge Verbindung und deren Effekt zwischen Symbolen und assoziierten Gerüchen zeigte sich in einer Studie von Seo et al. (2010). Hier leitete man evozierte Potentiale ab während Gerüche mit zuvor assoziiertem Symbol, mit unpassendem Symbol und ohne Symbol

dargeboten wurden. Es zeigte sich, dass die Amplituden der abgeleiteten Potentiale bei passender Kombination von Geruch und Symbol mit einer niedrigeren Latenz und einer höheren Amplitude auftraten. Dieses Ergebnis bestärkt die Annahme, mittels Worten olfaktorische Imaginationen auslösen zu können.

Die Wahrnehmung von Geschmack und die Vorstellung von Geschmack führen unter anderem zu neuronaler Aktivität in sich deckenden Arealen (Kobayashi et al., 2004). Doch konnten hier auch Unterschiede bei der räumlichen Verteilung der Aktivität festgestellt werden: Die Inselregion der linken Gehirnhälfte war vornehmlich bei Aufgaben aktiv, in denen es darum ging, sich ein Geschmack vorzustellen. Diese Asymmetrie gab es nicht bei tatsächlichen Geschmackseindrücken aus der Peripherie. Hier werden die Inselregionen beider Hirnhälften gleichermaßen aktiviert. Gustatorische Halluzinationen, nicht jedoch die tatsächliche Wahrnehmung von Geschmack, führten zu einer Aktivierung der mittleren und oberen Gyri im frontalen Kortex. Dies kann als Hinweis auf eine absteigende neuronale Verschaltung zur Wiederherstellung von Geschmacksinformationen aus dem Langzeitgedächtnis gewertet werden, die durch die Frontalrinde vermittelt wird. Gleiches scheint auch für andere Sinnesmodalitäten zu gelten. Es bleibt zu erwähnen, dass sich bei der Geschmacksvorstellung, die durch ein gelesenes Wort hervorgerufen wurde, vor allem eine Aktivität in der Inselregion sowie im präzentralen Gyrus zeigte (Kobayashi et al., 2004).

Auch bei der Vorstellung von somatosensorischen Wahrnehmungen können ohne tatsächliche Berührungen entsprechende Verarbeitungsmuster beobachtet werden, die sich sonst bei der realen Berührungsempfindung im Gehirn zeigen (Rolls, 2010). Dabei scheint diese Aktivität von höheren Rindengebieten auszugehen, beispielsweise des parietalen Kortex, um dann wiederum Einfluss auf Areale wie den somatosensorischen Kortex zu nehmen.

## **1.8 Untersuchung von Sinnesverarbeitung mithilfe des Semantischen Differentials - Fragestellung**

In den vorangegangenen Abschnitten wird deutlich, welche Komplexität der Verarbeitung von sinnlich wahrgenommener Information zu Grunde liegt. Es deutet sich bereits an, dass konnotative Bedeutungen eine entscheidende Rolle für die Sinnesverarbeitung spielen. Gerade was die emotionalen Bedeutungsanteile von Sinnesempfindungen betrifft, lässt sich erkennen, welche Wichtigkeit diesen bei der hirnhypophysialen Verschaltung zukommt.

Wie eingangs beschrieben, ist es möglich, das Prinzip des semantischen Differentials auf die Wahrnehmung und Verarbeitung von Sinneswahrnehmungen anzuwenden, um Bedeutungsebenen zu finden. Diese Bedeutungsebenen können dazu dienen, Verarbeitungswege der Sinneswahrnehmung im Gehirn zu erklären.

In der vorliegenden Untersuchung soll durch eine Fragebogenstudie untersucht werden, ob es möglich ist, Lebensmittelworte, die mit den Sinnen Geruch, Geschmack, Textur und visuellem Eindruck assoziiert sind, mit Hilfe des semantischen Differentials konsistent zu bewerten. Durch die entsprechende Wahl der Adjektivpaare, welche sich auf die genannten Sinne beziehen, soll analysiert werden, ob es neben den klassischen drei Bedeutungsdimensionen Evaluation, Stärke und Aktivität weitere Faktoren gibt, die möglicherweise sinnesspezifisch sind und einen entscheidenden Teil der Varianz erklären können.

Die gefundenen Dimensionen sollen in einer sich anschließenden EEG-Studie untersucht werden. Lebensmittelworte dienen dabei als Reize um evozierte Potentiale auszulösen. Entscheidend bei dieser Darbietung ist es, neben der visuell evozierten Reaktion, durch die Vorstellung des Lebensmittels eine multimodal evozierte Reaktion zu erhalten. Dabei werden Lebensmittelworte dargeboten, welche in einer bestimmte Dimension besonders hohe Korrelationswerte aufweisen und gleichzeitig mit den anderen Dimensionen sehr wenig korrelieren. Während der Präsentation der Worte wird das EEG aufgezeichnet und schließlich nach verschiedenen elektrophysiologischen Gesichtspunkten analysiert.

## **2 Methoden**

### **2.1 Fragebogenstudie**

Mit Hilfe einer Fragebogenstudie sollten mögliche Faktoren gefunden werden, die Teil der affektiven Verarbeitung der Sinneseindrücke Geruch, Geschmack, Textur und visuelle Wahrnehmung sind. Der Aufbau der Fragebögen bezieht sich auf das Verfahren des Semantischen Differentials (Osgood et al., 1957). Es wurden anhand der Fragebögen 197 verschiedene Lebensmittel- und Getränkebegriffe bewerten. Diese Worte sind Stimuli im Sinne eines Konzepts des Semantischen Differentials. Zur Bewertung dienten siebenstufige Ratingskalen, an deren Enden jeweils gegensätzliche Adjektive standen (siehe Abb.2.1). Jedes der 197 Lebensmittelworte wurde anhand 17 solcher Adjektivpaare bewertet. Die Versuchspersonen waren dazu aufgefordert, entsprechend ihres Gefühls möglichst spontan zu entscheiden, welches der Adjektive eines Paares eher auf das gegebene Lebensmittel zutrafte.

So sollte beispielsweise beurteilt werden, ob Pfirsich eher schön oder hässlich empfunden wird, eher vermodert oder frisch und so fort.

Karotte						
schön						hässlich
vermodert						frisch
geräuschvoll						still
steif						elastisch
matt						glänzend
lieblich						herb
labberig						knackig
bunt						einfarbig
angenehm						Unangenehm
neblig						klar
würzig						mild
warmfarbig						kaltfarbig
freundlich						unfreundlich
glatt						rau
schwach						stark
duftend						stechend
hell						dunkel

Abb.2.1 Rating-Skalen, die im Fragebogen zur Bewertung der Lebensmittel (hier am Beispiel Karotte) verwendet wurden. Es soll dabei spontan entschieden werden, ob das in der ersten Zeile dargestellte Lebensmittel (hier Karotte) eher schön oder hässlich, eher vermodert oder frisch empfunden wird und auf der siebenstufigen Skala der entsprechende Wert angekreuzt werden.

Die zu bewertenden Lebensmittelworte sollten möglichst allgemein bekannt sein und einen eindeutigen Eindruck beim Probanden hervorrufen. Außerdem sollte die Möglichkeit gegeben sein, dass auf die Reize individuell unterschiedliche Reaktionen ausgelöst werden konnten (vgl. Osgood, 1957). Die Länge der einzelnen Worte sollte nicht zu sehr variieren damit die Erfassung der Begriffe etwa gleich lange dauert und die Reaktionen auf die Reize vergleichbar sind. Entsprechend dieser Kriterien wählten wir die 197 Wortreize aus, die im Anhang (Abschnitt 10.1) aufgelistet sind.

Um neben den klassischen Dimensionen Evaluation, Aktivität und Stärke noch weitere Faktoren zu finden, die sich speziell auf die Sinneswahrnehmung beziehen, müssen zur Bewertung der Lebensmittelworte Adjektive der entsprechenden Modalität ausgewählt werden, von denen wir erwarten, dass sie einen eigenständigen Faktor beschreiben. Meist verwendet man für jede zu erwartende Dimension drei Adjektivpaare (Osgood et al., 1957). Die Auswahl der Adjektivpaare kam zustande, indem wir gegensätzliche Adjektivpaare des Geruchs, des Geschmacks, des visuellen Eindrucks und der Textur fanden, die jeweils in möglichst passende Gruppen zusammengefasst wurden und wir schließlich ein repräsentatives Adjektivpaar auswählten. Wichtig war bei der Auswahl der Paare, dass diese die Endpunkte einer linearen Skala beschreiben. Die Skalen wurden dann in sieben Stufen unterteilt, wobei die erste und siebte Stufe jeweils einem der Adjektive zugeordnet ist. Beispielsweise gehörten die Geruchsadjektive *frisch*, *zitrus*, *luftig*, *neu* in eine Gruppe, die durch *frisch* repräsentiert

wurde und der Gruppe der Worte *alt*, *vermodert*, *muffig*, *käsigt* gegenüber stand, die das Adjektiv *vermodert* repräsentierte.

Die zu untersuchenden Lebensmittelworte wurden auf 10 unterschiedliche Fragebögen verteilt, so dass ein Fragebogen 20 verschiedene zu bewertende Lebensmittel enthielt. Die Aufteilung auf verschiedene Fragebögen wurde durchgeführt damit das Ausfüllen nicht mehr als 15 Minuten in Anspruch nimmt. Des Weiteren wurde im Fragebogen Alter, Geschlecht, Händigkeit, Studienfach/Beruf und Muttersprache der Versuchsperson registriert. Die Versuchspersonen sollten auch vermerken, ob sie Vegetarier waren, um mögliche Tendenzen in den Beurteilungen erklären zu können. Von jeder der 10 Varianten gab es 100 Exemplare, es wurden also insgesamt 1000 Fragebögen verteilt. Das Ausfüllen dauerte zwischen 10 und 15 Minuten. Es flossen nur vollständig ausgefüllte Rating-Tabellen eines jeweiligen Lebensmittels in die Auswertung mit ein. Wenn eine Versuchsperson fünf oder mehr der 20 Bewertungstabellen eines Fragebogens nicht ausgefüllt hatte, so wurde der gesamte Fragebogen dieser Versuchsperson aus der Studie herausgenommen. Es wurden schließlich 795 Fragebögen ausgewertet. Die Versuchspersonen waren hauptsächlich Studenten der Medizin und der Ökotrophologie zwischen 18 und 54 Jahren mit einem durchschnittlichen Alter von 22,2 Jahren. Insgesamt nahmen 128 Männer und 666 Frauen an der Fragebogenstudie teil, 96 Teilnehmer waren Vegetarier. Eine genaue Darstellung der Daten aller Versuchspersonen sowie Auszüge des Fragebogens sind im Anhang dargestellt (Abschnitt 10.2 und 10.3).

Die Daten der Fragebögen wurden mit Hilfe des Programms SPSS einer Hauptkomponentenanalyse mit anschließender Varimax-Rotation unterzogen. Die Zahl der Faktoren wurde durch die „Eigenwert > 1“-Regel bestimmt. Außerdem wurde eine Analyse durchgeführt, bei der die Zahl der Faktoren auf drei begrenzt wurde. Es sollten auf diese Weise Dimensionen gefunden werden, die der affektiven Bewertung der Lebensmittelworte durch die Adjektivpaare des Fragebogens zu Grunde liegen. Als Ergebnis erhalten wir die Faktoren und die Faktorenwerte für jedes einzelne Adjektiv. Das bedeutet, dass jedes Adjektiv in jedem Faktor eine bestimmte Ladung hat und so einem Faktor zugeordnet werden kann. Dies war die Basis für die Festlegung von Reizklassen. Ein Adjektiv kann bezüglich eines Faktors sehr hohe oder besonders negative Korrelationswerte aufweisen, was bei drei Faktoren zu sechs Reizklassen führt (vgl. Abb.3.1). Den durch die Adjektive festgelegten Reizklassen lassen sich die Lebensmittelworte zuordnen, wenn diese hohe Korrelationen mit einem Faktor, gleichzeitig aber eine niedrige Korrelation mit den anderen Faktoren aufwiesen.

## 2.2 EGG-Studie

Die Reizklassen dienten nun als Grundlage für die Durchführung der EEG-Studie. Dabei sollten die durch die Worte der einzelnen Klassen hervorgerufenen evozierten Potentiale analysiert werden.

### 2.2.1 Versuchspersonen

An der EEG-Studie nahmen insgesamt 43 Versuchspersonen Teil, wobei jedoch zwei Versuchspersonen wegen technischer Probleme während der Versuchsdurchführung ausgeschlossen wurden. Außerdem wurde in der Auswertung ein weiterer Proband nicht berücksichtigt, da er bei der Kontrolle mehr als 20 Worte der Liste aller präsentierten Worte nicht wieder erkannte und somit mangelnde Aufmerksamkeit während des Versuches wahrscheinlich ist. Schließlich flossen die Daten von 20 Männern und 20 Frauen in die Studie ein. Die Versuchspersonen hatten ein mittleres Alter von 23,6 Jahren und waren mit Ausnahme von drei Probanden alle Rechtshänder. Die Teilnehmer waren hauptsächlich Studenten der Medizin, Zahnmedizin und der Ökotrophologie. 19 von ihnen brauchten eine Sehhilfe, die sie während des gesamten Versuchs benutzten. Des Weiteren gaben fünf der 40 Personen an, Vegetarier zu sein. Eine genaue Auflistung befindet sich Anhang (Abschnitt 10.6).

### 2.2.2 Reize

Die EEG-Untersuchung schloss sich der Auswertung der Fragebogenuntersuchung an. So sollten durch die Fragebogenstudie mit Hilfe der Faktorenanalyse gefundenen Dimensionen in der EEG-Studie untersucht werden, indem die Reaktionen auf Worte verschiedener Dimensionen hinsichtlich möglicher Unterschiede in Latenz, Feldstärke (Global Field Power, GFP) und Lokalisation herausgefunden wurden.

Wie im Ergebnisteil eingehender erläutert, fanden wir durch die Faktorenanalyse fünf Faktoren, die der Bewertung der Lebensmittelworte durch die Adjektivpaare zu Grunde lagen. Da es für diesen Fall jedoch nicht ausreichend Lebensmittelworte gab, die eindeutig einer der Klassen zugeordnet werden konnten, reduzierten wir für die folgenden EEG-Untersuchungen die Anzahl der Faktoren von fünf auf drei und erhielten dadurch sechs Klassen. Jede dieser

Klassen steht entweder für stark positive oder stark negative Korrelationswerte einer der drei Dimensionen Evaluation E, Stärke P und Textur T (vgl. Abb. 3.1).

Die für die EEG-Studie ausgewählten Lebensmittelworte entstammten jeweils einer der sechs Klassen. Sie zeichnen sich dadurch aus, dass sie in jeweils einer Klasse einen hohen Korrelationswert aufweisen und gleichfalls in den anderen Klassen Werte mit niedrigem Betrag haben. So wurde ein Lebensmittelwort zur Präsentation in der EEG-Studie verwendet, wenn es einen Betragswert von größer 0,7 in einer Dimension hatte. Des Weiteren sollte der Abstand zum nächst kleineren Wert eines weiteren Faktors mindestens den Betrag von 0,4 haben. Wir hatten aufgrund dieser Bedingungen in der Klasse E+ 13 Lebensmittelworte aus der Fragebogenstudie zur Präsentation im EEG zur Verfügung, in der Klasse E- 12 Worte, in P+ 14 Worte, in P- 25 Worte, in T+ 7 Worte und in Klasse T- 7 Worte. Eine genaue Auflistung der verwendeten Begriffe befindet sich im Anhang (Abschnitt 10.5).

Wir untersuchten also, ob im EEG Unterschiede bei der Verarbeitung von Wahrnehmungen der sechs unterschiedlichen Klassen zu finden waren und so diese Klassen einen Teil der Verarbeitungsstruktur der komplexen Sinnesempfindung im Gehirn erklären können.

### 2.2.3 EEG-Messung und Datenerfassung

Im EEG-Experiment wurden Gehirnströme während der Darbietung von Lebensmittelworten gemessen. Die hierfür ausgewählten Lebensmittelworte entstammten jeweils einer der sechs im vorherigen Abschnitt dargestellten Klassen. Es sollen also die durch die Wahrnehmung der Worte evozierten Potentiale aufgezeichnet werden. Da ein einzelnes evoziertes Potential im spontanen EEG jedoch nicht sichtbar wäre, müssen die Reize einer Klasse mindestens 50 Mal präsentiert werden. Anschließend summiert man die aufgezeichneten Potentiale jeder Reizklasse auf, wodurch sich Hintergrundpotentiale gegenseitig aufheben und die evozierten Potentiale sichtbar werden. Damit jede Klasse gleich häufig dargeboten werden konnte, mussten sich die Worte in den einzelnen Klassen unterschiedlich oft wiederholen. Mit Hilfe des Programms Excel wurden durch Randomisieren 16 Listen mit je 75 Worten gebildet, die allen Klassen gleichermaßen entsprangen. Im gesamten EEG-Versuch wurde folglich jede Klasse mit 200 Worten präsentiert, wobei die Reihenfolge der Worte aller Reizklassen zufällig war. Die einzelnen Reizklassen wurden binär kodiert und zusammen mit dem entsprechenden EEG



aufgezeichnet, um so die evozierten Potentiale am Ende den unterschiedlichen Klassen zuordnen zu können.

Das EEG wurde mittels 29 Elektroden und einer Referenzelektrode, die durch eine Haube positioniert und befestigt waren, abgeleitet. Die Elektroden wiesen untereinander einen einheitlichen Abstand auf, der 15% des Nasion-Inion-Abstandes betrug und lagen zwischen Inion und 5% vor der frontozentralen Position (Position Fz). In der vordersten wie auch in der hintersten Reihe befanden sich drei Elektroden, in der zweiten und fünften Reihe waren fünf Elektroden angebracht und die mittleren beiden Reihen bestanden aus sieben Elektroden. Die Positionen sind in Abb.2.2 dargestellt. Die Referenzelektrode war bei 55% des Nasion-Inion-Abstandes über der Nasenwurzel positioniert.

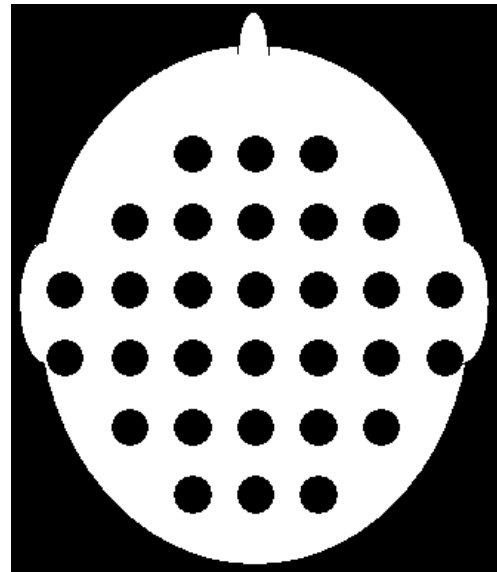


Abb. 2.2  
Anordnung der Elektrodenpositionen beim Blick von oben auf die Kopfoberfläche. Oben in der Graphik ist die Nase angedeutet, hier ist vorne. Die Elektroden haben untereinander einen einheitlichen Abstand von 15% des Nasio-Inion-Abstandes.

Für die spätere Auswertung wurden jedoch die EEG-Potentiale gegen die durch alle Elektroden gemittelte Referenz berechnet. Mithilfe zweier weiterer bipolarer Elektroden, die oberhalb und unterhalb des rechten Auges befestigt waren, konnten Augenbewegungen und Zwickern registriert werden. Somit war es möglich, durch Augenbewegung ausgelöste Störungen in den aufgezeichneten Potentialen zu erkennen und diesen Teil der evozierten Potentiale auszuschließen.

Mithilfe eines EEG-Verstärkers mit einem Bandpass zwischen 0,5 und 70 Hz (Braintronics Control 1032) wurde das EEG verstärkt und mit einer Rate von 500 Hz digitalisiert und gespeichert. Für die weiteren Analysen wurden die Daten zwischen 3 und 35 Hz digital gefiltert und mithilfe des Programms AUKAWIN Artefakte aus den Daten der evozierten Potentiale entfernt. Anschließend wurden die aufgezeichneten Potentiale der sechs Klassen entsprechend der sechs Wortkategorien gemittelt. Die Visualisierung der Potentiale wurde mithilfe des Brain Vision Analyzers (Brain Products, Germany) durchgeführt.

## 2.2.4 Versuchsdurchführung

Die Durchführung des Versuches gliederte sich in vier Teile (siehe Abb.2.3). Zunächst wurde mit jedem Proband ein Sehtest gemacht. Unmittelbar vor der eigentlichen Messung der durch die beschriebenen Reizklassen evozierten Potentiale, wurden evozierte Potentiale unter Kontrollbedingungen aufgezeichnet. Dann wurden die Wortlisten dargeboten und das zugehörige EEG aufgezeichnet. Anschließend stellten wir mit Hilfe eines einfachen Tests fest, wie viele der dargebotenen Worte der Proband erinnerte.

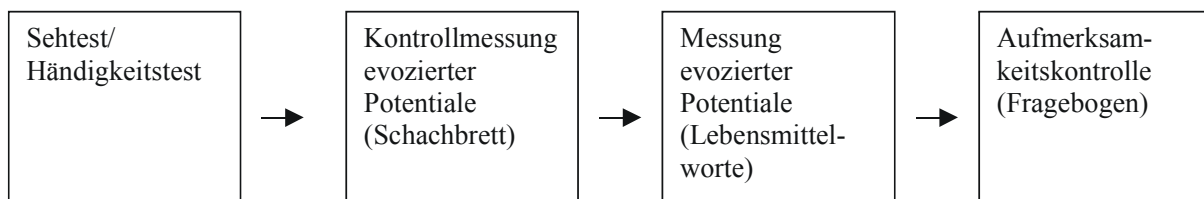


Abb. 2.3 Versuchsablauf.

### 2.2.4.1 Sehtest

Vor der EEG-Messung wurde mit jeder Versuchsperson eine Visusprüfung erst beider Augen einzeln und dann binokular durchgeführt. Zu diesem Zweck verwendeten wir Landolt-Ringe, die in einem Pola-Test präsentiert wurden. Außerdem sollte jede Versuchsperson einen Fragebogen ausfüllen, in dem wir Angaben zu Sehschärfekorrekturen, Augendominanz sowie die Händigkeit (Oldfield, 1971) und mögliche chronischen Erkrankungen erfragten.

### 2.2.4.2 Kontrollmessung/Standardisierte Messung evozierter Potentiale

Während des EEG-Experimentes saßen die Versuchspersonen in einem abgedunkelten Raum im Abstand von 1,10 m vor einem Bildschirm (Elsa Ecomo 24H96, Monitorgröße 320 x 240 mm, Auflösung 1600 x 1200 Pixel). Im Nebenraum konnten sowohl die dargebotenen Reize, als auch die registrierten Potentiale mithilfe jeweils eines PCs gesteuert und kontrolliert, beziehungsweise mit verfolgt werden.

Unmittelbar vor der Darbietung der eigentlichen Wortreize, fand eine Messung von evozierten Potentialen unter Kontrollbedingungen statt. In drei aufeinander folgenden Durchgängen wurden Schachbrettmuster im Umkehrreiz einmal im linken, einmal im rechten und schließlich im zentralen Gesichtsfeld gezeigt und die evozierten Potentiale registriert. Der Proband sah also ein Schachbrettmuster vor sich, dessen Karos abwechselnd von schwarz nach weiß wechselten einmal auf der rechten dann auf der linken Bildschirmhälfte und

schließlich auf dem gesamten Bildschirm. Die Versuchsperson sollte einen Punkt in der Mitte des Monitors fixieren und die in diesem Punkt sporadisch erscheinenden Zahlen addieren. Die Schachbrettmuster waren bei zentraler Stimulation  $20,7^\circ \times 14,7^\circ$  groß, die Größe der einzelnen Karos betrug  $37'32''$ . Bei Reizung nur eines Gesichtsfeldes blieb die Größe der einzelnen Karos gleich, jedoch erstreckte sich das Schachbrett in diesem Fall nur über  $10,35^\circ \times 14,7^\circ$ . Die mittlere Leuchtdichte betrug  $31 \text{ cd/m}^2$ . Der Kontrast lag bei 97%. Ein Kontrast-Wechsel fand alle 400 ms statt, was einer Umkehrfrequenz von 2,5 Wechsel/s entspricht.

#### *2.2.4.3 Messung evozierter Potentiale*

Schließlich wurden die Wortreize präsentiert. Die Lebensmittelworte wurden jeweils eine Sekunde (1000 ms) lang dargeboten, anschließend folgte sogleich der nächste Reiz. Dies war schon in früheren Studien die von den Probanden bevorzugte Darstellungsweise (Skrandies, 1998). 75 Worte wurden aufeinander folgend gezeigt, somit dauerte eine Messreihe 75 Sekunden. Insgesamt gab es 16 solcher Wortreihen, auf welche die 1200 Worte der insgesamt sechs Klassen zufällig verteilt waren. Zwischen den einzelnen 75 Sekunden dauernden Reihen gab es eine kleine Pause, falls die Probanden es wünschten, wurde diese auch bis zu 5 Minuten ausgeweitet. Die Worte wurden in schwarzer Schrift Typ Arial vor weißem Hintergrund in der Mitte des Bildschirms dargestellt. Die Höhe der einzelnen Buchstaben betrug im Mittel  $0,5^\circ$ . Die Worte hatten durchschnittlich 6,94 Buchstaben und waren in schwarzer Schrift auf weißem Grund geschrieben. Die mittlere Leuchtdichte des Monitors betrug  $52 \text{ cd/m}^2$ .

