

**AUS DER UNIVERSITÄTS-NERVENKLINIK - PSYCHIATRIE UND PSYCHOTHERAPIE
UNIVERSITÄTSKLINIKEN DES SAARLANDES, HOMBURG/SAAR
DIREKTOR: UNIV.-PROFESSOR DR. MED. PETER FALKAI**

Ereigniskorrelierte Potentiale bei visueller Perzeption von Piktogrammen und Wörtern

**Entwicklung eines Settings zur vergleichenden Untersuchung
verschiedener psychiatrischer Störungen bei Kindern, Jugendlichen und Erwachsenen,
sowie Ermittlung von Referenzdaten
einer gesunden erwachsenen Probandengruppe**

**DISSERTATION ZUR ERLANGUNG DES GRADES EINES
DOKTORS DER MEDIZIN**

**DER MEDIZINISCHEN FAKULTÄT
DER UNIVERSITÄT DES SAARLANDES**

2005

**vorgelegt von
GREGOR FISSENI
geboren am 20.12.1970 in Trier**

gewidmet meinen Großeltern:

Elisabeth und Anton Escher

Katharina und Franz Fisseni

1	ZUSAMMENFASSUNG / SUMMARY	7
1.1	Zusammenfassung.....	7
1.2	Summary	9
2	EINLEITUNG	11
2.1	Ereigniskorrelierte Potentiale	11
2.1.1	Allgemeines.....	11
2.1.2	Die wichtigsten EKP-Komponenten	13
2.1.3	Visuell ausgelöste Ereigniskorrelierte Potentiale.....	19
2.2	Zerebrale Sprach- und Bildverarbeitung	23
2.2.1	Visuelle Zeichen.....	23
2.2.2	Imaginierbarkeit von Begriffen	26
2.2.3	Verarbeitung von Sprach- und Bildinformation.....	27
2.3	EKPs im psychiatrischen Kontext	30
2.3.1	Neuropsychiatrische Grundlagenforschung	30
2.3.2	Klinische EKP-Forschung.....	32
2.3.3	Klinische Anwendung von EKPs	32
2.3.4	Entwicklungsperspektiven	34
2.4	Zielsetzung dieser Arbeit	35
3	MATERIAL UND METHODIK.....	36
3.1	Setting.....	36
3.1.1	Grundsätzliche Überlegungen	36
3.1.2	Probanden.....	37
3.1.3	Stimulusmaterial.....	38
3.1.4	Präsentation der Stimuli	41
3.1.5	Anzahl und Abfolge der präsentierten Reize	42
3.1.6	Aufgabenstellung und Instruktion der Probanden.....	45

3.1.7	Versuchsdurchführung	47
3.2	Begleitevaluation	48
3.3	Registrierung der bioelektrischen Signale	49
3.3.1	Ableitung von EEG und EOG	49
3.3.2	Verstärkung und analoge Filterung	50
3.3.3	Digitalisierung und Speicherung	51
3.4	Ermittlung der Ereigniskorrelierten Potentiale	52
3.4.1	Digitale Filterung und Artefaktbereinigung	52
3.4.2	Berechnung der Ereigniskorrelierten Potentiale.....	52
3.5	Graphischer Kurvenvergleich nach Blair und Karniski	53
3.6	Numerischer Kurvenvergleich anhand von EKP-Parametern.....	55
3.6.1	Kurvenkomponenten und Zeitintervalle.....	55
3.6.2	Berechnung der Parameter	56
3.6.3	Statistischer Vergleich der Parameter	59
4	ERGEBNISSE	60
4.1	EKP-Kurven einzelner Probanden.....	60
4.2	Gruppenpotentiale bei visueller Perzeption von Piktogrammen.....	64
4.2.1	Kurvenverläufe an den einzelnen Ableitorten.....	64
4.2.2	Vergleich der beiden Hemisphären	67
4.2.3	Zusammenfassung: EKP-Kurven Piktogramme	69
4.3	Gruppenpotentiale bei visueller Perzeption von Wörtern	70
4.3.1	Kurvenverläufe an den einzelnen Ableitorten.....	70
4.3.2	Vergleich der beiden Hemisphären	73
4.3.3	Zusammenfassung: EKP-Kurven Wörter.....	75
4.4	Graphischer Kurvenvergleich: Piktogramme - Wörter	76