Die Versuchspersonen bekamen die Aufgabe sich die gelesenen Lebensmittel möglichst plastisch vorzustellen und dabei alle spontanen Sinnesassoziationen zuzulassen. Wenn eine Person ein dargebotenes Lebensmittelwort nicht kannte, so wurde dies vermerkt, und erklärt, worum es sich handelt.

#### *2.2.4.4 Kontroll-Test*

Im Anschluss an die Darbietung der Lebensmittelworte wurden den Versuchspersonen Listen mit 187 Lebensmittelworten, von denen 72 im EEG-Versuch präsentiert worden waren, vorgelegt (Kontrolltestfragebogen im Anhang 10.7). Die Probanden wurden dazu aufgefordert, die Worte zu kennzeichnen, die ihnen von der Bildschirmpräsentation in Erinnerung geblieben waren. Auf diese Weise wollten wir sichergehen, dass sich die

Versuchspersonen während der EEG-Messung tatsächlich auf die dargebotenen Worte konzentriert hatten.

### 2.2.5 Auswertung und statistische Methode

Ziel der Auswertung war die Bewertung der evozierten Potentiale nach topographischen Merkmalen, dem Vergleich der Latenzzeiten und der evozierten Potentialstärken der unterschiedlichen Klassen. Zu jedem Messpunkt wurde die Feldstärke (Global Field Power, GFP) berechnet (siehe unten) und daraus entsprechend für jede Bedingung jeder Versuchsperson eine Exceltabelle erzeugt. Ein Vergleich der entstandenen GFP-Kurven ergab 11 Zeitbereiche, so genannte Komponenten, in denen sich jeweils bei allen Probanden in jeder Klasse ein GFP-Gipfel fand. Die Zeitbereiche dienten in der weiteren Analyse der Suche nach vergleichbaren Daten über Latenz, GFP und Lokalisation der Schwerpunkte der evozierten Potentiale.

Die Latenz beschreibt die Zeit in Millisekunden von der Darbietung des Reizes bis zum Auftreten des Effektes. Der zweite Wert zur Komponentenbeschreibung ist die GFP, die die mittlere Potentialdifferenz zwischen allen Elektroden in  $\mu\text{V}$  zur entsprechenden Komponentenlatenz darstellt. Die GFP ist also eine Art integrierte Amplitude der gemessenen Potentiale und kann als räumliche Standardabweichung verstanden werden. Vier weitere Werte dienen der genauen Angabe der Lokalisation des durch die Komponente beschriebenen Effektes. Hierfür unterscheidet man zwischen positiven und negativen Ladungsschwerpunkten (Zentroiden), die zum betrachteten Zeitpunkt für jede der 40 (Anzahl der Probanden) mal sechs Klassen mit einem Wert, der die „links-rechts“-Position beschreibt (x-Wert) und einem Wert, der die „hinten-vorne“-Position (y-Wert) beschreibt, angegeben werden können. Dies führt also zu zwei mal zwei Werten je Fall. Zur Orientierung auf der Kopfoberfläche stellt man sich ein Koordinatensystem vor, das sich auf der Schädeldecke befindet. Für die vorliegende Arbeit liegt der Punkt mit  $x=0$  und  $y=0$  auf der Mittellinie am Inion. Je größer die Werte für  $y$ , desto weiter frontal des Inions befindet sich der umschriebene Ort des so genannten Zentroids. Positive  $x$ -Werte sind gleichbedeutend mit einer Lokalisation auf der rechten Hemisphäre, je negativer die  $x$ -Werte desto weiter ist der dargestellte Punkt links der Mittellinie zu finden.

Jede Komponente aller Versuchspersonen soll also mit diesen sechs beschriebenen Werten genau festgelegt sein. Diese Daten wurden schließlich mithilfe des Statistikprogramms SPSS einer Varianzanalyse mit Messwiederholung unterzogen.

## 3 Ergebnisse

### 3.1 Ergebnisse der Fragebogenstudie

Ziel war es, wie bereits in der Einleitung beschrieben, neben den bekannten Faktoren „Evaluation“, „Stärke“ und „Aktivität“ weitere Faktoren zu suchen, welche für die Verarbeitung von Sinneswahrnehmungen bedeutsam sind oder zu sehen, ob diese bekannten Faktoren auch für die Verarbeitung von Sinneseindrücken eine Rolle spielen. Mit Hilfe einer Faktorenanalyse der in den Fragebögen erfassten Daten konnten wir eine Lösung finden, welche fünf Faktoren beschreibt. Ein Adjektiv wurde zur Beschreibung eines Faktors entscheidend, wenn die Korrelation zwischen dem entsprechenden Faktor und dem Adjektiv kleiner -0,5 oder größer 0,5 war.

Der erste Faktor ist durch die Adjektive *schön, frisch, angenehm, freundlich, duftend*, sowie der entsprechenden Gegensätze gekennzeichnet und kann als Dimension „Evaluation“ bezeichnet werden. Der zweite Faktor wird durch die Adjektive *geräuschvoll, steif, knackig* und den gegensätzlichen Worten bestimmt und ist folglich als „Aktivitäts-Dimension“ zu sehen. Ein weiterer Faktor beschreibt eine Textur-Dimension, die sich durch die Adjektive *glänzend, klar, glatt* und entsprechende Gegenteile auszeichnet. Diese Dimension ist somit eine neue in der Reihe der drei klassischen Dimensionen des semantischen Differentials nach Osgood, welche die Verarbeitung von Sinneswahrnehmungen mitbestimmt. Der vierte Faktor ergibt sich aus den Worten *lieblich, mild, schwach, hell* und kann zusammen mit den zugehörigen Antonymen am ehesten als die „Stärke-Dimension“ gewertet werden. Ein letzter Faktor bezieht sich am offensichtlichsten auf eine visuelle Dimension, die auf der einen Seite durch die Adjektive *bunt, warmfarben* erklärt werden kann. Die Zuordnung der Adjektive zu den Faktoren ist im Anhang dargestellt (Abschnitt 10.4.1).

Für die EEG-Studie wurden die Zahl der Faktoren auf drei reduziert, damit sich genügend Lebensmittelworte ergaben, die in der Fragebogenstudie in einer Dimension möglichst hohe oder sehr negative Korrelationswerte aufwiesen und gleichzeitig in den anderen Dimensionen Werte nahe Null hatten (siehe Abschnitt 2.2.2).

Der erste dieser drei Faktoren zeichnet sich durch die Adjektive *schön, frisch, lieblich, angenehm, warmfarben, freundlich* und den entsprechenden Gegensätzen wie *hässlich, vermodert, herb, unangenehm, kaltfarben, unfreundlich* und *stechend* aus und wird

als Dimension Evaluation mit E bezeichnet. Es entsteht also eine Klasse E+ für den einen Teil der Adjektive und eine Klasse E- für den gegensätzlichen Teil der Adjektive in der Dimension E. Die Adjektive *geräuschvoll*, *steif*, *knackig* und *stark* und deren Antonyme *still*, *elastisch*, *labberig* und *schwach* konnten in einem weiteren Faktor gefunden werden und stellen die Dimension Potenz P dar. Es ergeben sich somit zwei weitere Klassen P+ und P-. Die dritte Dimension ergab sich durch die Kombination der Worte *glänzend*, *klar* und *glatt* gegenüber *matt*, *neblig* und *rau* wird als Dimension der Textur T beschrieben mit den sich ergebenden Klassen T+ und T-. Eine Übersicht über die Adjektive der einzelnen Faktoren befindet sich im Anhang (Abschnitt 10.4.2). Insgesamt liegen nun 6 Klassen zur Untersuchung in der EEG-Studie vor (Abb. 3.1).

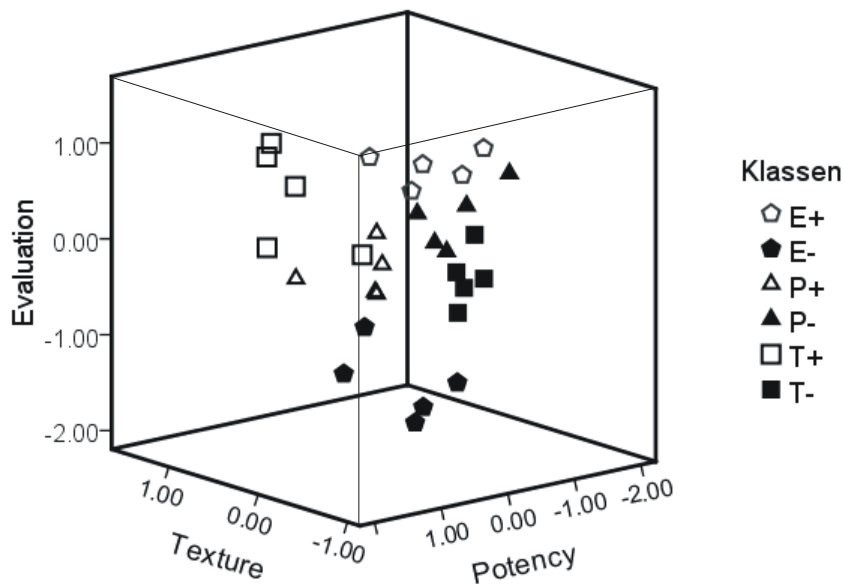


Abb.3.1

Darstellung einzelner Lebensmittelworte der verschiedenen Reizklassen im dreidimensionalen semantischen Raum. Die drei Achsen, die diesen Raum beschreiben sind Evaluation, Potency und Texture. Entlang dieser Achsen stehen extrem hohe oder extrem kleine Werte für die einzelnen Reizklassen. Worte derselben Reizklasse sind mit einem einheitlichen Symbol dargestellt, jedes Symbol steht für ein Lebensmittelwort. Es sind aus jeder Klasse exemplarisch fünf Worte ausgewählt. Beispielsweise haben Reize der Klasse T- auf der Textur-Achse besonders kleine Werte, dagegen auf den anderen Achsen Werte nahe Null und nehmen so im semantischen Raum einen bestimmten Platz ein.

### 3.2 Elektrophysiologische Daten und Potentialkarten

Die Lebensmittelworte der einzelnen Reizklassen dienten als Stimuli für die Ableitung evozierter Potentiale. Anhand der Potentiale, die an den einzelnen Elektroden gemessen wurden und indem man zwischen den Elektroden linear interpoliert, lassen sich so genannte

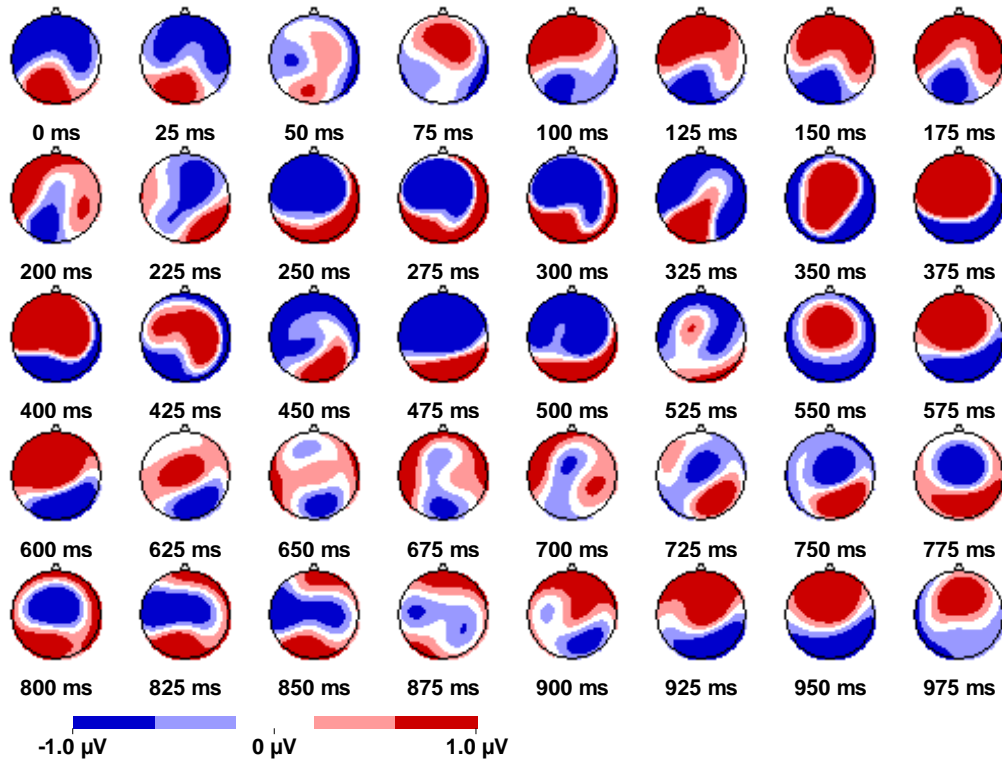
Potentialkarten erstellen. Dabei werden zu jedem beliebigen Zeitpunkt unterschiedlichen Potentialen Farben zugeordnet und so die Potentialverteilung auf der Kopfoberfläche dargestellt. Auf die gemittelte Referenz bezogene positive Bereiche werden hier mit rot abgebildet und negative mit blau (siehe Abb.3.2). Je näher sich die Potentialwerte an Null befinden, desto blasser die farbliche Wiedergabe. Der aufgeführte Bereich erstreckt sich von  $-1.0 \mu\text{V}$  bis  $+1.0 \mu\text{V}$  mit fünf Farbabstufungen. Insgesamt erhielten wir für jede Versuchsperson für alle sechs Klassen eine Reihe an Potentialkarten, die die Potentiale der ersten Sekunde nach Reizdarbietung alle 25 Millisekunden darstellten. Die Potentialkarten in der Abbildung 3.1 stammen von einer Versuchsperson und stellen beispielhaft den Verlauf der Potentialveränderungen der Klassen P- und T+ dar. Die Potentialkarten der anderen Klassen dieser Versuchsperson sind im Anhang zu sehen (Abschnitt 10.8).

Die Reihen der Potentialkarten haben über die Klassen hinweg eine relativ hohe Übereinstimmung, was die zeitliche Verteilung der Potentiale betrifft. Zwischen 100 und 200 ms findet sich bei allen eine deutliche frontale bis rechts-frontale Verteilung der positiven Potentialwerte. Ausnahmen bilden hier nur die Klassen E+ und T+, bei denen dieser Effekt nicht sehr stark ausgeprägt ist, sich eher links-frontal findet und auch nicht so lange anhält. In der anschließenden Phase liegen die positiven Werte vor allem am okzipital-rechten Rand und die restliche Oberfläche wird weitgehend gleichmäßig von negativen Potentialen dominiert. Nach dieser Phase stellt sich ab circa 350 ms eine eindeutige Verlagerung der positiven Werte nach frontal bis leicht links-frontal ein, wobei sie sich bis über den zentralen Teil der Kopfoberfläche ausbreitet. Diese ausgeprägte Verteilung, die bei allen Klassen zu finden ist, hält bis um 425 ms an. Von ungefähr 450 ms bis 525 ms sind in allen Klassen die positiven Ladungen am okzipitalen Teil der Kopfoberfläche zu sehen, die sich in den folgenden 100 ms wieder im frontalen bis zentralen Bereich befinden. Anschließend entsprechen sich die Verteilungen der Potentiale über die Klassen hinweg nicht so sehr, man kann jedoch sagen, dass die positiven Potentiale links und rechts-okzipital eine Art Randsaum bilden, der sich um 750 ms zu Gunsten der okzipitalen Verteilung ändert. Ab 875/900 ms finden wir von okzipital bis zentral vor allem die negativen Potentiale und im frontalen Bereich ganz deutlich ausgeprägt die positiven Ladungsschwerpunkte.

Es wird augenfällig, dass die Verteilung der Potentiale phasenweise erstaunlich konstant bleibt und sich dann relativ sprunghaft über einen sehr kurzen Zeitbereich ändert, um dann wieder für eine längere Zeit recht beständig zu bleiben. Diese Art der zeitlichen Veränderung kann als „jump-type-change“ (Lehmann und Skrandies, 1984) bezeichnet werden. Die phasenweise sehr stabile Topographie mit hohen GFP-Werten entspricht der

durch die einzelnen Komponenten der Verarbeitung ausgelösten Hirnaktivität, die im Folgenden näher erläutert wird.

**A**



**B**

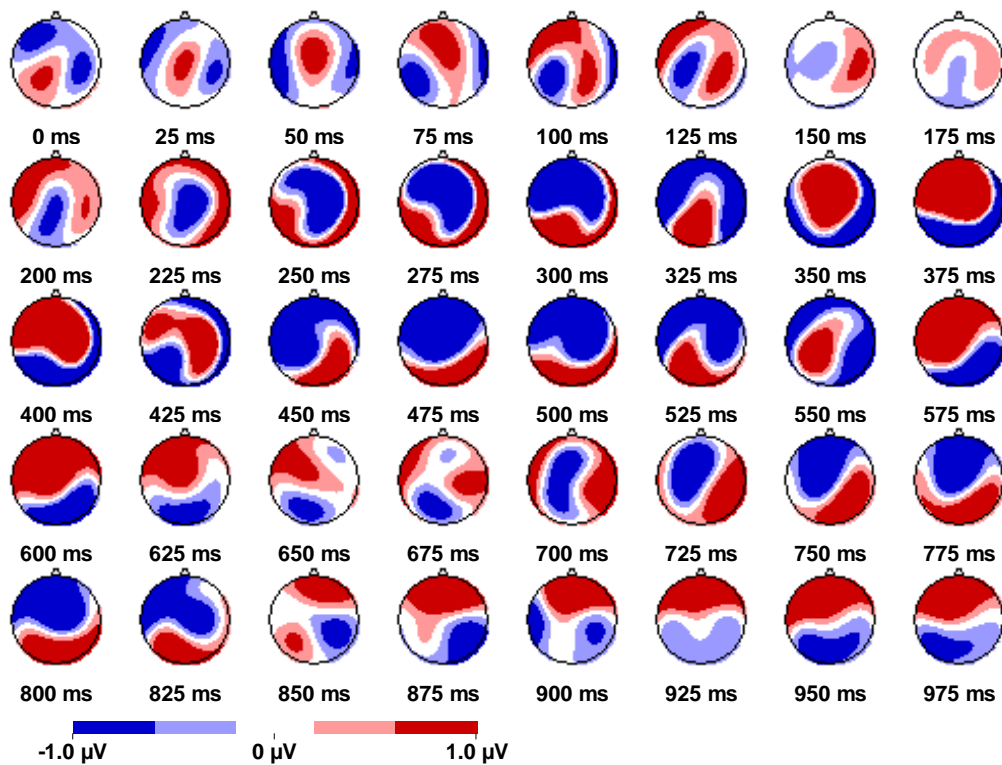




Abb.3.2 (vorherige Seite)

Potentialkarten. Es sind beispielhaft die Potentialkarten einer Versuchsperson (VP02) dargestellt, die bei Reizung mit Stimuli der Klassen P- (Abb. 3.1 A) und T+ (Abb.3.1 B) aufgezeichnet wurden. Insgesamt gibt es eine hohe Übereinstimmung des Verlaufs der Potentiale der einzelnen Klassen. Die Verteilung der Potentiale bleibt phasenweise konstant und ändert sich dann relativ sprunghaft. Zwischen 100 und 200 ms findet sich bei P- Bedingungen eine deutliche frontale bis rechts-frontale Verteilung der positiven Potentialwerte. Bei T+ ist dieser Effekt nicht sehr stark ausgeprägt und eher links-frontal lokalisiert. Anschließend liegen die positiven Werte vor allem am okzipital-rechten Rand und die restliche Oberfläche wird weitgehend gleichmäßig von negativen Potentialen dominiert. Ab circa 350 ms kommt es zu einer Verlagerung der positiven Werte nach frontal bis leicht links-frontal und einer Ausbreitung bis über den zentralen Teil der Kopfoberfläche. Diese Verteilung, hält bis um 425 ms an. Von ungefähr 450 ms bis 525 ms befinden sich die positiven Ladungen am okzipitalen Teil der Kopfoberfläche, in den folgenden 100 ms jedoch wieder im frontalen bis zentralen Bereich. Anschließend bilden die positiven Potentiale links und rechts-okzipital eine Art Randsaum, der sich um 750 ms zu Gunsten der okzipitalen Verteilung ändert. Ab 875/900 ms zeigen sich von okzipital bis zentral vor allem die negativen Potentiale und im frontalen Bereich die positiven Ladungsschwerpunkte.

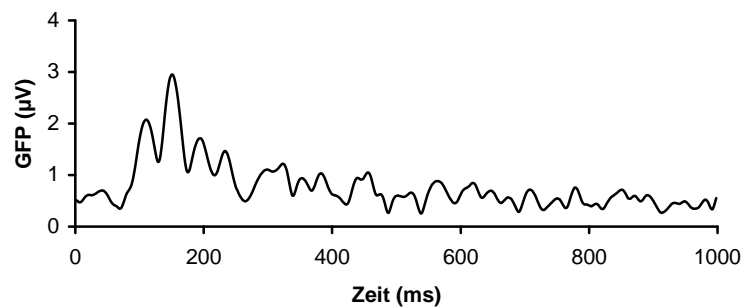
### 3.3 Komponentenbestimmung

Die in den Karten gezeigten Potenzialverteilungen können nun quantitativ analysiert werden. Dabei ist es wichtig die gehirnphysiologischen Grundlagen für die an der Kopfhaut gemessenen Potentiale zu bedenken. Die Potentiale repräsentieren die synchrone Aktivität der Neurone, die sich in der oberen Schicht der Gehirnrinde finden. Diese Neurone sind zumeist Pyramidenzellen. Um deren Aktivität zu quantifizieren, wurden zunächst die einzelnen Potentiale an den Elektroden gemessen, was wie oben beschrieben zu den Potentialkarten führte. Nun berechneten wir den Durchschnitt aller möglichen Potentialdifferenzen mit gleichwertiger Berücksichtigung jedes Elektrodenpotentials. Dieser Wert, der zu jedem beliebigen Zeitpunkt berechnet werden kann, wird als Feldstärke oder Global Field Power (GFP) bezeichnet (Skrandies, 2005; Lehmann und Skrandies, 1984). Durch die Art der Berechnung wird deutlich, dass die GFP gerade dann besonders hoch ist, wenn zum betrachteten Zeitpunkt Potentialfelder mit vielen Gipfeln, Senken und möglichst steilen Gradienten vorhanden sind. Die GFP ist ein Maß für die Stärke der Aktivierung zum entsprechenden Zeitpunkt und lässt sich als GFP-Kurve graphisch darstellen.

Man kann für jede Klasse den GFP-Wert gegen die Zeit auftragen und erhält folglich für jede Versuchsperson sechs Kurven. Die zu den oben beschriebenen Potentialkarten gehörigen GFP-Kurven sind in Abbildung 3.3 zu sehen. Die GFP-Kurven der anderen Klassen dieser Versuchsperson werden im Anhang gezeigt (Abschnitt 10.9). Prinzipiell sind sich die Kurven ähnlich. Bei allen Graphiken erkennt man deutlich einen Peak um 100 ms, dieser entspricht wohl der in klassischen Kurven visuell evozierter Potentiale auftretenden P100-Komponente, die für Prozesse im visuellen Kortex steht. Nach diesem Peak ist zwischen 100 und 200 ms ein noch höherer Gipfel zu sehen, auf welchen zwei kleiner

werdende Maxima um 200 ms folgen. Ein weiteres Maximum um 300 ms ist bei den einzelnen Klassen recht unterschiedlich ausgeprägt, meist jedoch relativ breit ausgebildet. Im weiteren Verlauf nimmt die Höhe der GFP- Spitzen insgesamt deutlich ab im Vergleich zu den Peaks der ersten 200 ms und auch die Ähnlichkeiten zwischen den Klassen sind nicht gleichermaßen offensichtlich wie zu früheren Latenzzeiten. Um 800 bis 900 ms erkennt man im Vergleich zu vorangehenden GFP-Wellen eher wieder deutlichere Maxima.

**A**



**B**

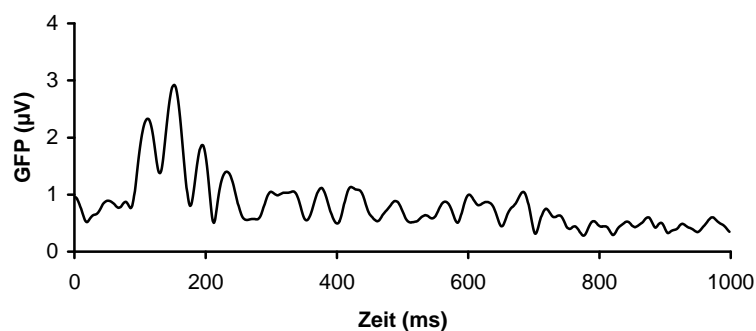


Abb.3.3

Zeitlicher Verlauf der Global Field Power (GFP) der Klasse der Dimension P- (Abb.3.2 A) und der Klasse T+ (Abb.3.2 B) einer beispielhaft ausgewählten Versuchsperson. Die gegen die Zeit aufgetragene GFP entspricht der zu jedem Zeitpunkt gemittelten Differenz der Potentiale an den einzelnen Elektroden. Grundsätzlich ist der Kurvenverlauf der einzelnen Bedingungen ähnlich. Bei allen Graphiken erkennt man deutlich einen Peak um 100 ms, entsprechend der klassischen P100-Komponente visuell evozierter Potentiale. Anschließend zeigt sich zwischen 100 und 200 ms ein noch höherer Gipfel, auf den zwei kleiner werdende Maxima um 200 ms folgen. Um 300 ms erkennt man ein weiteres Maximum, das relativ breit ausgeprägt ist. Im weiteren Verlauf nimmt die Höhe der GFP- Spitzen und die Ähnlichkeiten zwischen den Klassen deutlich ab.

Für die weitere Analyse ist es entscheidend gewesen, eigenständige Komponenten im Sinne einzelner Stufen der Informationsverarbeitung festzulegen. Dabei konnten durch Gegenüberstellung der GFP-Kurven der jeweiligen Klassen aller Versuchspersonen Zeitbereiche gefunden werden, in denen in jedem Fall ein GFP-Maximum vorhanden war. Ziel bei diesem Schritt war es also, in jedem der 6 GFP-Verläufe aller 40 Probanden

Zeitabschnitte so zu definieren, dass in jedem dieser Zeitabschnitte in allen 240 Fällen ein GFP-Gipfel auftauchte. Insgesamt ergaben sich auf diese Weise 11 Zeitbereiche (siehe Tab.3.1), der erste von 80-134 ms, der zweite von 138-200 ms, der dritte von 202-256 ms, die folgenden von 258-350 ms, 352-434 ms, 438-522 ms, 524-596 ms, 616-698 ms, 744-820 ms, 824-900 ms und von 906-986 ms.

Mit Hilfe der Angabe über die Zeitbereiche bestimmten wir für die einzelnen Zeitbereiche aller Klassen jeder Versuchsperson genau mit welcher Latenz welche GFP auftrat, durch diese Werte werden die Komponenten teilweise beschrieben. Für jeden der 240 Fälle werden diese Komponenten, wie im Methodenteil erläutert, mit insgesamt sechs Werten definiert. So ergibt sich für jede Komponente neben dem Wert der Latenzzeit ein weiterer Wert, der die GFP zum entsprechenden Zeitpunkt beschreibt. Außerdem dienen vier Werte der Festlegung der Lokalisation. Dies sind einerseits eine X- und eine Y-Koordinate für den negativen Zentroid, andererseits für den positiven Zentroid der Komponente.

Tabelle 3.1  
Zeitbereiche, die im Sinne der Komponenten der neuronalen Verarbeitung entscheidend sind. Von der Darbietung des Reizes an ergaben sich 11 Zeitbereiche, die den Stufen der zentralnervösen Verarbeitung entsprechen und die jeweils Latenzbereiche angeben, in denen statistisch auswertbare Effekte auftraten.

Zeitbereich	Zeit in ms	Mittlere Zeit in ms
1.	80-134	107
2.	138-200	168
3.	202-256	229
4.	258-350	304
5.	352-434	393
6.	438-522	480
7.	524-596	560
8.	616-698	657
9.	744-820	782
10.	824-900	862
11.	906-986	946

Eine Varianzanalyse der sechs Angaben der Komponenten in den sechs Klassen aller 40 Probanden lieferte Aussagen zu Effekten der verschiedenen Bedingungen. Durch diese Analyse wurden statistische Zusammenhänge zwischen den jeweiligen Reizklassen und dem zeitlichen Verlauf der Verarbeitung sowie Latenz, GFP und Lokalisation deutlich.

### 3.4 Statistische Ergebnisse der Komponentenanalyse

Entsprechend der Analyse können Effekte der Latenz, der GFP und der Lokalisation innerhalb der Komponenten gefunden werden, die sich in der Varianzanalyse als signifikant erwiesen.

### 3.4.1 Vergleich früher und später Komponenten

Zunächst konnten wir feststellen, dass es schon in der sehr frühen Phase der Verarbeitung Effekte gibt, die auf Unterschiede in der Verarbeitung der unterschiedlichen sechs Klassen Evaluation (E+ und E-), Stärke (P+ und P-) und Textur (T+ und T-) hinweisen. Dies wird vor allem dadurch deutlich, dass es sowohl bei der Betrachtung der Latenz als auch der GFP schon im ersten Zeitbereich signifikante Resultate gibt. Jedoch auch in späten Zeitbereichen zeigen sich wieder Effekte, die denen der frühen Zeitbereiche gegenläufig sind. Diese Ergebnisse, die in den frühen und späten Bereichen so entgegengesetzt sind, betreffen vor allem die Unterscheidung zwischen positiver und negativer Polarität der den Klassen zu Grunde liegenden Dimensionen. So ist die Latenz für die Klassen positiver Polarität im ersten Zeitbereich mit 112,98 ms niedriger als für die negativer Polarität mit 115,12 ms ( $F(1,39)=6,82$ ;  $p<0,0127$ ). Gerade umgekehrt stellen sich die Verhältnisse im 6. Zeitbereich dar, wo Klassen negativer Polarität mit 470,27 ms signifikant früher auftreten als die mit positiver Polarität mit 478,93 ms ( $F(1,39)=10,41$ ;  $p<0,0025$ ).

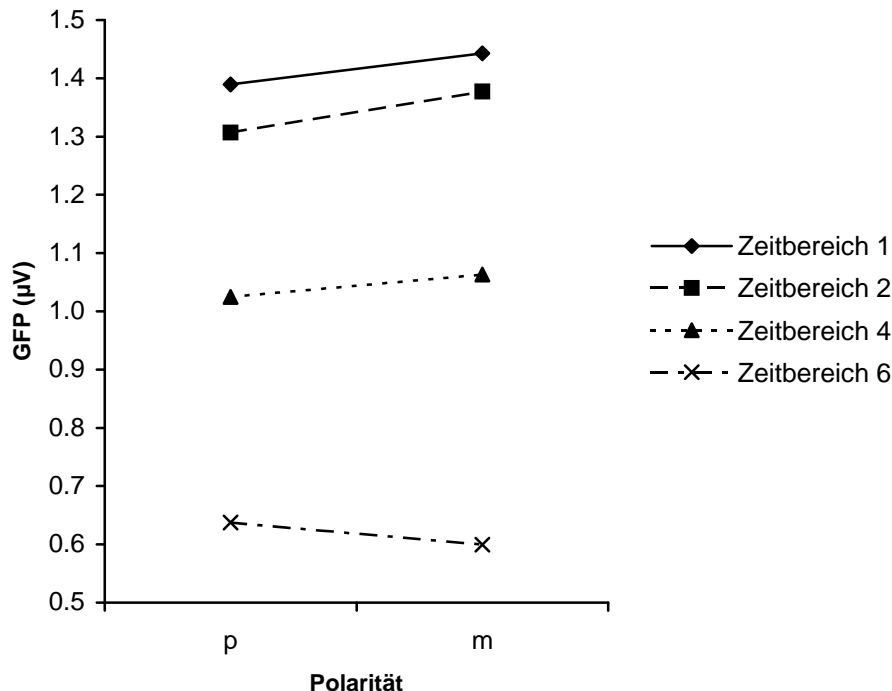


Abb. 3.4  
Vergleich der GFP (Y-Achse) der positiven und negativen Polarität (X-Achse) in den Zeitbereichen 1, 2, 4 und 6. Insgesamt wird die GFP im Zeitlichen Verlauf geringer. In den Komponenten 1 ( $F(1,39)=5,23$ ;  $p<0,0277$ ), 2 ( $F(1,39)=9,20$ ;  $p<0,0043$ ) und 4 ( $F(1,39)=4,30$ ;  $p<0,0449$ ) ist die GFP für positive Reizklassen (E+, P+, T+) kleiner als die für negative (E-, P-, T-). Dieses Verhältnis stellt sich im späteren Zeitbereich 6 umgekehrt dar ( $F(1,39)=5,23$ ;  $p<0,0277$ ).

Auch bei Betrachtung der Ergebnisse der GFP wird diese Umkehrung von frühen zu späten Zeitbereichen ersichtlich. Durch negative Polarität ausgezeichnete Klassen erreichen in den Zeitbereichen 1, 2 und 4 höhere GFP-Werte als die Klassen positiver Polarität, im 6. Zeitfenster sind die GFP-Werte der positiven Klassen höher (Abb.3.4). Im ersten Zeitbereich ist die GFP für positive Polarität  $1,39 \mu\text{V}$ , für negative  $1,44 \mu\text{V}$  ( $F(1,39)=5,23$ ;  $p<0,0277$ ). Im Zeitbereich 2 findet sich mit entsprechender Zuordnung zu den positiven und negativen Klassen die Werte  $1,31 \mu\text{V}$  und  $1,38 \mu\text{V}$  ( $F(1,39)=9,20$ ;  $p<0,0043$ ) und im 4. Zeitbereich die Werte  $1,02 \mu\text{V}$  und  $1,06 \mu\text{V}$  ( $F(1,39)=4,30$ ;  $p<0,0449$ ). Im Unterschied zu dieser Verteilung der Klassen mit positiver und negativer Polarität haben positive Klassen im 6. Zeitbereich, also deutlich später, mit  $0,64 \mu\text{V}$  eine höhere GFP als negative mit  $0,60 \mu\text{V}$  ( $F(1,39)=5,23$ ;  $p<0,0277$ ).

Im Hinblick auf die Lokalisation der Erregung lassen sich ebenfalls Unterschiede zwischen frühen und späten Komponenten aufzeigen. Dies betrifft die positiven Ladungszentroide bezüglich ihrer Lage in y-Richtung, also in „Hinten-Vorne-Richtung“. Die positiven Ladungsschwerpunkte befinden sich für Klassen positiver Polarität im 2. Zeitbereich an einem y-Wert von  $42,67$  und für negative bei  $44,75$  ( $F(1,39)=7,66$ ;  $p<0,0086$ ), also weiter frontal. Im 8. Zeitbereich liegen dagegen positive Klassen mit einem y-Wert von  $39,34$  weiter frontal als die negativen mit  $34,53$  ( $F(1,39)=7,44$ ;  $p<0,0095$ ).

Die positiven Zentroide der einzelnen Komponenten bewegen sich im Zeitverlauf insgesamt von weiter okzipital in Richtung frontal, ein Hinweis auf die primär visuelle Verarbeitung, die hauptsächlich im okzipitalen Lappen statt findet (siehe Abb. 3.5).

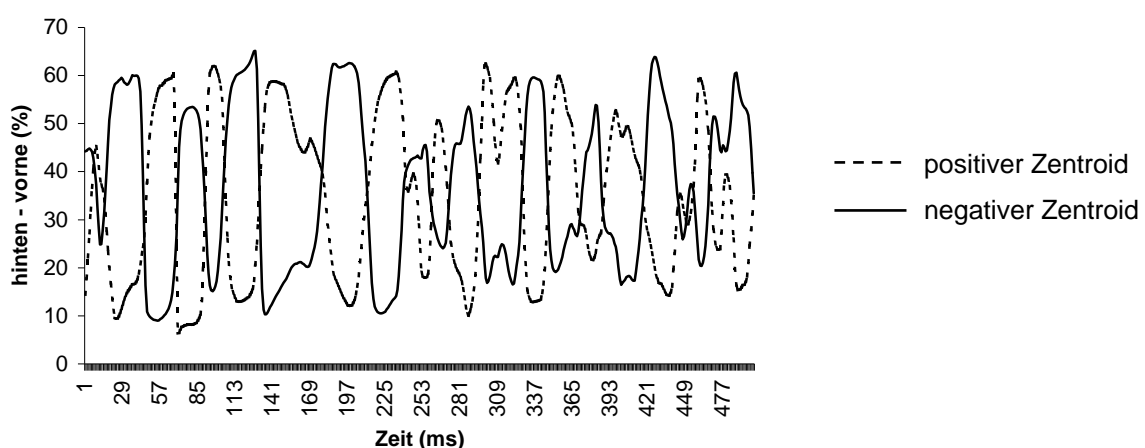


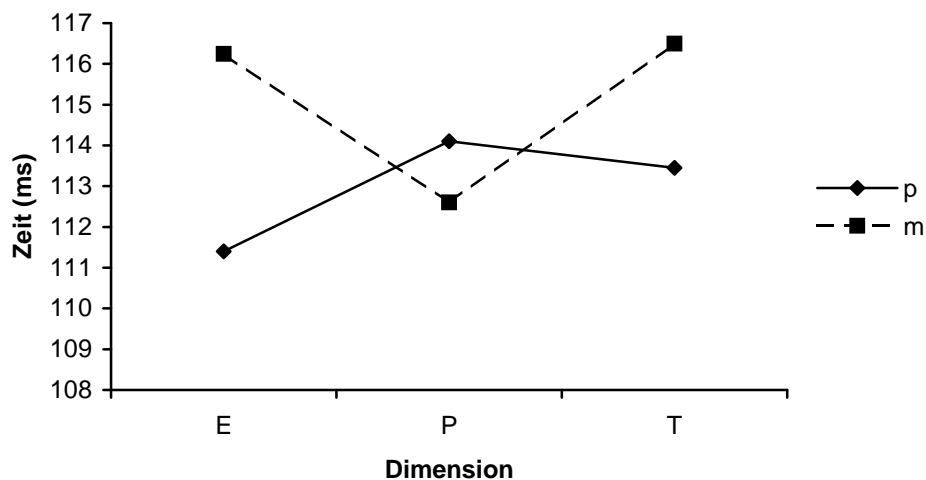
Abb. 3.5

Verteilung der Potentiale in sagittaler Richtung im Zeitverlauf einer beispielhaft ausgewählten Versuchsperson. Auf der Y-Achse ist der Abstand vom Inion in Prozent vom Inion-Nasion-Abstand aufgetragen. Die positiven Zentroide der einzelnen Komponenten bewegen sich im Zeitverlauf insgesamt von weiter okzipital in Richtung frontal. Im okzipitalen Bereich befindet sich der primäre visuelle Kortex.

### 3.4.2 Effekte der Komponentenlatenz

Hinsichtlich der Komponentenlatenz im ersten Zeitbereich zeigte sich also ein signifikanter Unterschied zwischen positiven Klassen, die eine kleinere Latenz aufweisen, gemessen an den negativen Klassen mit größerer Latenz (siehe oben). Allerdings gilt hier dieses Verhalten nicht ganz uneingeschränkt bei Betrachtung der einzelnen sechs Klassen (siehe Abb.3.6). Es scheint eine signifikante Wechselwirkung zwischen den Polaritäten der

**A**



**B**

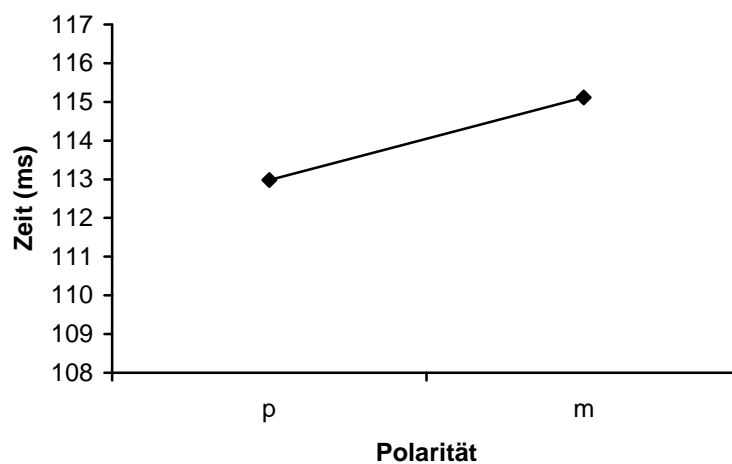


Abb. 3.6

Vergleich der Latenzunterschiede im 1. Zeitfenster (80-134 ms) zwischen Dimensionen und Polaritäten. A: Die positiven Klassen der Dimension E und die der Dimension T führen in diesem Zeitbereich zu kleineren Latenzen als die negativen Klassen dieser Dimensionen. Die Reizklassen der Dimension P dagegen verhalten sich umgekehrt, indem hier die P- zu kleineren Latenzen und P+ zu größeren Latenzen führt  $F(2,78)=2,98$ ;  $p < 0,568$ . Außerdem ist der Effekt in der Dimension P nicht so stark ausgeprägt, wie in den anderen beiden Dimensionen. B: Die Abhängigkeit der Latenzzeit von der Polarität der Dimensionen wird hier noch einmal deutlich  $F(1,39)=6,82$ ;  $p < 0,0127$ .

einzelnen Klassen und den Dimensionen zu geben. So trifft der beschriebene Effekt eher für die Dimensionen E und T zu ( $F(2,78)=2,98$ ;  $p<0,0568$ ). Dagegen verhält sich die Dimension P spiegelbildlich, indem die Klasse P+ eine höhere Latenz aufweist (114,10 ms) als Klasse P- (112,60 ms). Außerdem ist zu erkennen, dass die Latenz für P- deutlich geringer ist als für die negativen Polaritäten von E (116,25 ms) und T (116,50 ms), wohingegen die Latenz von P+ im Vergleich nur leicht größer ist als die von E+ (111,40 ms) und T+ (113,45 ms).

### 3.4.3 Effekte in der Global Field Power

Vergleicht man die GFP der Dimensionen zwischen dem ersten und dem zweiten Zeitfenster zeigen sich signifikante Unterschiede. Im ersten Zeitfenster sind die Dimensionen E und P mit einer GFP von 1,43  $\mu\text{V}$  und 1,47  $\mu\text{V}$  ähnlich hoch und die Dimension T mit 1,36  $\mu\text{V}$  im Verhältnis kleiner ( $F(2,78)=6,88$ ;  $p<0,0018$ ). Im darauf folgenden Zeitbereich ist E mit 1,29  $\mu\text{V}$  eher kleiner im Vergleich zu P mit einer GFP von 1,36  $\mu\text{V}$  und T mit 1,37  $\mu\text{V}$  ( $F(2,78)=3,04$ ;  $p<0,0537$ ). Dieser in Abbildung 3.7 dargestellte Effekt ist für den zweiten Zeitbereich jedoch nur knapp signifikant. Wenn man die GFP aller sechs Klassen über den Zeitverlauf hinweg betrachtet, ist eine recht stabile Tendenz offensichtlich (siehe Abb.3.8). Im Zeitbereichen 1 ( $F(2,78)=4,53$ ;  $p<0,0137$ ), 3 ( $F(2,78)=7,00$ ;  $p<0,0016$ ), 9 ( $F(2,78)=5,93$ ;  $p<0,0040$ ) und 10 ( $F(2,78)=5,55$ ;  $p<0,0056$ ) ist die GFP für E- und T- jeweils immer höher als die GFP von E+ und T+. Für die Dimension P gilt für die genannten Zeitfenster das

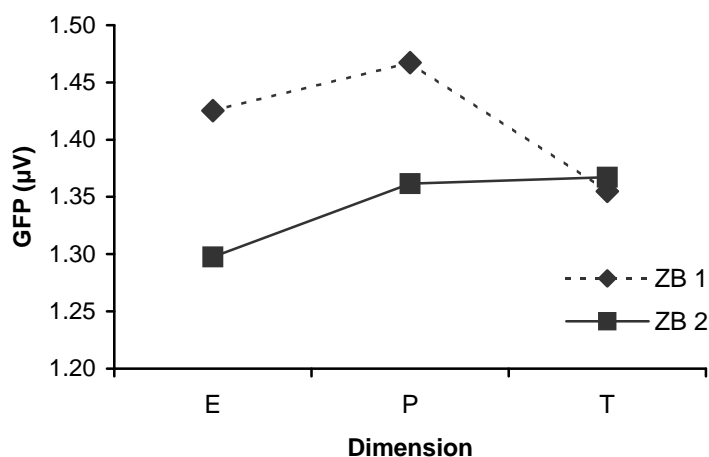


Abb. 3.7

Vergleich der GFP der Dimensionen E, P und T im 1. Zeitbereich ( $F(2,78)=6,88$ ;  $p<0,0018$ ) und 2. Zeitbereich ( $F(2,78)=3,04$ ;  $p<0,0537$ ). Die GFP der Dimension E ist in beiden Zeitbereichen kleiner als die der Dimension P. Dagegen zeigt sich, dass die Dimension T im ersten Zeitbereich zu größeren und im zweiten Zeitbereich zu kleineren GFP-Werten führt und dass sich die GFP innerhalb der Dimension T zwischen dem ersten und dem zweiten Zeitbereich kaum ändert.

Umgekehrte. Dabei nimmt die GFP für alle Klassen insgesamt eher ab. Der Abstand zwischen der GFP von P+ und P- wird immer größer. War T- im ersten Zeitabschnitt noch kleiner als die anderen Klassen negativer Polarität, so hat T- im Vergleich zu diesen in den Komponenten 3, 9 und 10 höhere Werte. Außerdem wird deutlich, dass sich die beiden Klassen der Dimension E im zeitlichen Verlauf immer weiter annähern.

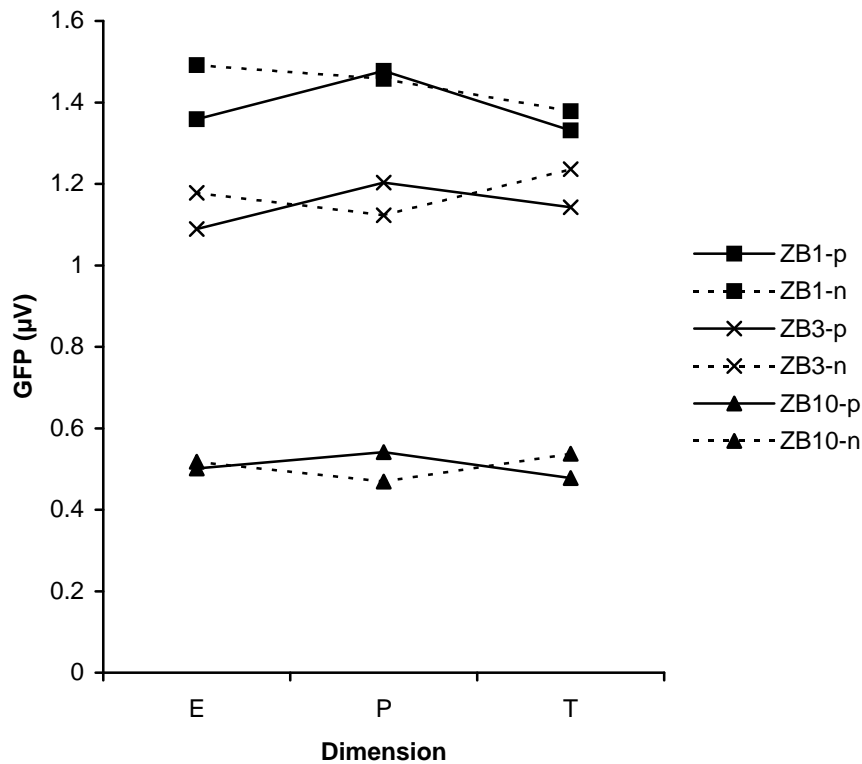


Abb. 3.8

Vergleich der GFP aller Klassen in den Zeitbereichen (ZB) 1, 3 und 10.

— positive Polarität (p)      - - - - - negative Polarität (n)

■ Zeitbereich 1      X Zeitbereich 3      ▲ Zeitbereich 10

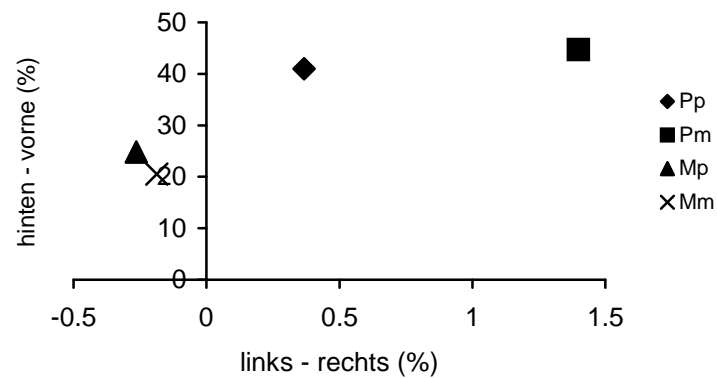
Im Zeitbereichen 1 ( $F(2,78)=4,53;p<0,0137$ ), 3 ( $F(2,78)=7,00;p<0,0016$ ) und 10 ( $F(2,78)=5,55;p<0,0056$ ) ist die GFP für E- und T- jeweils immer höher als die GFP von E+ und T+. Umgekehrt ist die GFP für P- kleiner als für P+. GFP-Werte späterer Komponenten sind insgesamt kleiner als die der frühen Komponente. Der Abstand zwischen der GFP von P+ und P- wird immer größer, der zwischen E+ und E- immer kleiner. T- ist im ersten Zeitabschnitt noch kleiner als die anderen Klassen negativer Polarität, später führt T- aber zu höheren GFP-Werten.



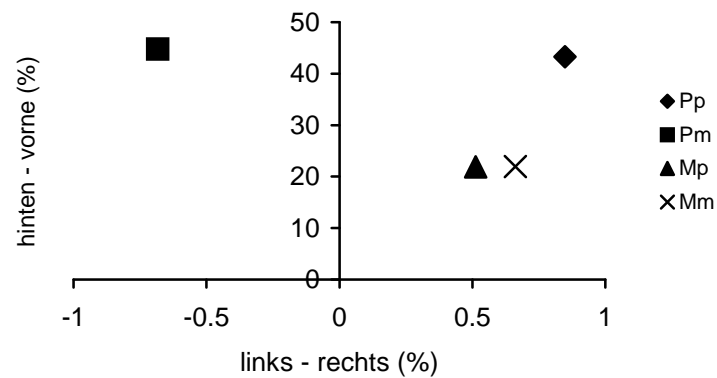
### 3.4.4 Topographische Effekte der Ladungsschwerpunkte

In den Folgenden Abbildungen wird die räumliche Verteilung der Zentroide auf der Kopfoberfläche illustriert. Die gemittelten Ladungsschwerpunkte können für jede Komponente berechnet werden. Vor allem im Hinblick auf mögliche Hemisphärenunterschiede der Ladungsschwerpunkte ist diese Darstellung nützlich. Eine Tendenz für das Vorhandensein von Hemisphärenunterschieden wird in den Zeitbereichen 2 und 6 erkenntlich, jedoch nicht signifikant.