4.4.1	Frontocentrale Ableitorte	76
4.4.2	Parietale Ableitorte.....	79
4.4.3	Zusammenfassung: Graphischer Vergleich Piktogramme – Wörter.....	83
4.5	Numerischer Kurvenvergleich: Piktogramme – Wörter.....	84
4.5.1	Einführung.....	84
4.5.2	Die P-220-Komponente.....	85
4.5.3	Die P-360-Komponente.....	90
4.5.4	Die P-510-Komponente.....	95
4.5.5	Die Späte Positive Komponente.....	99
4.5.6	Zusammenfassung: Numerischer Vergleich Piktogramme - Wörter	104
4.6	Elektrookulogramme	109
4.7	Begleitevaluation	111
5	DISKUSSION.....	114
5.1	Methodische Qualität und Praktikabilität des Settings.....	114
5.1.1	Beschaffenheit der Probandengruppe.....	114
5.1.2	Auswahl und Präsentation der Stimuli	116
5.1.3	Berechnung der Ereigniskorrelierten Potentiale.....	118
5.1.4	Beanspruchung der Probanden.....	120
5.1.5	Flexibilität des Settings	122
5.2	Bedeutung der verschiedenen Auswertungsverfahren	125
5.2.1	Graphische Kurvenauswertungen	125
5.2.2	Numerische Kurvenauswertungen	131
5.3	Neurophysiologie der Piktogramme-Wörter-Unterschiede	138
5.3.1	Biologische Grundlagen und klinische Relevanz.....	138
5.3.2	Funktionelle Einteilung der neurophysiologischen Leistungen	139
5.3.3	Orientierungsreaktionen bei Piktogrammen und Wörtern	140

5.3.4	P2 und N2 bei Piktogrammen und Wörtern	140
5.3.5	Gibt es eine für Piktogramme spezifische EKP-Komponente?	141
5.3.6	Sind Wörter und Piktogramme ‚echte‘ Nicht-Zielreize?	142
5.3.7	Inhalt und Bedeutung von Piktogrammen und Wörtern	145
5.3.8	Zusammenfassende Deutung der EKP-Unterschiede.....	146
5.4	Schlussfolgerungen und Ausblick.....	147
6	LITERATURVERZEICHNIS.....	150
7	ANHANG.....	165
7.1	Der “Edinburgh Inventory” (OLDFIELD, 1971)	165
7.2	Die gezeigten Piktogramme und Wörter.....	166
7.3	EKP-Kurven und Parameter der einzelnen Probanden.....	175
8	DANKSAGUNG.....	191
9	LEBENS LAUF.....	192

1 Zusammenfassung / Summary

1.1 Zusammenfassung

Hintergrund und Zielsetzung:

Ereigniskorrelierte Potentiale (EKP) sind Potentialveränderungen im Elektroenzephalogramm (EEG), die zeitlich an ein sensorisches, motorisches oder psychisch-kognitives Ereignis gebunden sind. Ihre Untersuchung gehört inzwischen zu den Standardverfahren der neuropsychiatrischen und neurokognitiven Grundlagenforschung, nicht jedoch der klinischen Diagnostik. Diese Arbeit entstand im Rahmen einer neuropsychiatrischen Arbeitsgruppe, die nach Wegen einer besseren Erschließung Ereigniskorrelierter Potentiale für die psychiatrische Diagnostik sucht.

Sie hatte drei Ziele:

1. Es sollte ein EKP-Setting entwickelt werden, das zur vergleichenden Untersuchung verschiedener psychiatrischer Störungen bei Kindern, Jugendlichen und Erwachsenen eingesetzt werden kann. Dabei sollte sowohl das bildbezogene als auch das sprachbezogene zerebrale Verarbeitungssystem direkt angesprochen werden. Die Aufgabenstellung sollte an die jeweils untersuchte Gruppe angepasst werden können, ohne dass der untersuchte neuropsychologische Prozess maßgeblich verändert wird.
2. An einer gesunden erwachsenen Probandengruppe sollten mittels verschiedener Auswertungsverfahren detaillierte Referenzdaten für den Vergleich mit den verschiedenen geplanten Kinder- und/oder Patienten-Gruppen ermittelt werden.
3. Das Setting und die Auswertungsverfahren sollten hinsichtlich ihrer methodischen Qualität, Praktikabilität und voraussichtlichen Eignung für die geplanten Untersuchungen von Kindern, Jugendlichen und/oder psychiatrischen Patienten reflektiert werden.

Methodik:

Zum ersten Ziel: Es wurde ein einfach zu etablierendes Setting entwickelt, das auch den aktuellen methodischen Leitlinien der SOCIETY FOR PSYCHOPHYSIOLOGICAL RESEARCH (PICTON et al., 2000) entspricht. Das selbst entwickelte Stimulusmaterial umfasst 54 Zahlen, 54 Wörter und 54 inhaltlich zu den Wörtern kongruente Piktogramme, die konkrete Begriffe aus dem alltäglichen Erfahrungsraum von Kindern und Erwachsenen bezeichnen. Alle Probanden erhielten eine standardisierte Instruktion, die die Zahlen durch eine an sie geknüpfte Kopfrechenaufgabe als Zielreize, die Piktogramme und Wörter dagegen als bedeutungslose Ablenkreize darstellte.