**A**



**B**



C

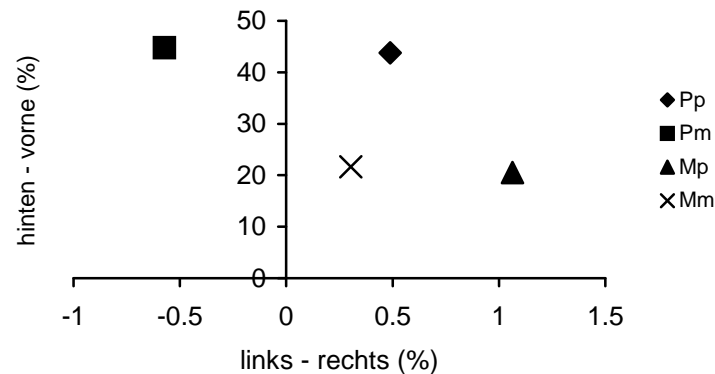


Abb. 3.9

Vergleich der Dimensionen bezüglich ihrer topographischen Verteilung der Komponentenmittelwerte im 2. Zeitbereich auf der Kopfoberfläche.

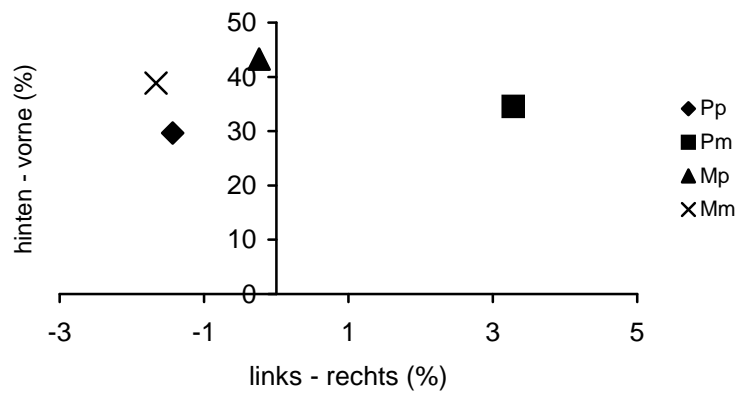
◆ positiver Zentroid/positive Klassen (Pp)    ■ positiver Zentroid/negative Klassen (Pm)  
X negativer Zentroid/positive Klassen (Mp)    ▲ negativer Zentroid/negative Klassen (Mm)

Die Zahlenangaben der Koordinatenachsen bezeichnen die prozentuale Strecke des Inion-Nasion-Abstandes. Der Null-Punkt befindet sich am Inion in der Mittellinie. Die gemittelten Werte der Ladungsschwerpunkte der Klasse E+ und E- (A.) sind auf der rechten Hemisphäre lokalisiert. Dagegen befinden sich in den Dimensionen P (B.) und T (C.) im Zeitbereich 2 negative und positive Werte des positiven Zentroids jeweils auf unterschiedlichen Hemisphärenseiten. Die negativen Zentroide von Dimension P und T liegen über der rechten Kopfoberfläche, die der Dimension E dagegen nahe der Mittellinie oder etwas links von ihr.

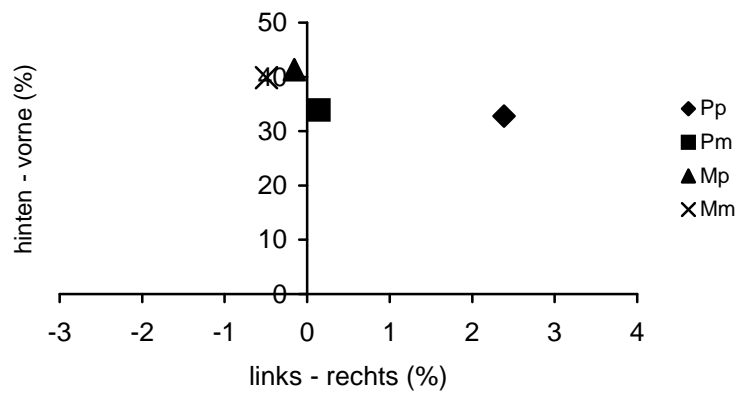
Während sich bei Betrachtung der gemittelten Werte der Ladungsschwerpunkte in den Dimensionen P und T im Zeitbereich 2 negative und positive Werte des positiven Zentroids jeweils auf unterschiedlichen Hemisphärenseiten befinden, sind die Komponenten der Klasse E+ und E- im Mittel eher auf der rechten Hemisphäre lokalisiert (siehe Abb.3.9). Die negativen Zentroide von Dimension P und T liegen eher über der rechten Kopfoberfläche, die der Dimension E dagegen nahe der Mittellinie oder schwach links von ihr. Bei den positiven Zentroiden im Zeitbereich 6 kommt es zu einer Lateralisierung der positiven Klassen von P und T nach rechts, E+ hingegen findet sich eher links der Mittellinie. Gleichzeitig sind die negativen Zentroide von P- und T- nahe an der Mittellinie zu finden während Klasse E- im Mittel weiter auf der rechten Hemisphäre zu liegen kommt (siehe Abb.3.10).

Wenn man sich die räumliche Verteilung der Schwerpunktmittelwerte der einzelnen Klassen anschaut, fällt auf, dass sich in der Dimension P der positive Zentroid der Klasse P- häufig deutlich näher an der Mittellinie findet, dagegen der von P+ weiter lateralisiert ist. Tatsächlich signifikant wird diese Tendenz in einem t-Test nur in den Zeitbereichen 1 und 3. Im ersten Zeitbereich gilt dies für den Vergleich der Dimensionen P und T ( $t=-1,7179$ ;  $p<0,0224$ ), im 3. Zeitbereich für den Vergleich der Dimensionen P und E ( $t=-0,7723$ ;  $p<0,0218$ ).

**A**



**B**



**C**

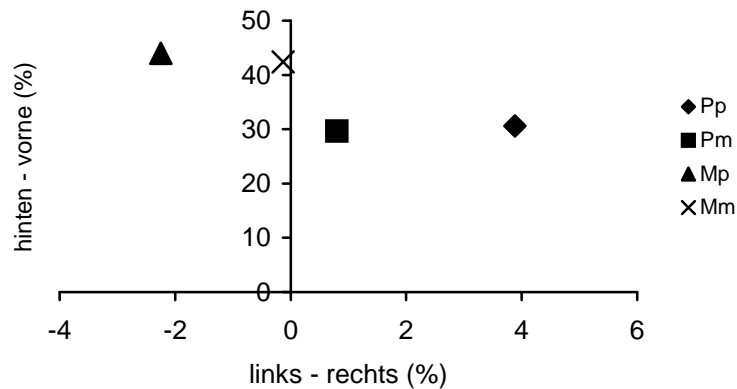


Abb. 3.10

Vergleich der Dimensionen bezüglich ihrer topographischen Verteilung der Komponentenmittelwerte im 6. Zeitbereich auf der Kopfoberfläche.

- ◆ positiver Zentroid/positive Klassen (Pp)
- positiver Zentroid/negative Klassen (Pm)
- X negativer Zentroid/positive Klassen (Mp)
- ▲ negativer Zentroid/negative Klassen (Mm)

Die Zahlenangaben der Koordinatenachsen bezeichnen die prozentuale Strecke des Inion-Nasion-Abstandes. Der Null-Punkt befindet sich am Inion über der Mittellinie. Die positiven Zentroide der positiven Klassen von P (B.) und T (C.) sind im Zeitbereich 6 auf der rechten Hemisphäre lokalisiert, die von E (A.) hingegen finden sich eher links der Mittellinie. Die negativen Zentroide von P- und T- sind im gleichen Zeitbereich an der Mittellinie zu finden während Klasse E- weiter auf der rechten Hemisphäre liegt.

### 3.4.5 Durch das statistische Verfahren des Binomialtests gefundene Hemisphäreneffekte

Betrachtet man die Lage der Ladungsschwerpunkte der einzelnen Komponenten auf der x-Achse nur bezüglich ihres Vorzeichens, also ob sie rechts oder links der Mittellinie liegen und unabhängig davon, wie weit sie auf der entsprechenden Seite sind, so kann man diese Hemisphärenunterschiede mit Hilfe eines Binomialtests untersuchen. An den gemittelten Werten der Ladungslokalisation einzelner Klassen wird durch diesen Test deutlich, dass vor allem im ersten Zeitbereich die Klassen eine recht ähnliche Lokalisation ihrer Ladungen aufweisen. Alle Komponenten der Klassen E+ ( $z=2,3717; p<0,01878$ ), P+ ( $z=2,0555; p<0,04036$ ) und T+ ( $z=2,6879; p<0,00804$ ) haben im ersten Zeitbereich ihren negativen Zentroid auf der linken Hemisphärenseite, die Klassen P+ ( $z=-2,6879; p<0,0804$ ) und T+ ( $z=-3,3204; p<0,000966$ ) haben ihren positiven Zentroid stets rechts der Mittellinie und rechts der positiven Zentroide von P- und T- ( $z=-2,0555; p<0,04036$ ). Der positive Zentroid in der Klasse E+ befindet sich auch auf der rechten Hemisphäre, wenn auch etwas weiter an der Mittellinie als der von E-.

Im fünften Zeitfenster ist hervorzuheben, dass der positive Zentroid der Klasse T+ ( $z=2,3717; p<0,01878$ ) signifikant links der Mittellinie, der negative Zentroid von T+ ( $z=-3,0042; p<0,0024$ ) immer auf der rechten Hemisphäre zu finden ist. Betrachtet man auch die Lokalisation der Zentroide der einzelnen Klassen in den Zeitfenstern 4, 6 und 11, so sind signifikante Angaben entweder sowohl bei der Dimensionen E als auch bei P möglich oder nur bei der Dimension T, was eine Gegenüberstellung der Dimension T zu den beiden anderen Dimensionen zulässt. So gibt es im vierten Zeitfenster signifikante Werte für die Lage der negativen Zentroide der Komponenten von E+ ( $z=2,3717; p<0,01878$ ) und P+ ( $z=3,0042; p<0,0024$ ) auf der x-Achse, diese befinden sich über der linken Kopfoberfläche. Der positive Zentroid von E+ ( $z=-2,0555; p<0,04036$ ) liegt gleichzeitig stets rechts der Mittellinie. Im sechsten Zeitbereich ist nur in der Dimension T eine signifikante Lokalisation des positiven Zentroids von T+ ( $z=-2,3717; p<0,01878$ ) auf der rechten Seite zu finden. Im Zeitfenster 11 gilt dies für den negativen Zentroid von T+ ( $z=-2,3717; p<0,01878$ ), welcher sich hier rechts der Mittellinie befindet. Auch wenn diese zuletzt beschriebenen Ergebnisse signifikant waren, treten sie doch eher vereinzelt auf und lassen so eher auf eine Tendenz schließen, was im Folgenden noch näher zu erläutern sein wird.

### 3.4.6 Topographische Effekte in der Varianzanalyse

Neben den weiter oben bereits geschilderten Effekten der Lokalisation gibt es noch weitere, signifikante Ergebnisse, die sich auf die Topografie beziehen. Es ließen sich im vierten Zeitfenster statistisch signifikante Hemisphärenunterschiede feststellen. Diese Unterschiede beziehen sich auf die Betrachtung sowohl der positiven als auch der negativen Ladungsschwerpunkte (siehe Abb.3.11).

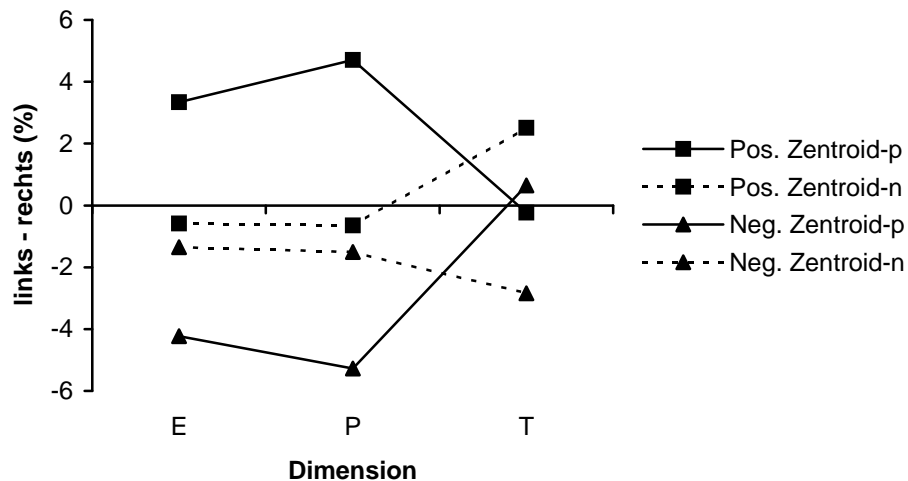


Abb. 3.11

Verteilung der Zentroide bezüglich der X-Achse im 4. Zeitfenster. Die Null-Linie entspricht der Mittellinie auf der Schädeldecke. Je höher der Y-Wert in der Grafik, desto weiter rechts von der Mittellinie befindet sich der Zentroid. Je negativer der Y-Wert, desto weiter links der Mittellinie befindet sich der Zentroid. Die positiven Ladungsschwerpunkte der negativen (-n) Klassen E- und P- befinden sich nah an der Mittellinie, T- befindet sich dagegen rechts der Mittellinie ( $F(2,78)=4,46$ ;  $p<0,0146$ ). Die negativen Zentroide von E- und P- liegen ebenfalls relativ nah an der Mittellinie, T- ist dagegen viel weiter auf der linken Hemisphäre lokalisiert ( $F(2,78)=4,53$ ;  $p<0,0137$ ). Die positiven (-p) Klassen verhalten sich dazu spiegelbildlich. Über der rechten Hemisphäre befinden sich die positiven Ladungsschwerpunkte von E+ und P+, dagegen T+ nahe der Mittellinie. Auch der negative Zentroid von T+ liegt an der Mittellinie und etwas rechts von dieser, die negativen Zentroide von E+ und P+ sind weiter links der Mittellinie gelegen. Ein ähnliches Verhalten zeigen die Dimensionen E und P, wobei positive Klassen, insbesondere P+, zu Zentroiden führen, die weiter lateral liegen als die negativen. Im Gegensatz dazu befinden sich positiver und negativer Ladungsschwerpunkt von T+ deutlich weiter lateral im Vergleich zu den Ladungsschwerpunkten von T-. Insgesamt sind die Effekte in der Dimension T nicht ganz so deutlich ausgeprägt wie in den anderen Dimensionen.

Die Klassen E- und P- haben ihren positiven Ladungsschwerpunkt sehr nahe der Mittellinie, T- befindet sich dagegen deutlich rechts der Mittellinie, also auf der rechten Hemisphäre ( $F(2,78)=4,46$ ;  $p<0,0146$ ). Auch die negativen Zentroide von E- und P- liegen relativ weit an der Mittellinie wogegen hier T- viel weiter auf der linken Hemisphäre ist ( $F(2,78)=4,53$ ;  $p<0,0137$ ). Die positiven Klassen verhalten sich spiegelbildlich. Die positiven Ladungsschwerpunkte von E+ und P+ finden sich weit über der rechten Hemisphäre während

T+ nahe der Mittellinie liegt. Die negativen Zentroide von E+ und P+ sind deutlich links der Mittellinie gelegen, gleichzeitig befindet sich T+ viel näher an der Mittellinie, sogar leicht rechts von ihr. Die Dimensionen E und P verhalten sich recht ähnlich, wobei positive Klassen deutlich weiter lateral auftreten als die negativen, was bei der Dimension P jedoch noch ausgeprägter ist. Die Klassen der Dimension T haben ein spiegelbildliches Verhalten, T+ hat seinen positiven und negativen Ladungsschwerpunkt eher lateral und die negativen Klassen liegen nahe der Mittellinie. Dabei ist in der Dimension T die Lateralisierung nicht so deutlich ausgeprägt wie in den anderen Dimensionen.

Während, wie schon erwähnt, im 8. Zeitfenster die positiven Zentroide der negativen Klassen weiter okzipital als die positiven Zentroide der positiven Klassen zu finden sind, ist dies bei den negativen Ladungsschwerpunkten in umgekehrter Weise der Fall. Hier haben negative Klassen eine eher frontale Lage, positive Klassen dagegen befinden sich auf der y-Achse weiter okzipital ( $F(1,39)=5,06$ ;  $p<0,0302$ ). Weitere Ergebnisse beziehen sich auf die Differenzierung aller Klassen unter Berücksichtigung der Dimensionen, zu denen sie gehören. Zum einen lassen sich hier signifikante Unterschiede in der räumlichen Verteilung der negativen Zentroide in y-Richtung im 1. Zeitbereich feststellen (siehe Abb.3.12). Während die negativen Klassen der Dimensionen E und P weiter posterior als die Klassen E+ und P+ liegen, findet sich die Klasse T- deutlich weiter frontal als T+ ( $F(2,78)=3,18$ ;  $p<0,0469$ ). Gleichzeitig sind die beiden Klassen der Dimension T in y-Richtung weiter auseinander als die Polaritäten der anderen beiden Dimensionen.

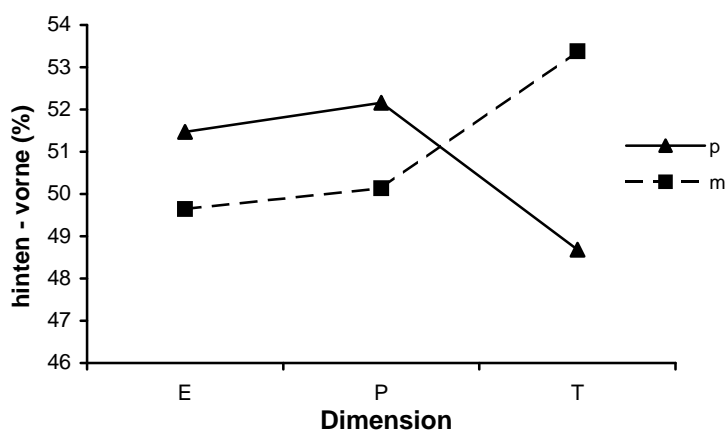


Abb. 3.12

Lokalisation der negativen Zentroide der einzelnen Klassen in Y-Richtung auf der Kopfoberfläche im 1. Zeitfenster. Auf der Y-Achse ist der Abstand vom Inion in % vom Inion-Nasion-Abstand aufgetragen. Die negativen Klassen der Dimensionen E und P liegen weiter hinten als die Klassen E+ und P+. Umgekehrt ist der Ladungsschwerpunkt der Klasse T- deutlich weiter frontal als der von T+ ( $F(2,78)=3,18$ ;  $p<0,0469$ ). Gleichzeitig ist der Abstand der Zentroide beider Klassen der Dimension T in y-Richtung größer.

## 4 Diskussion

### 4.1 Betrachtung der Bedeutungsdimensionen

Ziel der vorliegenden Untersuchung war es, herauszufinden, ob die zentrale Verarbeitung multimodaler Sinneswahrnehmung anhand von Bedeutungsdimensionen beschrieben werden kann, innerhalb derer Sinneempfindungen beurteilt werden. Durch die Bewertung von Lebensmitteln mittels Adjektivgegensatzpaaren, die sich den unterschiedlichen Sinneswahrnehmungen zuordnen lassen, wie Geruch, Geschmack, Sehen und Texturempfinden, ergeben sich durch die Anwendung des semantischen Differentials die fünf Dimensionen „Evaluation“, „Stärke“, „Aktivität“, „Textur“ und „Visueller Eindruck“. Betrachtet man die fünf Dimensionen, welche das Ergebnis der Fragebogenstudie waren, so wird zunächst klar, dass es keine Dimension gibt, die sich spezifisch auf die Sinne Geruch oder Geschmack bezieht. Dagegen lassen sich die Dimensionen „Textur“ und „visueller Eindruck“ von den klassischen Faktoren Osgoods, „Evaluation“, „Stärke“ und „Aktivität“, abgrenzen. Um die Dimensionen elektrophysiologisch untersuchen zu können, wurde in einer weiteren Faktorenanalyse eine 3-Faktoren-Lösung erzwungen. Dies ergibt im Gegensatz zur 5-Faktoren-Lösung durch eine etwas andere Verteilung der Adjektive die Dimensionen „Evaluation“, „Stärke“ und „Textur“.

Bemerkenswert ist an dieser Stelle, dass die klassische Dimension „Aktivität“ nicht mehr vorhanden ist, stattdessen jedoch der Faktor „Textur“ auftaucht. Adjektive, welche die Dimension beschreiben, die wir Texturdimension nennen, sind *glänzend*, *klar*, *glatt* und die entsprechenden Gegensätze. Dabei ist zu beachten, dass *glänzend/matt* vor der Studie eher der visuellen Dimension zugeordnet war, aber offensichtlich steht in diesen Zusammenhang die Textureigenschaft der Oberfläche eher im Mittelpunkt der Konnotation von Sinneswahrnehmungen. Auf der anderen Seite haben Worte, die vor der Untersuchung eindeutig der Texturbeschreibung zugeordnet wurden, wie *steif/elastisch*, *geräuschvoll/still*, *knackig/labberig*, ihre höchsten Korrelationswerte mit „Aktivität“ in der Auswertung mit fünf Dimensionen, dagegen mit „Stärke“ in der 3-Dimensionen-Lösung. Es gibt also eine Art der Vermischung von „Textur“ mit „Stärke“ und „Aktivität“. Dies lässt den Schluss zu, dass Worte, die Texturen beschreiben auch in einer Verbindung zu Bewegung stehen und zum anderen auch in einen Zusammenhang mit Stabilität und Kraft gebracht werden können.

Im Bezug auf die visuelle Dimension ist zu erwähnen, dass entgegen der ursprünglichen Vermutung die Worte *hell/dunkel* nicht der visuellen Dimension zugeordnet

werden, sondern zum Faktor „Stärke“ gerechnet werden müssen. In früheren Untersuchungen (Osgood, 1957) waren *hell/dunkel* Adjektive der Dimension Evaluation. Dies lässt darauf schließen, dass es eine weitläufige Assoziation dieser Begriffe gibt, wobei jedoch die visuelle Komponente weniger entscheidend zur Konnotation beiträgt. Dagegen werden die Begriffe *warmfarben/kaltfarben* bei der Auswertung mit fünf Faktoren eindeutig der visuellen Dimension zugeordnet. Im Fall der Reduktion auf drei Dimensionen, beschreibt *warmfarben/kaltfarben* den Faktor „Evaluation“, und es wird hierdurch offensichtlich, dass auch bei eindeutig visuell beschreibenden Worten eine bewertende Komponente, im Sinne von „angenehm – unangenehm“ vorhanden ist.

Schließlich lässt sich jedoch die Mehrheit der Adjektive eindeutig einem der Faktoren zuschreiben. Beispielsweise beschreibt das Paar *stark/schwach* die Dimension „Stärke“, *schön/hässlich* und *angenehm/unangenehm* die Dimension „Evaluation“. Aber doch bleibt die Frage, in welcher Kategorie Geschmacks- sowie Geruchsadjektive wiederzufinden sind, da es für diese offensichtlich keine eigenständige Kategorie gibt. Bei einigen Adjektivpaaren des Geruchs sowie des Geschmacks ist die Zuordnung zu den Faktoren „Evaluation“ und „Stärke“ nicht ganz eindeutig, bei anderen hingegen ist dies zweifelsfrei möglich. Das Paar *lieblich/herb* beschreibt bei einer Fünf-Faktoren-Lösung die Dimension „Stärke“, dagegen „Evaluation“, wenn es sich um drei Faktoren handelt. Das Gegensatzpaar *mild/würzig* steht eindeutig in Zusammenhang mit der „Stärke“-Dimension, zur „Evaluations“-Dimension werden *duftend/beißend* und *frisch/vermodert* gezählt. Es wird also deutlich, dass sich die Adjektive des Geruchs und des Geschmacks in den Dimensionen „Evaluation“ und „Stärke“ wiederfinden und diese beschreiben. Dies legt den Schluss nahe, dass bei der Verarbeitung dieser beiden Sinne die affektiven Reaktionen entlang der genannten Dimensionen einen entscheidenden Beitrag leisten.

Betrachtet man die Gesamtheit der Dimensionen, die sich in der vorliegenden Studie ergaben, wird deutlich, dass es eine hohe Übereinstimmung mit den klassischen Dimensionen Osgoods gibt. Unter Berücksichtigung der hier angewandten Methode drängt sich die Frage auf, ob die Ähnlichkeit der Dimensionen daher kommt, dass wir keine tatsächlichen Sinnesreize, sondern ebenfalls Worte bewerten ließen. Zwar stehen die hier verwendeten Lebensmittelworte in engem Zusammenhang mit Sinneswahrnehmungen, doch wurden keine realen Gerüche oder Geschmacksrichtungen in Form von echten Lebensmitteln dargeboten. Möglicherweise wäre es zu einem anderen Ergebnis gekommen, hätte es sich um direkte Sinnesreize der verschiedenen Modalitäten gehandelt. In einer Studie von Dalton et al. (2008) wurden tatsächliche Gerüche mithilfe des semantischen Differentials bewertet, wobei



klassische Adjektivpaare verwendet wurden und keine geruchsspezifischen Adjektive. In dieser Untersuchung erhielt man in einer ähnlichen Varianzverteilung die klassischen Dimensionen „Evaluation“, „Potency“ und „Activity“. Gerade weil Gerüche selbst multisensorische und emotionale Eindrücke auslösen (Dalton et al., 2008), lässt sich möglicherweise kein geruchsspezifischer Faktor finden. Die Bewertung von geruchsassozierten Worten mithilfe des semantischen Differentials führte ebenfalls zu den drei klassischen Dimensionen (Reik und Skrandies, 2006), wobei wider Erwarten die Dimension „Evaluation“ ähnlich wie bei der Bewertung geruchsunabhängiger Worte ungefähr 33 % der Varianz erklärte und nicht mehr. Dies ist als Hinweis zu interpretieren, dass sich die Bewertung von Gerüchen innerhalb aller affektiven Dimensionen abspielt, am meisten in der Dimension „Evaluation“, jedoch nicht mehr als die Verarbeitung geruchsunabhängiger Worte.

Die Ähnlichkeit der Bewertung von wahren Gerüchen und geruchsassozierten Worten stützt die These, dass die Vorstellung von Sinneswahrnehmungen zu ähnlichen Aktivierungsmustern des Gehirns führt, wie die reale Wahrnehmung von Sinnesreizen (Djordjevic et al., 2004; Kobayashi et al., 2004; Yoo et al., 2003). Unter dieser Voraussetzung können wir davon ausgehen, dass die gefundenen Dimensionen nicht ausschließlich auf den Prozess der Wortverarbeitung zurückzuführen sind. Vielmehr spielt die zentrale Verarbeitung von Sinneswahrnehmungen eine Rolle bei der Bewertung von multisensorischen Empfindungen im Sinne der Bewertung von Lebensmittelworten.

In den vorangegangenen Abschnitten wurde die Zuordnung von Adjektivpaaren zu den einzelnen semantischen Dimensionen, die sie beschreiben, diskutiert. Es lässt sich jedoch umgekehrt auch untersuchen, in wieweit sich eine bestimmte Dimension auf einzelne Sinne bezieht. Vor dem Hintergrund dieser Idee, dass einzelne Dimensionen eine enge Beziehung zu bestimmten sensorischen Eigenschaften aufweisen könnten, wurde in einer Nahinfrarotspektroskopie-Studie (Suzuki et al., 2005), in der affektiv besetzte Zeichnungen bewertet wurden, Gehirnregionen gefunden, die im Zusammenhang mit einzelnen Faktoren zu stehen scheinen. Zeichnungen, die vornehmlich in der Dimension „Aktivität“ klassifiziert wurden, führten zu einer Aktivierung im rechten oberen Gyrus temporalis und im rechten Gyrus parietalis. Es handelt sich dabei um Areale, die mit der auditorischen Sinnesverarbeitung im Zusammenhang stehen und offensichtlich durch die Bewertung der affektiven Reaktion innerhalb der Dimensionen „Aktivität“ aktiviert werden. Dies gibt einen Hinweis darauf, dass sich die Skalen des Faktors „Aktivität“ häufig auf auditorische Wahrnehmungen, wie „laut-leise“ oder „aufgeregt-ruhig“, beziehen. Dagegen zeigte sich bei Bewertungen innerhalb der Dimension „Stärke“ eine Aktivitätssteigerung im linken prä- und

postzentralen Gyrus, also in Arealen, die für kinästhetische und somatosensible Sinnesverarbeitung stehen. Auch dies ist hinweisend darauf, dass den Skalen der „Stärke“-Dimension häufig Adjektive der taktilen Empfindung, wie „weich-hart“ oder „glatt-rau“ zugeschrieben werden. Schließlich wird bei Suzuki et al. (2005) deutlich, dass sich die Dimension „Evaluation“ keiner bestimmten Gruppe sinnesspezifischer Adjektive zuordnen lässt und somit der Schluss nahe liegt, dass dieser Faktor mit subjektiv emotionalen Konzepten in Verbindung gebracht wird, die nicht von einzelnen sensorischen Modalitäten oder deren Verarbeitung abhängig sind. Dagegen haben die Faktoren „Aktivität“ und „Stärke“ eine deutliche Beziehung zu den sensorischen Eigenschaften Hören und Tasten.

In unserer Untersuchung ordneten wir einzelne Lebensmittelworte, die in ihrer Bewertung möglichst hohe Korrelationen zu den einzelnen Dimensionen aufwiesen eben diesen Dimensionen zu, um schließlich einen Reiz festlegen zu können, der in der jeweiligen Dimension besonders ausgeprägt verarbeitet wird. Dabei ergab sich, wie bereits beschrieben, in jeder Dimension eine Klasse von Worten, die eine deutlich positive Korrelation und eine Klasse von Worten, die eine negative Korrelation aufweist. Betrachten wir nun die Lebensmittelworte der beiden Klassen der Dimension „Aktivität“, so zeigt sich, dass sich beispielsweise Knäckebrot, Krokant, aber auch Pudding oder Milchreis durchaus durch charakteristische auditorische Eigenschaften auszeichnen. Dagegen stehen bei Lebensmitteln der Dimension „Stärke“, wie Gelee, Grieß oder Chips und Kokos, taktile Eigenschaften immerhin im Vordergrund. An dieser Stelle lassen sich offensichtlich in unseren Ergebnissen Hinweise für die von Suzuki et al. (2005) beschriebenen Zusammenhänge finden.

Bei der Suche nach einer eigenständigen Dimension der Texturwahrnehmung stellten wir bereits fest, dass sich diese vor allem mit der „Aktivitäts-Dimension“ zu vermischen scheint. Dies ist in der Weise zu verstehen, dass Adjektive, die wir eindeutig der Texturempfindung zuordneten, schließlich im Faktor „Aktivität“, aber auch im Faktor „Stärke“ höhere Korrelationswerte aufweisen. Auch wenn sich in unseren Untersuchungen in der 3-Faktoren-Lösung eine „Textur-Dimension“ ergibt, so wird bei der Betrachtung der diese Dimension beschreibenden Adjektive deutlich, dass diese Adjektive je nach Anzahl der Faktoren unterschiedlichen, jedoch statistisch unabhängigen Dimensionen zugeordnet werden. Die „Textur-Dimension“ kann zwar als sinnesspezifische Dimension der somatosensorischen Wahrnehmung gedeutet werden, jedoch muss insbesondere bezüglich der Dimensionen „Aktivität“ und teilweise auch „Stärke“ von einer nicht eindeutigen Trennung auf affektiver Ebene ausgegangen werden.

Interessanterweise finden wir beim Vergleich topographischer Effekte Unterschiede bei den semantischen Klassen E+, P+, T- gegenüber den Klassen E-, P- und T+. Die Wortklassen positiver und negativer Polarität der „Textur-Dimension“ scheinen sich also gegensätzlich zu denen der beiden anderen Dimensionen zu verhalten. Betrachtet man die Worte, die diese Dimensionen beschreiben, so sind Affekte, die durch angenehme, mit Stärke oder Rauheit assoziierte Reize ausgelöst werden vergleichbar, während diesen unangenehme, mit Schwäche und glatter Textur assoziierte Stimuli gegenüberstehen. Möglicherweise handelt es sich hierbei um die Frage, welcher Polarität (rau oder glatt) der „Textur-Dimension“ Positivität und welcher Negativität zugeschrieben wird. Hervorzuheben bleibt, dass auch Reize dieser Dimension, die zwar, wie weiter oben gezeigt, Ähnlichkeiten zur semantischen „Aktivitäts-Dimension“ aufweist, doch in der vorliegenden Untersuchung zum ersten Mal beschrieben ist, zu vergleichbaren Effekten führen, wie Reize der klassischen Dimensionen Osgoods. Somit kann man davon ausgehen, dass die „Textur-Dimension“ einen wichtigen Teil der affektiven Bedeutungsebenen beschreibt.

## 4.2 Geruchs- und Geschmackswahrnehmung als emotionale Prozesse

Es wird deutlich, dass Adjektive des Geruchs und des Geschmacks, die wir in der Fragebogenstudie verwendeten, vornehmlich die Dimensionen „Stärke“ und „Evaluation“ beschreiben. So beispielsweise *lieblich/herb*, *mild/würzig* oder *duftend/beißend*. Setzt man die Bewertung innerhalb der Dimensionen mit einem Prozess kognitiver Verarbeitung gleich, wird klar, dass es sich bei Riechen und Schmecken um Prozesse handelt, welche sowohl in einer „angenehm-unangenehm“-Richtung als auch in einer „stark-schwach“-Richtung verarbeitet werden. Jedoch gibt es in unserer Untersuchung keine eigenständige Dimension dieser Sinne. Dies legt den Schluss nahe, dass es für die zentralnervöse Verschaltung wichtiger ist, ob ein Geruch oder ein Geschmack angenehm oder unangenehm, stark oder schwach ist und weniger, dass es sich dabei um einen bestimmten Geruch, wie beispielsweise Zimtduft oder einen bestimmten Geschmack, wie Vanillegeschmack, handelt.

Interessanterweise werden emotionale Prozesse in zwei Dimensionen, die man auch mit Valenz und Intensität bezeichnen kann (siehe Einleitung), verarbeitet (z.B. Anders et al., 2004). Sowohl bei der Verarbeitung von Geschmack (Small et al., 2003), visuellen Eindrücken (Carretié et al., 1997) als auch bei Geruch (Anderson et al., 2003) wird die Trennung zwischen Valenz und Intensität deutlich. Dabei steht die Intensität mit Aktivität in der Amygdala, die Valenz mit Aktivität im Orbitofrontalen Kortex (OFK) im Zusammenhang.

Es zeigt sich also, dass bei der direkten Verarbeitung von Sinnesimpulsen des Geruchs und Geschmacks differenziert wird zwischen der Intensität und der Valenz. Wir verwendeten das Konzept des semantischen Differentials als eine qualitative und quantitative Messmethode, mit deren Hilfe die Bewertung von Geruchs- und Geschmackseindrücken durchgeführt werden konnte. Im Fragebogen wurden Worte bewertet, indem zum einen entschieden werden musste, welches der beiden gegensätzlichen Adjektive eher zutrifft und zum anderen festgelegt wurde, wie stark dieses Adjektiv zutrifft. Konnotative Bedeutungen wurden also affektiv zum einen qualitativ durch die Richtung auf der Skala bewertet und zum anderen quantitativ durch die Festlegung, ob das entsprechende Adjektiv stark oder schwach zutrifft. Wir finden in unserer Untersuchung eine Differenzierung der affektiven Reaktion von Geruchs- und Geschmacksempfindungen in der Weise, dass die entsprechenden Adjektive gerade die Dimensionen „Evaluation“ und „Stärke“ beschreiben. Damit entspricht mindestens ein Teil der Geruchs- und Geschmacksverarbeitung der Verarbeitung von rein emotionalen Inhalten und wir können also eine Parallele feststellen zwischen der direkten Verarbeitung der Sinnesimpulse und der Verarbeitung des Affektes auf eben diese.

Es bleibt festzuhalten, dass, wie oben beschrieben, die Valenz einer Empfindung von Geruch und Geschmack im Zusammenhang mit der Aktivierung des OFK steht. Möglicherweise beinhaltet die Valenz, also die Wertigkeit einer Geruchs- oder Geschmacksempfindung, die affektive Konnotation eben dieser Empfindung, die sich wiederum durch die beiden Dimensionen „Stärke“ und „Evaluation“ beschreiben lässt. Bei Small et al. (2003) wird von einer dreidimensionalen Verarbeitung von Gerüchen ausgegangen. Diese Dimensionen stehen für die verschiedenen Charakteristika der Wahrnehmung wie Qualität, Intensität und Affekt. Es wird also verdeutlicht, dass die beispielsweise von Anders et al. (2004) beschriebene Valenzdimension, die bei emotionalen Prozessen, sowie der Verarbeitung von Geruch und Geschmack eine wichtige Rolle zu spielen scheint, sich auf den Affekt und damit auch auf die konnotative Bedeutung bezieht, die eine solche Sinnesempfindung auslöst. Die von uns gefundenen semantischen Dimensionen beschreiben gerade diese affektive Reaktion. Vor diesem Hintergrund muss die Dimension „Stärke“ differenziert betrachtet werden, indem sie einerseits die physikalische Intensität beschreibt, mit der eine emotional besetzte Sinneswahrnehmung gemacht wird und in diesem Sinne einen Einfluss auf die weitere Verarbeitung hat. Die „Stärke“ beschreibt andererseits im weiteren Verlauf des kognitiven Prozessierens eine Dimension des Affektes, den ein Sinneseindruck hinterlässt.

Trotz dieser Differenzierung des Begriffs der Stärke, bleibt offensichtlich, dass die Verarbeitung von Geruch und Geschmack vergleichbar ist mit der Verarbeitung von emotionalen Inhalten. Dieser Vergleich der Verschaltung der beiden Sinne Geruch und Geschmack mit Emotionen erklärt wiederum deren komplex erscheinende, zentralnervöse Verarbeitung, in der die Geschmacksrichtung oder die Art des Geruches selbst nicht außerordentlich bedeutsam sind oder nur ganz zu Beginn entscheidend dafür sind, wie die Impulse weitergeleitet werden. Wie weiter oben bereits erläutert, steht die Dimension „Evaluation“ stark mit subjektiven emotionalen Konzepten im Zusammenhang (Suzuki et al., 2005). Dies verstärkt die Annahme, dass Riechen und Schmecken vornehmlich auch emotionale Prozesse sind und dass sich deshalb die entsprechenden Adjektive in der Evaluationsdimension zum großen Teil wiederfinden.

Zwischen subjektivem emotionalem Erregungszustand und der Hirnaktivität gibt es einen Zusammenhang, wie die differenzierte Betrachtung zwischen der Valenz und der Intensität eines emotionalen Inhaltes und deren ausgelöster Aktivität zeigen. Mittels MRT-Untersuchungen kann die Aktivierung im medialen präfrontalen Kortex und in der Amygdala als Reaktion individuell als emotional bewertete Reize gemessen werden (Phan et al., 2003).

Differenzierter lassen sich diese Effekte auf emotionale Stimuli mit Hilfe des EEGs untersuchen. In einer ERP-Studie (Cuthbert et al., 2000) wurden Bilder zunächst bezüglich der Dimensionen „Valenz“ und „Intensität“ emotional bewertet. Es zeigte sich, je höher das durch die Bilder ausgelöste Erregungsniveau bewertet wurde, desto größer waren die gemessenen evozierten Potentiale. Dieser Effekt war vor allem in späten positiven Potentialen zu finden. Dass dieser Effekt noch in den späten Verarbeitungsschritten vorhanden ist oder hier gar größer wird, lässt den Schluss zu, dass emotionale Reize wegen ihres motivierenden Stellenwertes zu einer anhaltenden sorgfältigen Verarbeitung führen (Cuthbert et al., 2000). In unserer Untersuchung führten Lebensmittelworte der Reizklasse P+ (also die Assoziation „stark“) zu höheren GFP-Werten als die Reizklasse P- (Assoziation „schwach“). Ebenfalls zeigt sich dieses Verhältnis besonders ausgeprägt in den späten Komponenten (Zeitbereich um 782 ms und um 862 ms).

Wir finden also parallel zu den Potentialen mit höherer Amplitude, die sich durch besonders intensive emotional beladene Reize auslösen ließen, ebenso größere Amplituden, wenn der Affekt eines Reizes in der Dimension „Stärke“ als besonders „stark“ und nicht als „schwach“ eingestuft wird. Offensichtlich hat neben der Valenz im Sinne von Evaluation und der Intensität eines Stimulus auch die Bewertung des Affektes in der Dimension „Stärke“ einen Einfluss auf den neuronalen Verarbeitungsprozess. Da sich typische

Verarbeitungsmuster übereinstimmend aufweisen lassen, ist dies ein zusätzlicher Beleg dafür, dass es sich bei der Verarbeitung von multisensorischen Worten, insbesondere von Worten, die mit Geruch und Geschmack im Zusammenhang stehen, um emotionale Prozesse handelt.

### **4.3 Frühe Effekte evozierter Potentiale**

In den Ergebnissen unserer Untersuchung ist hervorzuheben, dass es bereits sehr früh innerhalb der ersten Komponenten (um 107 ms und um 229 ms) zu Effekten in der Verarbeitung kommt, und dass diese schließlich nicht nur von der jeweiligen Modalität beeinflusst werden. Vielmehr sind diese Effekte, wie hier gezeigt und auch schon bei Skrandies (1998) dargestellt, von der assoziativen Bedeutung abhängig, die bei uns durch die Bedeutungsdimensionen differenziert wurden und die offensichtlich auf sehr frühe kortikale Bewertungsprozesse zurückzuführen sind. Solche kognitiven Bewertungen nehmen dann vollkommen unbewusst Einfluss auf die Sinnesverarbeitung. Auch bei Skrandies und Reuther (2008) zeigten sich bereits ab 80 ms nach Reizdarbietung Unterschiede in der semantischen Verarbeitung passender und nicht-passender multisensorischer Reize. Ähnlich können Scott et al. (2009) in einer ERP-Studie zeigen, dass es nach der Präsentation von angenehmen, unangenehmen und neutralen Bildern sehr schnell zu einer Identifikation der jeweiligen emotionalen Färbung kommt und dies wiederum die Verarbeitung bereits sehr früh beeinflusst. Dabei hatten Effekte emotional beladener Bilder im Vergleich zu neutralen Bildern geringere Latenzen und führten zu größere Amplituden. Dies zeigt ebenfalls die große Bedeutung der emotionalen Konnotation und wie diese die Art der zentralen Verarbeitung bestimmt. Auch Hoffmann et al. (2009) stellten fest, dass die emotionale Färbung eines Wortes im Gegensatz zu neutralen Worten in einer sehr frühen Phase einen entscheidenden Einfluss auf die Verarbeitung nimmt. Bereits zwischen 80 und 120 ms nach Reizdarbietung zeigten positive Worte und negative Worte mit hohem Erregungsniveau größere Amplituden im Vergleich zu neutralen Stimuli.

Die semantische Informationsverarbeitung wird also als eine der frühesten Stufen der Verarbeitung aktiviert. Das bedeutet, dass schon im visuellen Kortex, je nach Bedeutungsinhalt verschiedene Nervenzellpopulationen aktiv sind, was sich in den aufgezeigten frühen Effekten spiegelt (Skrandies, 1999). Diese spezifische Aktivierung ist nicht beschränkt auf Worte, die visuelle Assoziationen auslösen. Die beschriebenen frühen Effekte beziehen sich auf emotionale Konnotationen, ausgelöst durch die jeweilige Wahrnehmung. Da es sich in unserer Untersuchung aber um durch multisensorische Worte

ausgelöste Potentiale handelte, können unsere Ergebnisse als Erklärung dienen für die frühen multisensorische Interaktionen, die hier und im Abschnitt 1.4.5 dargestellt sind. Foxe und Schroeder (2005) stellten fest, dass die Interaktionen zwischen verschiedenen Modalitäten schon so früh (um 46 ms nach Reizdarbietung) stattfinden, dass als Erklärung hierfür eine reine „feedback“-Modulation im Sinne eines top-down Prozesses nicht ausreicht. Vielmehr wird eine „feedforward“-Modulation angenommen, was bedeutet, dass die Interaktionen bereits auf einer frühen, niedrigen Stufe der Verarbeitung Einfluss auf die weitere kognitive Prozessierung der Sinnesempfindung nehmen. Die von uns beschriebenen Bedeutungsdimensionen sind dabei eine Möglichkeit das Prinzip zu beschreiben, nach dem multisensorische Interaktionen auf dieser frühen Stufe der Verarbeitung ablaufen.

Wie auch schon von Hoffmann et al. (2009) vorgeschlagen, liegt der Vorteil eines so frühen Einflusses konnotativer Bedeutungen einer Sinneswahrnehmung am ehesten darin, die Reaktion auf diese Wahrnehmung, im Sinne eines Schutzmechanismus, schnell und gezielt modulieren zu können. Auf diese Weise kann Verhalten schneller und adäquat angepasst werden unabhängig von bewussten Wahrnehmungsprozessen (Foxe und Schroeder, 2005).

#### **4.4 Effekte der Verarbeitung im zeitlichen Verlauf der ausgelösten Hirnaktivität**

In einer ERP-Untersuchung von Delplanque et al. (2004) wurden durch emotionale Reize ausgelöste Potentiale aufgezeichnet. Als emotionale Reize dienten in dieser Studie angenehme, unangenehme und neutrale Bilder. Es zeigt sich dabei, dass unangenehme Reize in Zeitbereichen um 100 ms und um 200 ms zu höheren Potentialen führen als angenehme. Dagegen sind die Potentiale negativ besetzter Stimuli zwischen 300 und 400 ms kleiner als die der positiven. Insbesondere an den Elektroden Fz, Cz und Pz gemessene Potentiale zeigten diese Befunde. Entsprechend konnten wir feststellen, dass die GFP für negative Polaritäten ungeachtet der zugrunde liegenden Dimension, also der Klassen E-, P- und T-, bis zum 4. Zeitbereich, der bei 350 ms endet, ebenfalls höher ist als für positive Klassen (E+, P+ und T+) und dass sich dieses Verhältnis in späteren Verarbeitungskomponenten umkehrt. Insbesondere die Verteilung der Klassen der Dimension „Evaluation“ lässt hier den Vergleich zu Effekten der positiv und negativ besetzten Stimuli in den Untersuchungen von Delplanques et al. (2004) zu. Allerdings können wir in unserer Studie bei diesen Effekten keine Aussage über bestimmte Lokalisationen dieses Effektes machen, da es sich um die globale Feldstärke handelt (GFP).

Bezüglich typischer Komponenten, die durch die Analyse sensorisch evozierter Potentiale, gefunden werden, scheint die einzige mögliche Vergleichbarkeit unserer Ergebnisse zu der N300-Komponente zu bestehen. Diese tritt mit einer Latenz zwischen 275 und 325 ms auf und wird durch affektive Charakteristika von visuellen emotionalen Reizen moduliert. Es zeigt sich, dass diese Komponente vor allem frontal abgeleitet werden kann, wenn es sich um anziehende Reize handelte und eher parietal, wenn der Reiz als abstoßend empfunden wurde (Carretié et al, 1997). Gerade im genannten Zeitraum befindet sich in unseren Ergebnissen die 4. Komponente, die zwischen 258 ms und 350 ms liegt und in der wir signifikante Effekte finden. Zunächst ist in diesem Zeitfenster die GFP für Reize positiver Polarität (E+, P+, T+) kleiner als für die Reize negativer Polarität, wodurch eine Differenzierung zwischen angenehmen, starken und glatten zu unangenehmen, schwachen und rauen Assoziationen stattfindet. Außerdem kommt es auf dieser Stufe der Verarbeitung zu signifikanten topographischen Effekten, die im nächsten Abschnitt diskutiert werden.

Bei der Betrachtung der Reizklassen aus der Dimension Evaluation gelangt man zu dem Ergebnis, dass unangenehme Reize (E-) in den Komponenten um 107 ms und 229 ms zu höheren GFP-Werten führen als angenehme Reizklassen (E+). Dieses Verhältnis bleibt in unserer Untersuchung allerdings auch in den Komponenten um 782 ms und 862 ms bestehen. Dabei ist jedoch in den späteren Komponenten der Unterschied zwischen den positiven und negativen Reizklassen der Dimension Evaluation im Gegensatz zu den früheren Zeitpunkten nahezu aufgehoben. In einer ERP-Studie von Skrandies (1998) zeigt sich ebenfalls, dass in einem Zeitbereich zwischen 130 und 195 ms unangenehm bewertete Reize (E-) höhere GFP-Werte hervorrufen als angenehme Reize (E+). Ähnlich wie Delplanque et al. (2004) kommen auch wir zu dem Ergebnis, dass die einzelnen Schritte der kognitiven Verarbeitung eines Reizes von dessen emotionaler Bewertung entscheidend mit beeinflusst werden, wobei es sich zum einen um direkt an den Elektroden gemessene Potentiale handelt und zum anderen um die durch die Summe aller Potentialdifferenzen berechnete GFP.

Im Unterschied zu unseren Ergebnissen und denen von Skrandies (1998) zeigten ERP-Untersuchungen von Cuthbert et al. (2000) Effekte auf die P300-Welle. Diese steht klassischerweise im Zusammenhang mit der Relevanz einer Aufgabe und der Aufmerksamkeit, die dieser Aufgabe beigemessen wird sowie ihrer Vorhersehbarkeit und wurde bereits von Sutton et al. (1965) beschrieben. In der Studie von Cuthbert et al. (2000) wurden durch emotional belegte Bilder ausgelöste Potentiale gemessen. Die Probanden hatten die Aufgabe sich die emotional besetzten Bilder für eine kurze Zeit nach der Darbietung weiter vorzustellen und anschließend ihre emotionale Reaktion auf das entsprechende Bild



anhand einer bipolaren Skala, welche die affektive Valenz und das Erregungsniveau misst, zu bewerten. Zwischen 300 und 400 ms lösten angenehme Bilder die größten Potentiale an den Elektroden Fz, Cz und Pz aus im Vergleich zu unangenehmen und neutralen. Dieser Effekt war auch noch zwischen 400 und 700 ms deutlich. In einer noch späteren Phase der Verarbeitung zwischen 700 und 1000 ms waren dann keine Unterschiede zwischen angenehmen und unangenehmen Bildern mehr zu finden, jedoch lösten beide größere Potentiale aus als neutrale Stimuli. Dies ist vergleichbar mit unserem Effekt in den Komponenten um 782 ms und 962 ms, in denen Reize der Klassen E+ und E- zu annähernd gleichen GFP-Werten führen. Hervorzuheben ist also, dass der in dieser Studie gefundene Effekt schon zwischen 200 und 300 ms begann. Um diesen Zeitbereich finden sich bei Delplanque et al. (2004) und bei uns größere Potentiale beziehungsweise eine größere GFP für negativ besetzte Reize. In unserer Studie hält dieser Effekt schließlich bis 350 ms an. Im anschließenden Zeitbereich zeigten sich bei uns keine signifikanten GFP-Effekte. Allerdings ist der von uns gefundene GFP-Verlauf vergleichbar mit dem Potentialverlauf der beschriebenen Studien. Schließlich ging es in unserer Studie vornehmlich um die Sinnesverarbeitung, wobei diese Verarbeitung zum Teil große Ähnlichkeit zur Verarbeitung emotionaler Inhalte aufweist, jedoch weitaus nicht vollständig mit dieser übereinstimmt.

Neben den Aussagen über angenehme und unangenehme Konnotationen können wir durch unsere Ergebnisse auch Effekte bei solchen Nebenbedeutungen finden, die sich auf eine Assoziation mit Stärke beziehungsweise Schwäche beziehen. Im Gegensatz zur „Evaluations-Dimension“ nehmen die GFP-Werte, welche durch die Reizklassen ausgelöst werden, die mit Stärke beziehungsweise Schwäche assoziiert sind (P+ oder P-), einen anderen zeitlichen Verlauf. Wie beschrieben, gleichen sich positive und negative Klassen der Dimension „Evaluation“ in den späteren Verarbeitungskomponenten immer weiter an. In der Dimension „Stärke“ zeigt sich dagegen zu Beginn in der Komponente um 107 ms kaum ein Unterschied zwischen starken und schwachen Reizen, wobei die starken bezüglich ihrer GFP leicht über den schwachen liegen. Im weiteren Verlauf nimmt der Unterschied in späteren zeitlichen Komponenten (um 782 ms und um 862 ms) zwischen der durch die Reizklassen P+ und P- ausgelösten GFP deutlich zu. Dabei führen Worte, die Assoziationen zu *geräuschvoll*, *steif*, *knackig* und *stark* (P+) auslösen zu höheren GFP-Werten als solche, die mit *still*, *elastisch*, *labberig* und *schwach* (P-) in Verbindung gebracht werden. Es zeigt sich also ein immer deutlicherer Unterschied zwischen den positiven und den negativen Klassen dieser Dimension, was im Gegensatz zu den Polaritäten der Dimension Evaluation steht. Während es zwischen E+ und E- schon sehr früh zu Unterschieden kommt, die dann weniger werden,

tauchen Differenzen zwischen P+ und P- erst später auf und werden deutlicher. Dies ist ein Hinweis dafür, dass der Einfluss konnotativer Inhalte, die sich auf die „Stärke“ beziehen, auf die zentrale Verarbeitung erst später bedeutsam wird, dagegen die emotional bewertenden Konnotationen (Evaluation) schon früher an Einfluss gewinnen.

Ähnlich hierzu zeigt sich bei Cuthbert et al. (2000), dass sowohl angenehme, als auch unangenehme Bilder, sofern sie affektiv als intensiv eingestuft wurden, zu positiveren Potentialen führten als solche mit niedrigem Erregungsniveau. Dieser Vergleich kann angestellt werden, wenn man unsere Dimension P+ mit dem affektiv als hoch bewerteten Erregungsniveau gleichsetzt. Zusätzlich trat dieser bei Cuthbert gefundene Effekt in einem Zeitfenster zwischen 700 und 1000 ms auf und entspricht damit dem Auftreten der von uns gefundenen Effekte in den späten Zeitkomponenten. Es gibt also klare Hinweise darauf, dass eine affektive Konnotation zu Stärke beziehungsweise Intensität insbesondere Effekte auf späte Schritte der zentralnervösen Verarbeitung haben und damit möglicherweise mehr von kognitiven Prozessen beeinflusst sind.

Auch in der Untersuchung evozierter Potentiale von Skrandies (1998) zeigt sich ein entsprechendes Verhalten der Effekte, indem Potentiale durch allgemeine Worte ausgelöst wurden, die in den klassischen Dimensionen (Evaluation, Potency, Activity) nach Osgood besonders hohe Werte aufwiesen. Dies macht deutlich, dass es bestimmte Merkmale der Verarbeitung dieser Dimension „Stärke“ gibt, die nicht davon abhängig sind, ob die Konnotation zu dieser Dimension durch allgemeine Worte oder durch multisensorisch-assoziierte Worte (Lebensmittelworte) zu Stande kommt.

Schließlich bleibt in diesem Zusammenhang der Verlauf der GFP zu betrachten, die durch Reize der Texturdimension ausgelöst wird. Hier finden sich in den frühen Komponenten ähnlich wie in der Dimension „Evaluation“ größere GFP-Werte für die Reize negativer Polarität. Wie zwischen den beiden Klassen der Dimension „Stärke“ nimmt die Differenz zwischen den beiden Klassen der Texturdimension (T+ und T-) zu, allerdings nicht so stark wie der Unterschied zwischen „starken“ und „schwachen“ Reizen.

Während in den vorangegangenen Abschnitten dargestellt wurde, wie sich im Verlauf der Zeit die gemessene GFP ändert, die durch Reize der unterschiedlichen Klassen hervorgerufen wird, zeigt sich auch bei der Betrachtung der Latenzzeiten, dass es zu einem signifikanten Wechsel beim Vergleich früher und später Komponenten kommt. Im ersten Zeitbereich um 110 ms ergeben sich für die Klassen positiver Polarität deutlich niedrigere Latenzzeiten als für die Klassen negativer Polarität. Das heißt also, dass in den frühen Schritten der Verarbeitung die Klassen, die für die Konnotation von *angenehm*, *stark* und

*glatt* stehen (E+, P+ und T+) „schneller“ zu einer messbaren Reaktion führen, während dies in der späteren Komponente um 480 ms für die Klassen E-, P- und T- der Fall ist, die mit *unangenehm*, *schwach* und *rau* assoziiert sind. Im Vergleich zu diesem Verhältnis zeigten sich in der Untersuchung von Skrandies (1998) in der Komponente um 600 ms ebenfalls größere Latenzzeiten für Klassen positiver Polarität.

Wir können also feststellen, dass in früheren Zeitbereichen der Verarbeitung Klassen mit positiver Polarität zu einer kleineren GFP mit einer geringeren Latenz, dagegen Klassen negativer Polarität zu höheren GFP-Werten führen und sie dafür mehr Zeit „benötigen“. In späteren Verarbeitungskomponenten gilt dies dagegen in umgekehrter Weise und es wird somit deutlich, dass nicht nur die Dimensionen als solches einen wichtigen Einfluss auf den zeitlichen Ablauf der zentralnervöse Verarbeitung haben, sondern dafür auch die Richtung, also die Polarität innerhalb der Dimensionen eine entscheidende Bedeutung hat.

#### **4.5 Topographische Effekte**

Auch bei der räumlichen Verteilung der Ladungsschwerpunkte (Zentroide) zeigen sich signifikante Unterschiede zwischen frühen und späten Komponenten. Betrachtet man in unserer Untersuchung den positiven Ladungsschwerpunkt, so wird deutlich, dass sich dieser im zweiten Zeitbereich um 169 ms für die positiven Wortklassen signifikant hinter dem der negativen Wortklassen befindet, also weiter okzipital. In einem ähnlichen Zeitfenster um 223 ms zeigte sich bei Skrandies (1998) der positive Zentroid der positiven Wortklassen an der gleichen Inion-Nasion-Position (45,5%), doch lag der Ladungsschwerpunkt der negativen Klassen mit 37,5% noch weiter okzipital, also hinter dem der positiven Klassen. Schließlich finden wir in unseren Ergebnissen im Zeitbereich um 657 ms ebenfalls den Zentroid der negativen Wortklassen hinter dem der positiven Wortklassen, während sich dieser im zeitlichen Verlauf nur wenig nach hinten verschiebt. Zusammenfassend kann man sagen, dass die Lage des positiven Zentroids der Wortklassen mit positiver Polarität recht stabil bleibt und sich nur leicht in Richtung Inion verschiebt. Dagegen findet sich ganz zu Beginn der Verarbeitung (169 ms) der Zentroid der negativen Wortklassen noch vor dem der positiven und scheint, wenn man die Ergebnisse von Skrandies (1998) mit einbezieht, recht bald, also schon um 223 ms relativ weit nach hinten zu „springen“. Wie zu erwarten, verhält sich der negative Ladungsschwerpunkt spiegelverkehrt, indem dieser sich in späteren Verarbeitungsschritten für die negativen Wortklassen vor dem der positiven Wortklassen befindet.

Insgesamt zeigt sich hier, dass die Lage des Ladungsschwerpunktes durch die semantischen Klassen beeinflusst wird. Daraus lässt sich der Schluss ziehen, dass unterschiedliche Nervenzellpopulationen durch die den einzelnen semantischen Dimensionen zugeordneten Reize aktiviert werden. Allerdings kann man nicht direkt von dieser Lage auf den genauen Ort der Verarbeitung schließen. Dafür wären weitere computergestützte Berechnungen notwendig. Da es sich in unserem Experiment um visuelle Reize handelt, kann man davon ausgehen, dass diese zumindest in einer frühen Verarbeitungsphase im Okzipitallappen verarbeitet werden und später, wenn die Imagination eines Sinneseindrucks im Vordergrund steht, eher von einer Verarbeitung im OFK ausgegangen werden kann. Diesbezüglich lassen die Potentialkarten vermuten, dass genau dort, wo sich viele Potentiallinien befinden und somit Potentialgradienten bestehen, auch viele aktivierte Neurone liegen müssen. Diesen Hinweis geben bereits EEG-Untersuchungen von Skrandies (2005). Um eine genaue topographische Analyse in diesem Sinne vorzunehmen, eignen sich bildgebende Verfahren möglicherweise besser als das EEG. Entscheidend ist zunächst jedoch, dass die von uns gefundenen semantischen Klassen signifikant auf die Topographie Einfluss nehmen und dass das EEG wenigstens Hinweise auf die Lage aktivierter Nervenzellpopulationen zu geben vermag.

In bereits mehreren erwähnten Studien wurde deutlich, dass die emotionale Bewertung von Sinneseindrücken einen Einfluss auf die Topographie der Verarbeitung im Hinblick auf Hemisphärenunterschiede hat. Eine PET-Studie von Royet et al. (2000) zeigte, dass ungeachtet der Sinnesmodalität angenehme und unangenehme emotionale Bewertungen zu einer erhöhten Aktivität in der linken Hemisphäre führen. Es wird weiterhin postuliert, dass der obere frontale Gyrus der linken Hemisphäre (Brodmann-Areal 19) beim Erleben von Emotionen im Allgemeinen aktiv ist. In unseren Ergebnissen zeigte sich bei der Betrachtung der Ladungsschwerpunkte, dass sich diese zunächst nahe der Mittellinie befinden. Dieser Befund gleicht Ergebnissen von Skrandies (1998). Allerdings liegen sowohl die positiven als auch die negativen Ladungsschwerpunkte der Klassen E-, P- und T+ fast auf der Mittellinie, während die positiven Ladungsschwerpunkte von E+, P+ und T- signifikant auf der rechten Hemisphäre liegen und die negativen Ladungsschwerpunkte auf der linken Hemisphäre. Dabei ist zu beachten, dass dieser Effekt für die Dimension „Textur“ schwächer ausgeprägt ist.

Außerdem kommt es auch bei der im Abschnitt 4.4 beschriebenen N300 Komponente (Carretié et al., 1997) zwischen 275 ms und 325 ms, die unserer vierten Komponente (258-350 ms) entspricht, zu signifikanten topographischen Effekten. Durch die dargestellte

räumliche Verteilung der sechs Klassen (E-,E+,P-,P+,T-,T+) wird die evaluative Differenzierung der einzelnen Klassen als Parallele zur N300-Komponente deutlich, die für die Reaktionen auf emotional beladene visuelle Reize steht.

Allerdings konnten von Carretié et al. (1997) keine wesentlichen Hemisphäreneffekte in dieser Komponente festgestellt werden. Dagegen zeigten sich in verschiedenen Untersuchungen (Dolcos et al., 2002; Anderson et al., 2003; Kline et al., 1999), dass angenehme Reize eher in der linken Gehirnhälfte und unangenehme eher in der rechten Gehirnhälfte zu einer erhöhten Aktivität führen. Es bestehen Hinweise darauf, dass einfache kognitive Prozesse von beiden Hemisphären gleichermaßen ausgeführt werden können, dagegen Unterschiede der beiden Kortexhälften eher bei spezifischeren Aufgaben auftreten. Dies zeigt eine EEG-Untersuchung von Skrandies et al. (1999), in der zum einen entschieden werden musste, ob es sich bei dargebotenen Worten um Anagramme handelte und zum anderen arithmetische Aufgabenstellungen bewertet werden sollten. Im Hinblick auf unsere Ergebnisse kann man sagen, dass eine einfache topografische Zuordnung von angenehmen und unangenehmen Reizen nicht möglich ist, da die affektive Bewertung differenzierter stattfindet. Außerdem spielen bei der räumlichen Zuordnung der Verarbeitung von Sinnesempfindungen auch höhere kognitive Prozesse eine Rolle, wie beispielsweise das Sättigungsgefühl oder die Identifikation und Präferenz eines Reizes (Kobayashi et al., 2004). In diesem Zusammenhang wird weiterhin erwähnt, dass bei der kombinierten Verarbeitung von visuellem Eindruck und Geruch Primärverstärker identifiziert werden, was ebenfalls zur räumlichen Verteilung der Potentiale beiträgt.

Nehmen wir den positiven Ladungsschwerpunkt als Orientierung für eine topographische Zuordnung, so lässt sich unter Vorbehalt sagen, dass angenehme Reize und solche, die mit Stärke und Rauheit assoziiert sind, eher auf der rechten Hemisphäre lokalisiert werden können. Dies steht im Gegensatz zu Ergebnissen von Kline et al. (1999), in dessen EEG-Untersuchungen eine höhere Aktivität links-frontal festgestellt wurde, wenn ein angenehmer Duft (Vanille) dargeboten wurde und sich dieser Effekt nach rechts-frontal verlagerte, wenn ein unangenehmer Duft (Baldrian) geboten wurde. Darüber hinaus zeigte sich bei Probanden, die eine höhere links-frontale Ruheaktivität im EEG aufwiesen, dass diese Probanden häufiger angenehme Wortpaare auswählten (Sutton und Davidson, 2000). Wie bereits hervorgehoben, sind die Potentiale, sowie deren räumliche Verteilung, in der vorliegenden Studie durch den kognitiven Prozess der Imagination beeinträchtigt, was den direkten Vergleich zu Topographieeffekten realer Sinneswahrnehmung nur eingeschränkt zulässt.

Es ist zu beachten, dass es sich bei unserem Experiment um imaginierte Sinneseindrücke handelte. In diesem Zusammenhang zeigte sich bei Kobayashi et al. (2004) durch die Messung der Oxygenierung des Blutes im Gehirn, dass bei der Vorstellung von Geschmack im Gegensatz zur tatsächlichen Geschmackswahrnehmung vor allem die linke Inselregion und weiterhin der mittlere und frontale Gyrus aktiv sind. Gerade die beiden letztgenannten Regionen scheinen bei der Imagination von Sinneseindrücken im Sinne einer „top-down“-Regulation eine wichtige Rolle zu spielen. Bei der passiven, also der realen aufsteigenden Geschmackswahrnehmung, ohne dass weitere kognitive Aufgaben damit verbunden waren, traten keine Hemisphärenunterschiede auf. Folglich lässt sich für unsere Ergebnisse sagen, dass zunächst die Lage der Zentroide nahe der Mittellinie auf die Generierung einer Sinnesvorstellung zurückzuführen sein könnte und sich die affektive Bewertung in den signifikanten Unterschieden der Ladungsschwerpunktverteilung auf der Kopfoberfläche widerspiegelt, in denen durchaus kleine Hemisphärenunterschiede bestehen.

Bezüglich der Topographie ist außerdem zu erwähnen, dass es sich bei den Stimuli in unserer Untersuchung um sogenannte Inhaltsworte (content-word) handelte, die im Gegensatz zu Funktionsworten Assoziationen zu weit verbreiteten neuronalen Netzwerken haben (Skrandies, 1998). Dieser Befund ist ein weiterer Hinweis dafür, dass eine klare Zuordnung bestimmter affektiver Reaktionen zu einzelnen Orten nicht eindeutig möglich ist. Außerdem ist bei semantischen Aufgaben sowohl die linke als auch die rechte Hirnhälfte wichtig, was erklären könnte, dass sich in früheren Studien zum semantischen Differential (Skrandies, 1998) keine und bei uns eher schwache Hemisphärenunterschiede ergaben.

#### **4.6 Schlussfolgerungen**

Zunächst war es möglich, Lebensmittelworte, die zu multisensorischen Assoziationen führen, mithilfe des semantischen Differentials konsistent zu beurteilen. Dabei ergaben sich die Dimensionen „Evaluation“, „Stärke“ und „Textur“. Die „Textur“-Dimension ist dabei eine erstmals beschriebene semantische Dimension, die im Zusammenhang mit der Bewertung multisensorischer Reize auftritt.

In der vorliegenden Untersuchung hat sich gezeigt, dass die verschiedenen semantischen Klassen Effekte hervorrufen, die sich voneinander unterscheiden. Dies bedeutet, dass durch die verschiedenen Reizklassen unterschiedliche Nervenzellpopulationen erregt werden. Zu bedenken ist hierbei, dass es sich primär um Wortverarbeitung handelt, wobei zunächst Bahnen des visuellen Systems aktiviert werden. Allerdings werden entsprechend der

Auswahl der Reizworte und der Aufgabenstellung während des Experimentes Assoziationen zu den Sinnen Geruch, Geschmack, Sehen und Textureindruck hergestellt. Da es, wie oben beschrieben, klare Anhaltspunkte für sich überschneidende Areale und damit aktive Nervenzellpopulationen bei imaginierten und „tatsächlichen“ Sinneswahrnehmungen gibt, lassen sich unsere Ergebnisse als Hinweis deuten, dass die Verarbeitung von den genannten Sinnen zum einen von den ausgelösten Konnotationen und zum anderen von der Bewertung dieser Konnotationen abhängt und zumindest teilweise dadurch erklärt werden kann.

Es bestehen natürlich Einschränkungen in der Übertragung der imaginierten Sinnesempfindung auf die tatsächliche chemosensorische Wahrnehmung. Beispielsweise spielte in unserer Untersuchung die Intensität oder die genaue chemische Zusammensetzung eines Reizes keine Rolle, so dass es keine Differenzierung der Verarbeitung von sehr starkem Vanillegeschmack oder -Duft im Gegensatz zu sehr schwachen oder dezenten geben konnte. Typische Komponenten, die bei der Untersuchung von Sinneswahrnehmungen mithilfe des EEGs gefunden werden, können somit hier nur eingeschränkt verglichen werden. Wie beschrieben (vgl. Abschnitt 4.4), gibt es in unserer Studie zeitliche und topographische Effekte, die sich mit der N300 Komponente vergleichen lassen. Diese Komponente bezieht sich auf Potentiale, die durch visuelle emotionale Reize ausgelöst werden (Carretié et al., 1997). Des Weiteren wird in der Literatur eine P300 Komponente beschrieben, die einen psychologischen Prozess in der Reiz-Informationen-Verarbeitung widerzuspiegeln scheint und sich auch auf verschiedene emotional-evaluative Aspekte eines Sinneseindrucks bezieht, wie im Abschnitt 4.4 dargestellt. Ein Hauptcharakteristikum dieses Effektes ist, dass er besonders auf das Maß der Relevanz eines Reizes reagiert (Sutton et al., 1965). In unserem Versuch kann man davon ausgehen, dass die Reize allesamt als relevant erachtet wurden, da die Probanden ja dazu angehalten waren, sich eine möglichst genaue Vorstellung von jedem durch ein Wort repräsentiertes Lebensmittel zu machen. Jedoch kann dieser Effekt eher mit einer aufsteigenden Art der Verarbeitung in Zusammenhang gebracht werden, der durch periphere Sinnesreize hervorgerufen wird während bei uns der Anteil der Verarbeitung, der sich auf die Sinne bezieht, primär kortikal generiert wurde. Dadurch erklärt sich, dass wir im Zeitraum dieser Komponente keine signifikanten Effekte der einzelnen Reizklassen feststellten.

Bezüglich der von uns gefundenen Hemisphärenunterschieden, können wir sagen, dass diese zum einen auf der Tatsache beruhen, dass es sich hierbei um imaginierte Sinnesempfindungen handelte (vgl. Kobayashi et al., 2004). Auf der anderen Seite lassen unsere Ergebnisse den Schluss zu, dass sich in den topographischen Effekten emotionale

Konnotationen widerspiegeln, die bei der Verarbeitung multisensorischer Reize wahrscheinlich eine Rolle spielen.

Wie bereits beschrieben, werden emotionale Prozesse zweidimensional in den Dimensionen Valenz und Intensität verarbeitet. In einer ERP-Studie, in welcher emotional beladene Bilder und Worte repräsentiert wurden (Gianotti et al., 2008), zeigte sich, dass unabhängig von der Reizmodalität die Unterscheidung zwischen Valenz und Intensität gemacht und innerhalb dieser Dimensionen noch weiter differenziert wird. Schließlich zeigte sich auch, dass dabei die Valenzdimension zeitlich vor der Intensitätsdimension verarbeitet wird. Im Prinzip untersuchten wir Affekte, die sich innerhalb der Valenzdimension abspielen. Diese führen schon während sehr früher Verarbeitungskomponenten zu signifikanten Effekten, wie wir zeigen können. Bereits früher als 100 ms nach Reizdarbietung beginnen sich affektive Reaktionen entsprechend der sechs von uns Untersuchten Reizklassen (semantische Dimensionen) zu differenzieren (E+, E-, P+, P-, T+, T-). Auch in anderen Untersuchungen wurden wiederholt Effekte affektiver Reaktionen ab diesem frühen Zeitpunkt gefunden (Skrandies, 1998; Skrandies und Chiu, 2003, Skrandies und Reuther, 2008; Hoffmann et al., 2009; Scott et al., 2009). Die semantischen Dimensionen sind also eine mögliche Erklärung für das Prinzip, nach dem eine sehr frühe Verarbeitung emotionaler und multisensorischer Reize stattfindet. Allerdings sind genaue Latenzangaben über einzelne Effekte neben der Dauer der Reizdarbietung auch von der Modalität des Reizes abhängig. Dadurch wird wiederum verständlich, weshalb es schwierig ist durch Worte ausgelöste multisensorische Imaginationen bezüglich einzelner Komponenteneffekte mit tatsächlich gemachten multisensorischen Empfindungen zu vergleichen. So gibt es zwar Überschneidungen zwischen den einzelnen Hirnarealen, doch sind wahrscheinlich auch andere Bahnsysteme aktiv.

Schließlich deuten wir die signifikanten Effekte der semantischen Differenzierung als klaren Hinweis auf die Art und Weise wie tatsächlich gemachte Sinnesempfindungen verarbeitet werden. Wir können sagen, dass es wahrscheinlich ist, dass bei dieser Verarbeitung Konnotationen und deren Bewertung eine sehr wichtige Rolle spielen. In Zukunft sollten unsere Ergebnisse anhand von Studien, in denen reale Sinneswahrnehmungen gemacht werden, gefestigt werden. Diese und weitere Ergebnisse tragen dazu bei, die komplexe Arbeitsweise des Gehirns, menschliches Verhalten und der Kommunikation mit der Umwelt zu verstehen und damit auch bei Störungen in diesem System gezielter eingreifen zu können.



## 5 Zusammenfassung

Mithilfe des semantischen Differentials lassen sich konnotative Bedeutungsdimensionen von Worten finden, die einen Teil der neuronalen Verarbeitung erklären können. Dies zeigt sich, indem Stimuli der verschiedenen semantischen Klassen zu unterschiedlichen zentralnervösen Reaktionen führen. Auch die Verarbeitung von Sinneswahrnehmungen wie Geruch, Geschmack, Sehen und Texturwahrnehmung scheint von konnotativen Bedeutungen abhängig zu sein. Um dies zu untersuchen, bewerteten zunächst 795 Versuchspersonen in einer Fragebogenstudie 197 Lebensmittelworte anhand von gegensätzlichen Adjektivpaaren, welche sich auf die genannten Sinne bezogen. Durch eine Faktorenanalyse konnten die semantischen Dimensionen „Evaluation“, „Stärke“, „Aktivität“, „Textur“ und „visuelle Dimension“ gefunden werden. Die fünf Dimensionen wurden auf „Evaluation“, „Stärke“ und „Textur“ reduziert und Lebensmittelworte ausgewählt, welche besonders hohe Korrelationswerte mit einer der Klassen aufwiesen. Diese Worte dienten als Reize für visuell evozierte Potentiale. 40 gesunde Erwachsene nahmen an der elektrophysiologischen Studie teil, wobei das EEG in 30 Kanälen registriert wurde. Die evozierten Potentiale wurden entsprechend der Klassen gemittelt, und der Einfluss der Bedeutungsdimensionen wurde statistisch überprüft.

Es zeigten sich deutliche Effekte bezüglich der Latenz, der Global Field Power (GFP) und der Lokalisation der Potentialschwerpunkte, welche durch die semantischen Dimensionen der Worte beeinflusst werden. Vor allem beim Vergleich früher (80-200 ms) und später (um 500 ms) Komponenten ergeben sich Unterschiede der verschiedenen Klassen, wobei deutlich wird, dass dabei in erster Linie die Polarität der Dimensionen einen entscheidenden Einfluss auf die Effekte hat. Die GFP positiver Klassen ist bei den ersten beiden Komponenten (80-134 ms, 138-200 ms) stets kleiner als die der Klassen negativer Polarität. Dieses Verhältnis kehrt sich dann jedoch bei ca. 500 ms um. Auch ist die Latenz der positiven Klassen in frühen Verarbeitungsschritten niedriger als die der negativen; dies stellt sich ebenfalls bei etwa 500 ms umgekehrt darstellt. Daneben wird beim Vergleich der Dimensionen unter Berücksichtigung ihrer Polarität klar, dass sich diese vor allem im Bezug auf die gemessene GFP im zeitlichen Verlauf deutlich voneinander unterscheiden. Es wird also offensichtlich, dass semantische Dimensionen für die zentralnervöse Verarbeitung von Sinneswahrnehmung eine signifikante Bedeutung haben. Dieser Einfluss der Bedeutungsdimensionen spielt schon zu Beginn der Verarbeitung eine entscheidende Rolle, was zeigt, dass konnotative Bewertungsprozesse nicht erst auf einer höheren kognitiven Ebene stattfinden.

Neben den zeitlichen Effekten der registrierten GFP wurden auch topographische Unterschiede zwischen den durch die verschiedenen Reizklassen ausgelösten Potentialen signifikant. Im Zeitbereich um 304 ms zeigen sich Hemisphärenunterschiede, wobei die positiven Zentroide der Klassen E+, P+ und T- mehr auf der rechten Hemisphäre befinden und die gegensätzlichen Reizklassen Ladungsschwerpunkte nahe der Mittellinie aufweisen. Umgekehrt befinden sich die negativen Zentroide der Klassen E+, P+ und T- weiter auf der linken Hemisphäre. Außerdem zeigen sich auch Unterschiede in der Verteilung der Zentroide einzelner Reizklassen in sagittaler Richtung zu einem frühen Zeitpunkt der Verarbeitung um 107 ms.

Zum einen wird deutlich, dass die gefundenen Dimensionen weitgehend mit denen übereinstimmen, die bei der Verarbeitung von Worten ohne direkten Bezug zu den genannten Sinnesmodalitäten gefunden wurden. Außerdem weisen die elektrophysiologischen Ergebnisse darauf hin, dass unabhängig davon, ob sich die Dimensionen auf die allgemeine Wortverarbeitung oder auf die Sinneswahrnehmung beziehen, gerade in einer frühen Phase der Verarbeitung Effekte auftreten, welche sich von anderen, die sich in einer späten Phase zeigen, deutlich unterscheiden. Die unterschiedlichen Reizklassen der gefundenen Dimensionen führen zu signifikanten Effekten der durch sie ausgelösten Potentiale. Es wird deutlich, dass die Dimensionen einen Teil der Verarbeitung sinnesassoziierter Worte erklären können und damit deutliche Hinweise für die Verarbeitung tatsächlicher multisensorischer Sinneswahrnehmung geben.

## 6 Abstract

The semantic differential is used to define connotative dimensions of meaning, and the processing of words by the brain depends on such dimensions. Earlier studies demonstrated that stimuli of the different semantic classes lead to differences in neuronal processing. We investigated the influence of connotative meaning on multi-sensory processing (words strongly related to odour, taste, vision or somatosensory texture). A group of 795 subjects rated 197 food words on the basis of 11 pairs of opposed adjectives. Factor analysis revealed three dimensions (Evaluation, Potency and Texture). Words with high positive or negative scores and low scores on the other dimensions were used as stimuli in an ERP experiment with 40 adults. EEG was recorded from 30 channels, and averaged according to semantic stimulus class.

Component latency, global field power and topography were influenced by semantic meaning. We found differences between early (between 80 and 200 ms) and late (around 500 ms) ERP components. Major differences were seen when the polarity of stimulus classes was compared: GFP evoked by positive word classes was smaller than that evoked by negative classes with early components. This effect was reversed with late components. Similar effects were observed with component latency. We also observed differences between all stimulus classes (E+,E-,P+,P-T+,T-) reflected by time course of GFP.

We also found topographic effects elicited by different stimulus classes. Around 304 ms positive centroids of the classes E+,P+ and T- were found over the right hemisphere whereas positive centroids (center of gravity) of E-,P- and T+ were placed near the midline. A reversed allocation was seen for the negative centroids. At an early state of processing (around 107 ms) different stimulus classes lead also to different positions of their centroids in sagittal direction.

In summary, semantic dimensions influence neuronal processing of words related to multisensory perception. The semantic dimensions found were similar to those described earlier. Instead of "activity" we found "texture" which reflects the "mouthfeel" of food items. In addition, we describe early effects on ERP components, and the influence of semantic meaning was different with late cognitive components.

## 7 Literaturverzeichnis

- Albrecht, J., and Wiesmann, M., Das olfaktorische System des Menschen, *Nervenarzt* 77 (2006) 931-939.
- Anders, S., Lotze, M., Erb, M., Grodd, W., and Birbaumer, N., Brain activity underlying emotional valence and arousal: A response-related fMRI study, *Human Brain Mapping* 23 (2004) 200-209.
- Anderson, A.K., Christoff, K., Stappen, I., Panitz, D., Ghahremani, D.G, Glover, G., Gabrieli, J.D.E., and Sobel, N., Dissociated neural representations of intensity band valence in human olfaction, *Nature Neuroscience* 6 (2003) 196-202.
- Carretié, L., Iglesias, J., and García, T., A study on the emotional processing of visual stimuli through event-related potentials, *Brain and Cognition* 34 (1997) 207-217.
- Christensen, C.M., Effects of solution viscosity on perceived saltiness and sweetness, *Perception & Psychophysics*, 28 (1980) 347-53.
- Cuthbert, B.N., Schupp, H.T., Bradley, M.M., Birbaumer, N., and Lang, P.J., Brain potentials in affective picture processing: covariation with autonomic arousal and affective report, *Biological Psychology* 52 (2000) 95-111.
- Cytowic, R.E. and Wood, F.B., Synesthesia I. A review of major theories and their brain basis, *Brain and Cognition* 1 (1982) 23-35.
- Dalton, P., Maute, C., Oshida, A., Hikichi, S., and Izumi, Y., The use of the semantic differential scaling to define the multi-dimensional representation of odors, *Journal of Sensory Studies* 23 (2008) 485-497
- De Araujo, I.E.T., Rolls, E.T., Kringelbach, M.L., McGlone, F., and Phillips, N., Taste-olfactory convergence, and the representation of the pleasantness of flavour, in the human brain, *European Journal of Neuroscience* 18 (2003) 2059-2068.
- De Araujo, I.E.T., Rolls, E.T., Valazco, M.I., Margot, C., and Cayeux, I., Cognitive modulation of olfactory processing, *Neuron* 46 (2005), 671-679.
- Delplanque, S., Lavoie, M.E., Hot, P., Silvert, L., and Sequeira, H., Modulation of cognitive processing by emotional valence studied through event-related potentials in humans, *Neuroscience Letters* 356 (2004) 1-4.
- Delwiche, J., The impact of perceptual interactions on perceived flavour, *Food Quality and Preference* 15 (2004) 137-146.
- Djodjevic, J., Zatorre, R.J., Petrides, M., Boyle, J.A., and Jones-Gotman, M., Functional neuroimaging of odor imagery, *NeuroImage* 24 (2004) 791-801.

- Dolcos, F. and Cabeza, R., Event-related potentials of emotional memory: Encoding pleasant, unpleasant, and neutral pictures, *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience* 2 (2002) 252-263.
- Foxe, J.J. and Schroeder, C.E., The case for feedforward multisensory convergence during early cortical processing, *NeuroReport* 16 (2005) 419-423.
- Gianotti, L.R.R., Faber, P.L., Schuler, M., Pascual-Marqui, R.D., Kochi, K., and Lehmann, D., First valence, then arousal: The temporal dynamics of brain electric activity evoked by emotional stimuli, *Brain Topography* 20 (2008) 143-156.
- Giard, M.H. and Peronnet, F., Auditory-visual integration during multimodal object recognition in humans: a behavioral and electrophysiological study, *Journal of cognitive Neuroscience*, 11 (1999) 473-90.
- Grabenhorst, F., Rolls, E.T., and Bilderbeck, A., How cognition modulates affective responses to taste and flavor: Top-down influences on the orbitofrontal and pregenual cingulate cortices, *Cerebral Cortex* 18 (2008) 1549-1559.
- Green, B.G. and Lawless, H.T., The psychophysics of somatosensory chemoreception in the nose and mouth. In: Getchell, T.V., Bartoshuk, L.M., Doty, R.L., and Snow, J.J.B. (Eds.), *Smell and taste in health and disease* (1991) 235-253, Raven Press, New York.
- Herz, R.S. and von Clef, J., The influence of verbal labeling on the perception of odors: Evidence for olfactory illusions?, *Perception* 30 (2001) 381-391.
- Hoffmann, M.J., Kuchinke, L., Tamm, S., Võ, M. L.-H., and Jacobs, A.M., Affective processing within 1/10 of a second: High arousal is necessary for early facilitative processing of negative but not positive words, *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience*, 9 (2009) 389-397.
- Hogg, J., A principal components analysis of semantic differential judgements of single colors and color pairs, *Journal of General Psychology* 80 (1969) 129-140.
- ISO 5492, 1992 (Glossary of terms relating to sensory analysis)
- Kaas, J.H., Collins, C.E., The resurrection of multisensory cortex in primates: Connection patterns that integrate modalities. In: Calvert, G.A., Spence, C., and Stein, B.E. (Eds.), *The handbook of multisensory processes* (2004) 285-293, MIT Press, Boston, Massachusetts.
- Kadohisa, M., Rolls, E.T., and Verhagen, J.V., Neural representations of stimuli in the mouth: The primate insular taste cortex, orbitofrontal cortex and amygdala, *Chemical Senses* 30 (2005) 401-419.

- Kadohisa, M., Verhagen, J.V., and Rolls, E.T., The primate amygdala: Neuronal representations of the viscosity, fat texture, temperature, grittiness and taste of foods, *Neuroscience* 132 (2005) 33-48.
- Kline, J.P., Blackhart, G.C., Woodward, K.M., Williams, S.R., and Schwartz, G.E.R., Anterior electroencephalographic asymmetry changes in elderly women in response to a pleasant and an unpleasant odor, *Biological Psychology* 52 (2000) 241-250.
- Kobayashi, M., Takeda, M., Hattori, N., Fukunaga, M., Sasabe, T., Inoue, N., Nagai, Y., Sawada, T., Sadato, N., and Watanabe, Y., Functional imaging of gustatory perception and imagery: “top-down” processing of gustatory signals, *NeuroImage* 23 (2004) 1271-1282.
- Kringelbach, M.L. and Rolls, E.T., Neural correlates of rapid reversal learning in a simple model of human social interaction, *NeuroImage* 20 (2003) 1371–1383.
- Kringelbach, M.L., deAraujo, I.E.T., and Rolls, E.T., Taste-related activity in the human dorsolateral prefrontal cortex, *NeuroImage* 24 (2004) 781-788.
- Lehmann, D., Skrandies, W., Spatial analysis of evoked potentials in man – a review, *Progress in Neurobiology* 23 (1984) 227-250.
- Lorig, T.S., Human EEG and odor response, *Progress in Neurobiology* 33 (1989) 387-398.
- Lorig, T.S. and Schwartz, G.E., EEG activity during relaxation and food imagery, imagination, *Cognition and personality* 8 (1989) 201-208.
- Meredith, M.A., Corticocortical connectivity of cross-modal circuits, In: Calvert, G.A., Spence, C., and Stein, B.E. (Eds.), *The handbook of multisensory processes* (2004) 343-355, MIT Press, Boston, Massachusetts.
- Murphy, F.C., Nimmo-Smith, I., and Lawrence, A.D., Functional neuroanatomy of emotions: A meta-analysis, *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience* 3 (2003), 207-233.
- Nakahara, H., Nakasato, N., Kanno, A., Murayama, S., Hatanaka, K., Itoh, H., and Yoshimoto, T., Somatosensory-evoked fields for gingiva, lip, and tongue, *Journal of Dental Research* 83 (2004) 307-311.
- O’Doherty J., Rolls, E.T., Francis, S., Bowtell, R., and McGlone, F., Representation of pleasant and aversive taste in the human brain, *Journal of Physiology* (2000) 1315-1321.

- Ogawa, H., Wakita, M., Hasegawa, K., Kobayakawa, T., Sakai, N., Hirai, T., Yamashita, Y., and Saito, S., Functional MRI detection of activation in the primary gustatory cortices in humans, *Chemical Senses* 30 (2005) 583-592.
- Oldfield, R.C., The assessment and analysis of handedness: The Edinburgh inventory, *Neuropsychologia* 9 (1971), 97-113.
- Osgood, C.E., Suci, G., and Tannenbaum, P., *The measurement of meaning* (1957), University of Illinois Press, Chicago.
- Owen, C.M. and Patterson, J., Odour liking physiological indices: a correlation of sensory and electrophysiological responses to odour, *Food Quality and Preferences* 13 (2002), 307-316.
- Penfield, W., Rasmussen, T., *The cerebral cortex of man. A clinical study of localization of function* (1950), The Macmillan Company, New York.
- Phan, K.L., Taylor, S.F., Welsh, R.C., Decker, L.R., Noll, D.C., Nichols, T.E., Britton, J.C., and Liberzon, I., Activation of the medial prefrontal cortex and extended amygdala by individual ratings of emotional arousal: A fMRI study, *Biological Psychiatry* 53 (2003) 211-215.
- Prescott, J., Flavour as a psychological construct: implications for perceiving and measuring the sensory qualities of foods, *Food Quality and Preference*, 10 (1999) 349-356.
- Prevsner, J. and Snyder, S.H., Odorant-binding protein: odorant transport function in the vertebrate nasal epithelium, *Chemical Senses* 15 (1990) 217-222.
- Reik, P. und Skrandies, W., Die affektive Bewertung von imaginierten Gerüchen mit dem semantischen Differential, *Zeitschrift für Psychologie* 214 (2006) 108-115.
- Rolls, E.T., The orbitofrontal cortex, *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Science* B, 351 (1996) 1433-1444.
- Rolls, E.T., Spatial view cells and the representation of place in the primate hippocampus, *Hippocampus* 9 (1999) 467-480.
- Rolls, E.T., Convergence of sensory system in the orbitofrontal cortex in primates and brain design for emotion, *The Anatomical Record Part A* 281A (2004) 1212-1225.
- Rolls E.T., Taste, olfactory, and food texture processing in the brain, and the control of food intake, *Physiology & Behaviour* 85 (2005) 45-56.
- Rolls, E.T., The affective and cognitive processing of touch, oral texture, and temperature in the brain, *Neuroscience and Behavioral Reviews*, 34 (2010) 237-245.

- Rolls, E.T. and Baylis, L.L., Gustatory, olfactory, and visual convergence within the primate orbitofrontal cortex, *The Journal of Neuroscience*, 14 (1994) 5437-5452.
- Rolls, E.T., Verhagen, J.V., and Kadohisa, M., Representations of the texture of food in the primate orbitofrontal cortex: Neurons responding to viscosity, grittiness, and capsaicin, *J Neurophysiol* 90 (2003) 3711-3724.
- Royet, J.-P., Zald, D., Versace, R., Costes, N., Lavenne, F., Koenig, O., and Gervais, R., Emotionalr to Pleasant and unpleasant olfactory, visual, and, auditory stimuli: a positron emission tomography study, *The Journal of Neuroscience* 20 (2000) 7752-7759.
- Royet, J.-P., Hudry, J., Zald, D.H., Godinot, D., Grégoire, M.C., Lavenne, F., Costes, N., and Holley, A., Functional neuroanatomy of different olfactory judgements, *NeuroImage* 13 (2001) 506-519.
- Schoenfeld, M.A., Neuer, G., Tempelmann, C., Schübler, K., Noesselt, T., Hopf, J.-M., and Heinze, H.-J., Functional magnetic resonance tomography correlates of taste perception in the human primary taste cortex, *Neuroscience* 127 (2004), 347-353.
- Scott, G.G., O'Donnell, P.J., Leuthold, H., Sereno, S.C., Early emotion word processing: evidence from event-related potentials, *Biological Psychology* 80 (2009) 95-104.
- Scott, T. R. and Plata-Salamán, C.R., Taste in the monkey cortex, *Physiology & Behavior* 67 (1999) 489–511.
- Seo, H.-S., Arshamian, A., Schemmer, K., Scheer, I., Sander, T., Ritter, G., and Hummel, T., Cross-modal integration between odors and abstract symbols, *Neuroscience* 2010 (in press).
- 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., Early Effects of semantic meaning on electrical brain activity, *Behavioral and Brain Sciences*, 22 (1999) 301-302.
- Skrandies, W., Brain mapping of visual evoked activity – topographical and functional Components, *Acta Neurol Taiwan* 14 (2005) 164-177.
- Skrandies, W. and Chiu, M.J., Dimensions of affective semantic meaning – behavioral and evoked potential correlates in Chinese subjects, *Neuroscience Letters* 341 (2003) 45-48.



- Skrandies, W. and Reuther, N., Match and mismatch if taste, odor, and color is reflected by electrical activity in the human brain, *Journal of Psychophysiology*, 22 (2008) 175-184.
- Skrandies, W., Reik, P., Kunze, Ch., Topography of evoked brain activity during mental arithmetic and language tasks: sex differences, *Neuropsychologia* 37 (1999) 421-430.
- Small, D.M., Human cortical gustatory areas: A review of functional neuroimaging data, *NeuroReport* 10 (1999) 7-14.
- Small, D.M., Jones-Gotman, M., Zatorre, R.J., Petrides, M., and Evans, A.C., Flavor processing: more than the sum of its parts, *NeuroReport* 8 (1997) 3913-3917.
- Small, D.M., Jones-Gotman, M., Zatorre, R.J., Petrides, M., and Evans, A.C., A role for the right anterior temporal lobe in taste quality recognition, *The Journal of Neuroscience*, 17 (1997) 5136–5142.
- Small, D.M., Gregory, M.D., Mak, Y.E., Gitelman, D., Mesulam, M.M., and Parrish, T., Dissociation of neural representation of intensity and affective valuation in human gustation, *Neuron* 39 (2003) 701-711.
- Stevenson, J. and Prescott, R.J., Effects of oral chemical irritation on tastes and flavors in frequent and infrequent users of chili, *Physiology & Behavior*, 58 (1995) 1117-1127.
- Sutton, S. K., Davidson, R.J., Prefrontal brain electrical asymmetry predicts the evaluation of affective stimuli, *Neuropsychologia* 38 (2000) 1723-1733.
- Sutton, S., Braren, M., Zubin, J., Evoked-potential correlates of stimulus uncertainty, *Science* 150 (1965) 1187-1188.
- Suzuki, M., Gyoba, J., Sakuta, Y., Multichannel NIRS analyses of brain activity during semantic differential rating of drawing stimuli containing different affective polarities, *Neuroscience Letters* 375 (2005) 53-58.
- Trepel, M., *Neuroanatomie*, 3. Aufl. (2003), Urban & Fischer, Elsevier, München.
- Verhagen, J.V., Kadohisa, M., and Rolls, E.T., Primate opercular taste cortex: Neuronal representations of the viscosity, fat texture, grittiness, temperature, and taste of foods, *J Neurophysiol* 92 (2004) 1685-1699.
- Weel, K.G.C., Boelrijk, A.E.M., Alting, A.C., Van Mil, P.J.J.M., Burger, J.J., Gruppen, H., Voragen, A.G. J., and Smit, G., Flavor release and perception of flavored whey protein gels: perception is determined by texture rather than by release, *Journal of Agriculture and Food Chemistry* 50 (2002) 5149-5155.

- Yoo, S.-S., Freeman, D.K., McCarthyIII, J.J., and Jolesz, F.A., Neural substrates of tactile imagery: a functional MRI study, *NeuroReport* 14 (2003) 581-585.

## 8 Bisherige Publikationen

Teile der Arbeit wurden beim „17. Deutschen EEG/EP Mapping Meeting 2008“ vorgetragen:

- Hiessl, A., Hörner, S., Skrandies, W., Untersuchungen zu Bedeutungsdimensionen multisensorischer Wahrnehmung: Vergleich früher und später Komponenten evozierter Potentiale
- Hörner, S., Hiessl, A., Skrandies, W., Untersuchungen zu Bedeutungsdimensionen multisensorischer Wahrnehmung: Geschlechtsspezifische Unterschiede von evozierten Potentialen

Veröffentlicht wurden die vorgetragenen Ergebnisse in „Kognitive Neurophysiologie des Menschen“:

- Hiessl, A., Hörner, S., Skrandies, W., Dimensions of meaning in multi-sensory perception: Comparison of early and late components of evoked potentials, *Human Cognitive Neurophysiology 2* (2009), 6-7.
- Hörner, S., Hiessl, A., Skrandies, W., Dimensions of meaning in multi-sensory perception: Gender-specific differences of evoked potentials, *Human Cognitive Neurophysiology 2* (2009), 7.

Einige Ergebnisse der Arbeit wurden in einer Posterpräsentation auf dem „18th International Congress on Brain Electromagnetic Topography“ 2009 in Kyoto vorgestellt:

- Word processing related to multi-sensory stimulus processing: Comparison of early and late components of evoked brain activity, W. Skrandies, A. Hiessl, S. Hörner. 18th International Congress on Brain Electromagnetic Topography, The International Society for Brain Electromagnetic Topography (ISBET2009)
- Word processing related to multi-sensory stimulus processing: Genderspecific differences of components of evoked brain activity, W. Skrandies, A. Hiessl, S. Hörner, International Congress on Brain Electromagnetic Topography, The International Society for Brain Electromagnetic Topography (ISBET2009)

Der Kongressbeitrag wurde in „Brain Topography and Multimodal Imaging“ veröffentlicht:

- W. Skrandies, S. Hörner, and A. Hiessl, Word processing related to multi-sensory stimulus processing: first results, In: Kobayashi, T., Ozaki, I., Nagata, K., *Brain Topography and Multimodal Imaging*, Kyoto University Press, 2009, 37-40.

## 9 Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

Abbildung 2.1	Rating-Skalen des Fragebogens	S. 26
Abbildung 2.2	Anordnung der Elektroden	S. 30
Abbildung 2.3	Versuchsablauf	S. 31
Abbildung 3.1	Darstellung einzelner Lebensmittelworte im Semantischen Raum	S. 35
Abbildung 3.2	Potentialkarten der Klassen P- und T+	S. 37
Abbildung 3.3	Zeitlicher Verlauf der GFP der Klassen P- und T+	S. 39
Abbildung 3.4.	Vergleich der GFP der positiven und negativen Polarität	S. 41
Abbildung 3.5	Verteilung der Potentiale in Y-Richtung im zeitlichen Verlauf	S. 42
Abbildung 3.6	Vergleich der Latenz im 1. Zeitfenster	S. 43
Abbildung 3.7	Vergleich der GFP der Dimensionen im ersten Zeitfenster	S. 44
Abbildung 3.8	Vergleich der GFP aller Klassen in dem Zeitbereichen 1, 3, 10	S. 45
Abbildung 3.9	Topographische Verteilung der Komponentenmittelwerte im 2. Zeitbereich	S. 46/47
Abbildung 3.10	Topographische Verteilung der Komponentenmittelwerte im 6. Zeitbereich	S. 48
Abbildung 3.11	Verteilung der Zentroide bezüglich der X-Achse im 4. Zeitfenster	S. 50
Abbildung 3.12	Lokalisation der negativen Zentroide der einzelnen Klassen in Y Richtung im 1. Zeitfenster	S. 51
Tabelle 3.1	Zeitbereiche der Komponenten	S. 40

## 10 Anhang

### 10.1 Zu bewertende Lebensmittel der Fragebogenstudie

1	2	3	4	5	6	7	8
<b>Getreideprodukte</b>	<b>Fleisch</b>	<b>Fisch</b>	<b>Obst</b>	<b>Gemüse</b>	<b>Getränke</b>	<b>Milchprodukte</b>	<b>Nüsse/Ölsamen</b>
Brot	Schnitzel	Garnelen	Orange	Tomate	Soft	Gouda	Mandeln
Brötchen	Hähnchen	Fisch	Erdbeere	Brokkoli	Kakao	Käse	Kokos
Brezel	Schinken	Thunfisch	Pfirsich	Kopfsalat	Tee	Joghurt	Erdnuss
Weißbrot	Steak	Sardelle	Himbeere	Rucola	Cappuccino	Milch	Haselnuss
Tortilla	Braten		Aprikose	Karotte	Espresso	Feta	Walnuss
Zwieback	Wurst		Kirsche	Salat	Wasser	Frischkäse	Leinsamen
Toast	Lammfleisch		Mandarine	Paprika	Kaffee	Sahne	Sesam
Cornflakes	Bratwurst		Ananas	Mais	Wein	Parmesan	
Mehl	Salami		Nektarine	Feldsalat	Glühwein	Ricotta	
Knäckebrot			Mango	Rotkohl	Limonade	Mozzarella	
Reiswaffel			Banane	Spinat	Sekt	Schmand	
Müsli			Traube	Zucchini	Sprudel	Gorgonzola	
Spaghetti			Melone	Gurke	Spezi		
Reis			Mirabelle	Rote Bete	Bier		
Nudel			Zitronen	Spargel	Brause		
Pasta			Brombeere	Aubergine	Weizenbier		
			Birne	Erbse	Likör		
			Limone	Bohne	Cola		
			Pflaume	Chicoree	Schnaps		
			Rhabarber	Olive	Nektar		
			Litschi	Kohlrabi			
			Rosinen	Pilze			
				Rettich			
				Wirsing			
				Weißkohl			
				Zwiebeln			
				Sellerie			
				Lauch			

9	10	11	12	13	14	15
<b>Gerichte/Sonstiges</b>	<b>Fast Food</b>	<b>Süßspeisen/ Kuchen/Torten</b>	<b>Süßwaren</b>	<b>Fette/Öle</b>	<b>Gewürze/ Gewürzsoße</b>	<b>Kräuter</b>
Lasagne	Gyros	Kuchen	Marmelade	Butter	Vanille	Basilikum
Auflauf	Hamburger	Waffel	Honig	Margarine	Zimt	Minze
Suppe	Hot Dog	Biscuit	Konfitüre	Öl	Curry	Petersilie
Soße	Döner	Crêpe	Popcorn		Balsamico	Melisse
Paella	Pizza	Brownie	Krokant		Mohn	Rosmarin
Risotto	Pommes	Kekse	Nougat		Nelken	Thymian
Zaziki		Muffins	Weingummi		Muskat	Eukalyptus
Rührei		Tiramisu	Bonbon		Anis	Kresse
Eier		Croissants	Zucker		Pfeffer	Dill
		Torte	Zuckerwatte		Salz	Oregano
		Pudding	Marzipan		Ingwer	Salbei
		Berliner	Chips		Kümmel	
		Donuts	Gelee		Senf	
		Milchreis	Sirup		Brühe	
		Grießbrei			Chili	
		Plunder			Ketchup	
					Kapern	
					Essig	

## 10.2 Daten der Versuchspersonen der Fragebogenstudie.

1000 Fragebögen wurden verteilt.  
 899 Fragebögen wurden ausgefüllt.  
 795 Fragebögen wurden statistisch ausgewertet

Alter: Durchschnitt: 22,3 Jahre

Alter	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	47	52	53	54	ohne Angabe
Anzahl	3	49	164	202	97	86	71	53	30	11	3	4	2	1	1	2	1	3	2	2	1	1	1	5

Muttersprache:

deutsch	749
franz./dt.	1
nicht-dt.	43
ohne Angabe	2

Geschlecht:

männlich	weiblich	ohne Angabe
128	666	1

Beruf/Studienfach:

Ökotrophologie	473
Humanmedizin	252
Zahnmedizin	43
Psychologie	6
Ingenieur	3
Biologie	2
Lehramt	2
Arzthelferin	1
Angestellte	1
Hauswirtschaft	1
Krankenschwester	1
Jura	1
Politikwissenschaft	1
Student	1
Wirtschaftswissenschaften	1
Zivildienstleistender	1
ohne Angabe	5

Händigkeit:

rechts	737
links	53
beidhändig	1
ohne Angabe	4

Vegetarier/  
 Nichtvegetarier:

Vegetarier	96	1923
Nicht-Vegetarier+ohne Angabe	696+3	13841

### 10.3 Fragebogen

(Deckblatt und eine beispielhaft ausgewählte Seite)

#### Fragebogen

Alter \_\_\_\_\_  weibl.  männl.

Rechtshänder  Linkshänder

Studienfach / Beruf \_\_\_\_\_

Muttersprache:  deutsch  andere

Vegetarier:  ja  nein

Falls Sie Interesse haben, auch bei der zugehörigen EEG-Studie mitzumachen, können Sie hier Ihren Namen und e-Mail Adresse angeben:

Freiwillige Angaben: Name \_\_\_\_\_ Vorname \_\_\_\_\_

e-Mail-Adresse: \_\_\_\_\_

Anleitung zum Fragebogen:

Mit dem Fragebogen soll die Bedeutung von Wörtern erfasst werden.

Dabei geht es nicht um die logische Klassifikation der einzelnen Begriffe, sondern um Ihre **spontane Reaktion**.

Auf den vorgegebenen Skalen sollen Sie ankreuzen, welche Eigenschaft auf das jeweilige Wort eher zutrifft. In dem untenstehenden Beispiel: ist „Apfel“ eher schön oder hässlich? eher leicht oder schwer? oder eher vermodert oder frisch? Wenn Sie sich nicht entscheiden können, dann kreuzen Sie bitte die mittlere Spalte an, das bedeutet „weder ...noch“.

Apfel							
schön				x			hässlich
geräuschvoll						x	still
steif	x						elastisch
matt						x	glänzend
lieblich			x				herb
labberig						x	knackig
bunt		x					einfarbig
angenehm	x						unangenehm
neblig					x		klar
würzig				x			mild
warmfarbig		x					kaltfarbig
freundlich				x			unfreundlich
glatt	x						rau
schwach			x				stark
duftend		x					stechend
hell					x		dunkel

Karotte							
schön							hässlich
vermodert							frisch
geräuschvoll							still
steif							elastisch
matt							glänzend
lieblich							herb
labberig							knackig
bunt							einfarbig
angenehm							unangenehm
neblig							klar
würzig							mild
warmfarbig							kaltfarbig
freundlich							unfreundlich
glatt							rau
schwach							stark
duftend							stechend
hell							dunkel

Erdbeere							
schön							hässlich
vermodert							frisch
geräuschvoll							still
steif							elastisch
matt							glänzend
lieblich							herb
labberig							knackig
bunt							einfarbig
angenehm							unangenehm
neblig							klar
würzig							mild
warmfarbig							kaltfarbig
freundlich							unfreundlich
glatt							rau
schwach							stark
duftend							stechend
hell							dunkel



## 10.4 Adjektive, die die Dimensionen beschreiben

### 10.4.1 5-Faktoren-Lösung

Evaluation		Aktivität		Textur		Stärke		Visuelle Dimension	
E+	E-	A+	A-	T+	T-	P+	P-	V+	V-
schön	hässlich	geräuschvoll	still	glänzend	matt	herb	lieblich	bunt	einfarbig
frisch	vermodert	steif	elastisch	klar	neblig	würzig	mild	warmfarben	kaltfarbig
angenehm	unangenehm	knackig	labberig	glatt	rau	stark	schwach		
freundlich	unfreundlich					dunkel	hell		
duftend	stechend								

### 10.4.2 3-Faktoren-Lösung

Die folgenden Dimensionen wurden in der EEG-Studie untersucht:

Evaluation		Stärke		Textur	
E+	E-	P+	P-	T+	T-
schön	hässlich	geräuschvoll	still	glänzend	matt
frisch	vermodert	steif	elastisch	klar	neblig
lieblich	herb	knackig	labberig	glatt	rau
angenehm	unangenehm	stark	schwach		
warmfarben	kaltfarben				
freundlich	unfreundlich				
duftend	stechend				

## 10.5 Lebensmittelworte der Reizklassen

Die dargestellten Wortlisten wurden im EEG-Versuch verwendet:

Reizklasse	Faktor	Polarität	Anzahl der Lebensmittelreize	Lebensmittelreize
E+	1	Positiv	13	Ananas, Aprikose, Biscuit, Brötchen, Croissant, Erdbeere, Kuchen, Mandarine, Mango, Mirabelle, Orange, Pfirsich, Vanille
E-	1	Negativ	12	Cola, Essig, Gorgonzola, Kapern, Kümmel, Lammfleisch, Sardelle, Schnaps, Senf, Thunfisch, Wirsing, Wurst
P+	2	Positiv	14	Brezel, Chicoree, Chips, Erdnuss, Haselnuss, Karotte, Knäckebrot, Kohlrabi, Kokos, Krokant, Mandeln, Pfeffer, Rettich, Rhabarber
P-	2	Negativ	25	Butter, Crepe, Donuts, Frischkäse, Gelee, Grieß, Grießbrei, Honig, Joghurt, Litschi, Margarine, Mehl, Milch, Milchreis, Mozzarella, Nudel, Plunder, Pudding, Rührei, Sahne, Schmand, Sirup, Spaghetti, Weingummi, Zuckerwatte
T+	3	Positiv	7	Aubergine, Kirsche, Sprudel, Tomate, Traube, Zaziki, Wasser
T-	3	Negativ	7	Auflauf, Curry, Eintopf, Parmesan, Schnitzel, Toast, Zimt

## 10.6 Versuchspersonen der EEG-Studie

Anzahl: 40 von 43 gemessenen Versuchspersonen wurden statistisch ausgewertet  
 Alter: Durchschnitt: 23.7 Jahre      Geschlecht: 20 Frauen, 20 Männer  
 Vegetarier: 5 Nichtvegetarier: 35      Probanden mit Sehhilfe: 19  
 Händigkeit: rechts: 37 links: 3  
 Muttersprache: alle Proben hatten Deutsch als Muttersprache  
 Beruf: Studenten der Medizin, Zahnmedizin oder der Ökotröphologie

VP	Alter	Geschlecht	Vegetarier	Brille	Händigkeit	Visus bds
2	21	weiblich	ja	ja	100	1.6
3	19	weiblich	nein	nein	100	1.6
4	24	weiblich	nein	ja	100	1.6
5	21	weiblich	ja	ja	80	1.6
6	24	weiblich	nein	ja	100	1.6
7	21	weiblich	nein	ja	80	1.6
8	28	männlich	nein	nein	50	1.25
9	23	weiblich	nein	ja	100	2
10	26	männlich	nein	nein	0	2
11	23	weiblich	nein	ja	80	2
12	23	weiblich	nein	ja	100	1.6
13	24	männlich	nein	ja	100	2
14	30	männlich	nein	ja	100	1.6
15	26	männlich	nein	nein	100	2
16	23	weiblich	nein	ja	100	2
17	17	weiblich	nein	nein	0	2
18	24	männlich	nein	nein	100	2
19	23	weiblich	nein	nein	100	2
20	26	männlich	nein	nein	100	2
21	24	weiblich	nein	nein	100	1.25
22	23	weiblich	nein	nein	100	2
23	25	weiblich	ja	nein	100	2
24	20	weiblich	nein	nein	60	2
25	21	männlich	nein	nein	100	2
26	20	weiblich	nein	nein	100	2
27	20	weiblich	nein	nein	80	2
28	20	weiblich	nein	ja	80	2
29	21	weiblich	nein	nein	100	1.6
30	29	männlich	ja	ja	80	2
31	28	männlich	nein	nein	100	2
32	26	männlich	ja	nein	100	1.6
33	25	männlich	nein	ja	100	2
34	26	männlich	nein	nein	100	2
35	21	männlich	nein	ja	100	1.25
36	28	männlich	nein	ja	-100	1.25
37	25	männlich	nein	ja	100	2
38	25	männlich	nein	nein	80	1.6
40	21	männlich	nein	nein	100	2
41	25	männlich	nein	ja	80	2
42	25	männlich	nein	ja	80	1.6

## Kontrolltestfragebogen

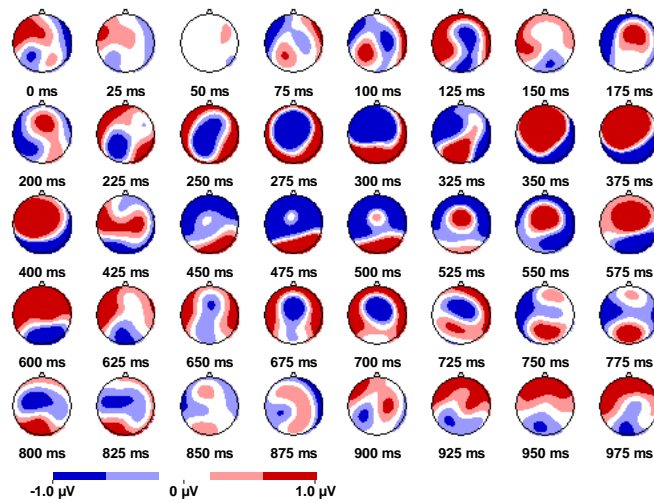
Um zu kontrollieren, ob der Proband während des EEGs Aufmerksam die Lebensmittelworte betrachtete, sollte er im Anschluss alle Worte der folgenden Liste markieren, die ihm in Erinnerung geblieben waren. 72 der folgenden 187 Worte waren Reize der EEG-Studie.

Thymian Zucchini Walnuss Zitrone Toast Anis Erbsen Joghurt  
Ketchup Krokant Nektar Plunder Birne Parmesan Kuchen Marmelade  
Mirabelle Senf Reis Aprikose Mozzarella Pilze Nektarine Chili Essig  
Rührei Sahne Popcorn Rosmarin Bohnen Braten Chips  
Berliner Mango Schnaps Mais Wirsing Erdbeere Garnelen Feta  
Margarine Curry Cola Brause Gorgonzola Gelee Honig Butter  
Kopfsalat Brokkoli Ricotta Sirup Steak Wein Zaziki Nudel  
Eukalyptus Kirsche Mandeln Olive Pizza Kapern Kohlrabi Rotkohl  
Schnitzel Orange Brot Paprika Pfeffer Mehl Pflaume Spezi  
Tomate Tiramisu Zwiebeln Pasta Aubergine Ingwer Knäckebrötchen Waffel  
Limonade Lasagne Banane Milch Pommes Biscuit Muffins Auflauf  
Hähnchen Nougat Mohn Pfirsich Basilikum Brezel Kekse Cornflakes  
Konfitüre Lammfleisch Milchreis Muskat Sesam Crepe Spargel Brühe  
Thunfisch Tortilla Weißbrot Zuckerwatte Wasser Dill Erdnuss Croissant  
Glühwein Frischkäse Donuts Kaffee Gouda Käse Hamburger Gurke  
Feldsalat Gyros Sellerie Risotto Salz Karotte Melone Petersilie Minze  
Schmand Schinken Rosinen Sardelle Litschi Oregano Brownie Brötchen  
Cappuccino Balsamico Spaghetti Weingummi Weißkohl Sprudel Wurst  
Torte Zucker Suppe Chicoree Kresse Lauch Kokos Nelken Öl Rucola  
Paella Himbeere Leinsamen Marzipan Kümmel Mandarin Müsli Likör  
Grießbrei Limone Döner Brombeere Eier Fisch Grieß Haselnuss  
Hot Dog Kakao Salat Reiswaffel Salbei Rote Bete Tee Traube Bier  
Weizenbier Zwieback Sekt Spinat Saft Pudding Espresso Bonbon

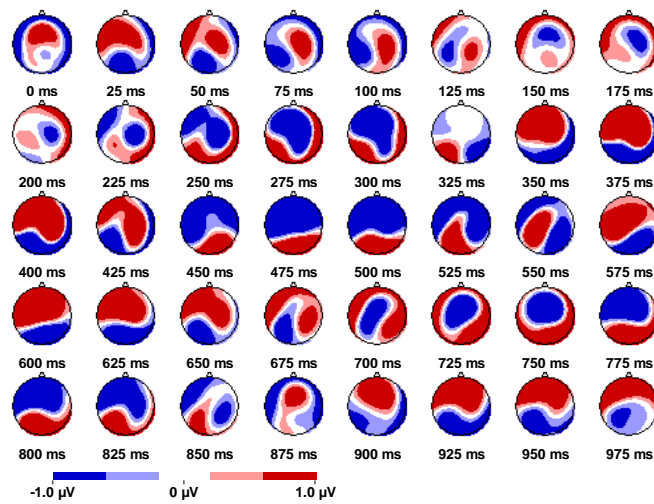
## 10.7 Potentialkarten

Erläuterung siehe S. 38/ 39

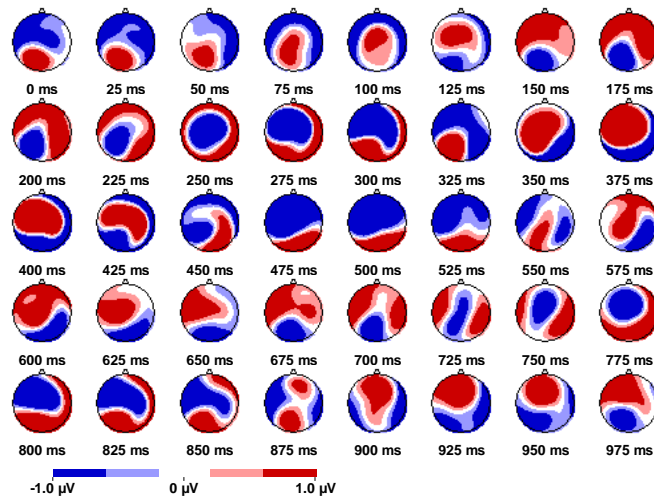
Potentialkarten VP02, Bedingung E+:



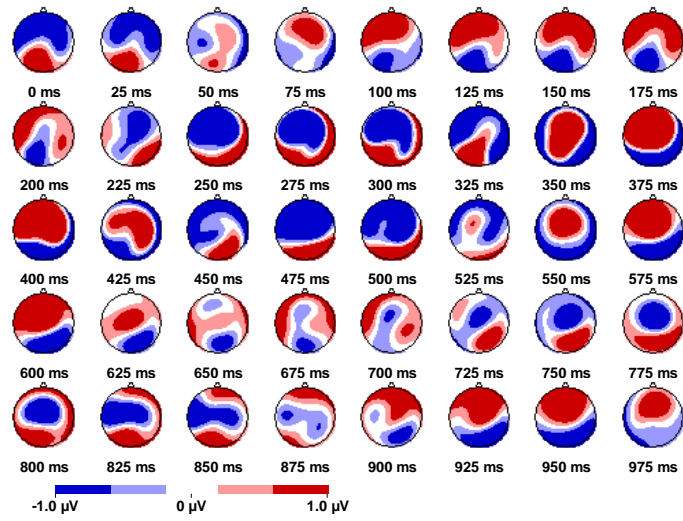
Potentialkarten VP02, Bedingung E-:



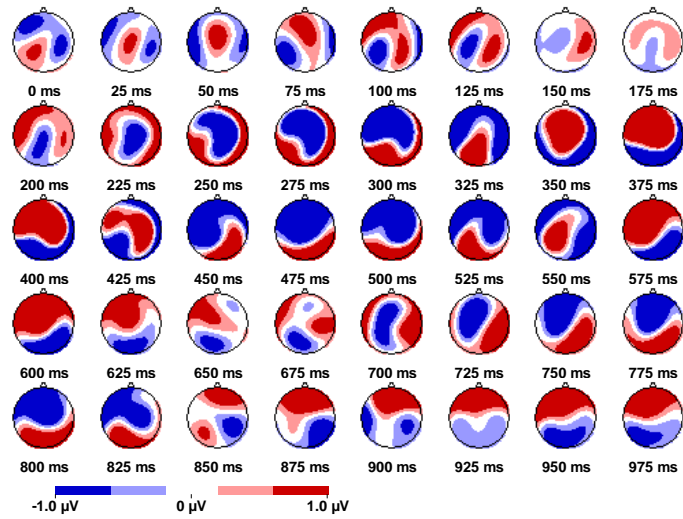
Potentialkarten VP02, Bedingung P+:



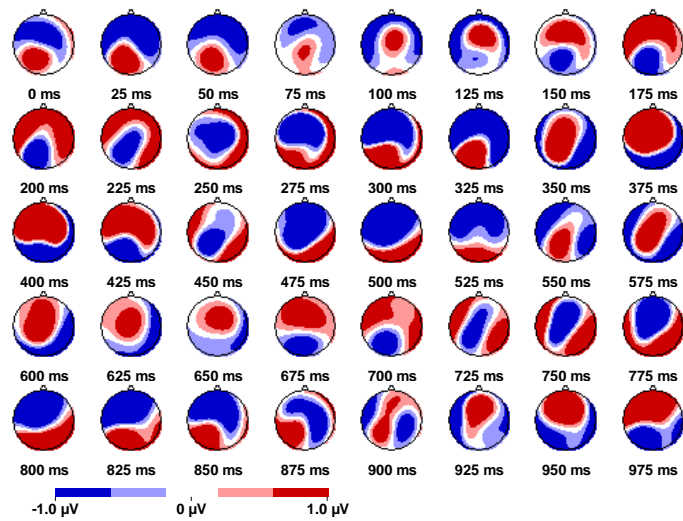
### Potentialkarten VP02, Bedingung P-:



### Potentialkarten VP02, Bedingung T+:

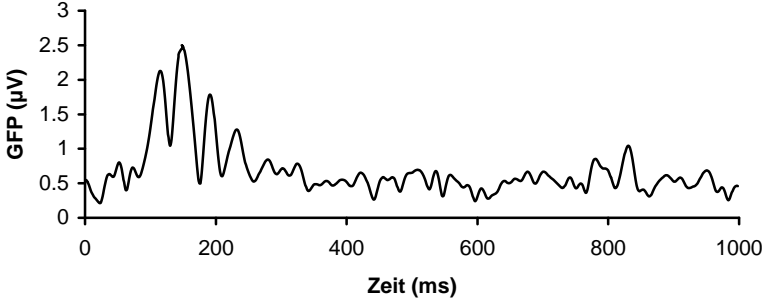


### Potentialkarten VP02, Bedingung T-:

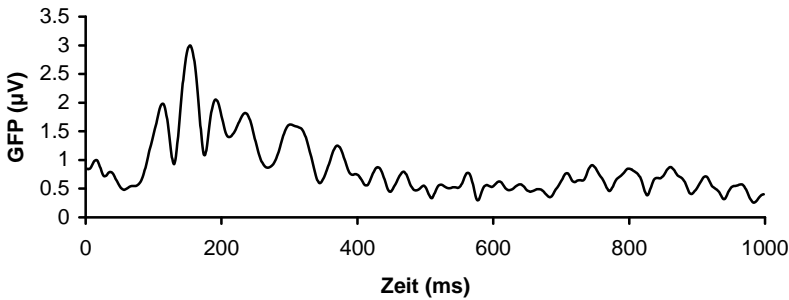


# 10.8 GFP-Kurven

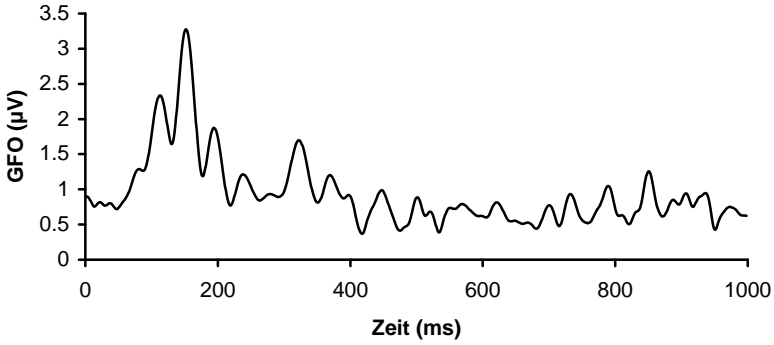
GFP-Verlauf VP02 Bedingung E+:



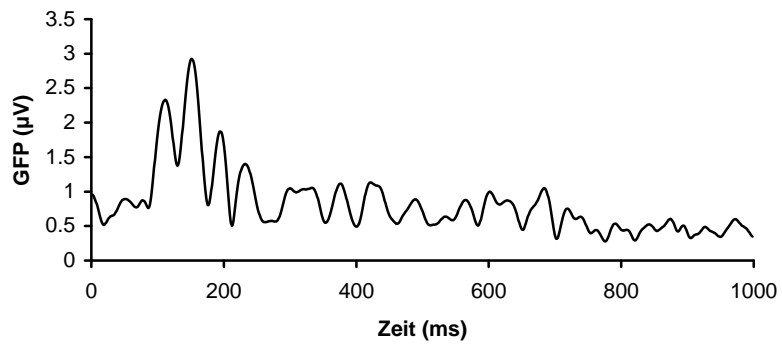
GFP-Verlauf VP2 Bedingung E-:



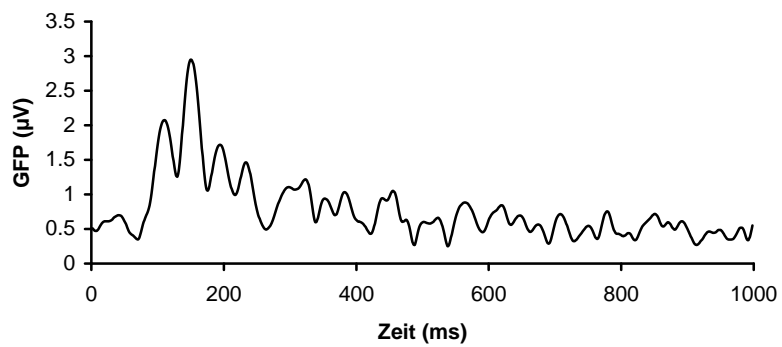
GFP-Verlauf VP2 Bedingung P+:



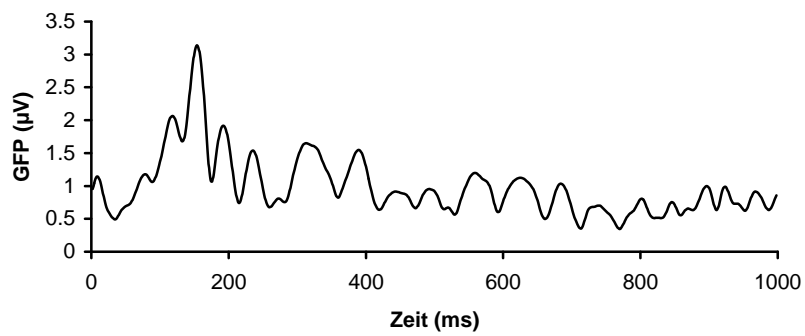
GFP-Verlauf VP2 Bedingung P-:



GFP-Verlauf VP2 Bedingung T+:



GFP-Verlauf VP2 Bedingung T-



## Ehrenwörtliche Erklärung:

Ich erkläre: Ich habe die vorgelegte Dissertation selbstständig, ohne unerlaubte fremde Hilfe und nur mit den Hilfen angefertigt, die ich in der Dissertation angegeben habe. Alle Textstellen, die wörtlich oder sinngemäß aus veröffentlichten oder nicht veröffentlichten Schriften entnommen sind, und alle Angaben, die auf mündliche Auskünften beruhen, sind als solche kenntlich gemacht. Bei den von mir durchgeführten und in der Dissertation erwähnten Untersuchungen habe ich Grundsätze guter wissenschaftlicher Praxis, wie sie in der „Satzung der Justus-Liebig-Universität Giessen zur Sicherung guter wissenschaftlicher Praxis“ niedergelegt sind, eingehalten.

Anna K. Hiessl



## **Danksagung**

Ich danke Professor Wolfgang Skrandies für die Anleitung, die statistischen Auswertung und die ausgezeichnete Betreuung der Doktorarbeit. Für die gute Zusammenarbeit während Durchführung des praktischen Teils der Arbeit danke ich Susanne Hörner. Für die Unterstützung in der Vorbereitungsphase danke ich Nicole Reuther. Theresa Tiemeyer, Anja Fink und Lars Bakken danke ich für hilfreiche Kommentare und Korrekturlesen.