Zum zweiten Ziel: Die untersuchte Probandengruppe bestand ausschließlich aus Rechtshändern, 15 Frauen und 15 Männern, die alle zwischen 20 und 29 Jahren alt waren. Pro Proband wurden an sieben standardisierten EEG-Ableitorten (Fz, C3, Cz, C4, P3, Pz, P4) jeweils 324 Einzelableitungen aufgezeichnet. Zur Artefakterkennung lief ein vertikales Elektrookulogramm (EOG) mit. Die über alle Probanden gemittelten Gruppenpotentiale wurden zunächst morphologisch auf ihre einzelnen Komponenten hin analysiert, dann mittels Permutationstest nach BLAIR und KARNISKI auf Lateralisierung und Unterschiede zwischen Piktogrammen und Wörtern untersucht. Anschließend wurden für vier EKP-Komponenten, die aus der morphologischen Analyse gewonnen worden waren, bestimmte Kurvenparameter (Maximum, Fläche, Flächenschwerpunkt) berechnet und auf Unterschiede zwischen den Stimuluskategorien getestet.

Zum dritten Ziel: Die kognitive und konzentrierte Beanspruchung der Probanden durch das Setting wurde durch standardisierte Fragen mittels visueller Analogskalen untersucht. Die Bedeutung der

verschiedenen EKP-Auswertungsverfahren wurde anhand der erhobenen Daten reflektiert und an ihrem Beitrag zur „internen Validierung“ und zur Kontrolle des Alpha-Fehlers festgemacht.

Ergebnisse:

Zum ersten Ziel: Das Setting wurde nach den vorgegebenen Kriterien entwickelt und konnte an der Probandengruppe erprobt werden. Es wurde zur Ermittlung der Referenzdaten genutzt.

Zum zweiten Ziel: In den EKP-Kurven der untersuchten Probandengruppe zeigte sich folgender Befund: Bis auf die N-450-Komponente, die für Piktogramme und Wörter gleichermaßen ausgeprägt war, waren alle identifizierten EKP-Komponenten für Piktogramme stärker ausgeprägt als für Wörter. Dies galt frontocentral (Fz, C3, Cz, C4) für die P-220-Komponente, die N-270-Komponente (die in den Wörter-Kurven als flache N-340-Komponente erschien), die P-360-, die P-510- und die Späte Positive Komponente; parietal (P3, Pz, P4) dagegen nur für die P-360- und die P-510-Komponente. Die Amplituden von P-360- und P-510-Komponente waren parietal größer als frontal, die der Späten Positiven Komponente frontal größer als parietal. Eine eindeutige Lateralisierung zeigte sich nicht.

Zum dritten Ziel: Die Befragung mittels visueller Analogskalen ergab eine niedrige kognitive Beanspruchung der Probanden und eine mittlere Beanspruchung ihrer Konzentrationsfähigkeit. Die verschiedenen EKP-Auswertungsverfahren wurden aufeinander bezogen und trugen so über eine Stärkung der „internen Validität“ und zur Vermeidung statistischer Beliebigkeit und so zur Kontrolle des Alpha-Fehlers bei.

Diskussion:

Zum ersten und dritten Ziel: Das Setting wurde erfolgreich an der Probandengruppe erprobt. Eine flexible Anpassung des Settings an die geplanten Kinder- und Patientengruppen erscheint relativ unproblematisch, da der beobachtete neuropsychologische Prozess an die Piktogramme und Wörter gebunden ist, die (ggf. anzupassende) kognitive Aufgabenstellung jedoch an die Zahlen. Andererseits ermöglicht die große Zahl registrierter Einzelableitungen eine Verkürzung der Untersuchung, so dass auch Kinder- oder Patientengruppen mit geringerer Konzentrationsfähigkeit nicht überfordert werden. Die verschiedenen Auswertungsverfahren haben sich in ihrer Kombination bewährt. Sie tragen zur „internen Validierung“ bei und ermöglichen so eine strikte Kontrolle des Alpha-Fehlers trotz der heuristisch-explorativen Herangehensweise.

Zum zweiten Ziel: Ein deutlicher Piktogramme-Wörter-Unterschied zeigte sich im Bereich der N-270/N-340-Komponente, die in den Piktogramme-Kurven signifikant stärker ausgeprägt war und als bildbezogene N300 gedeutet werden kann. Die für Wörter und Piktogramme gleich stark ausgeprägte N-450-Komponente lässt auf eine inhaltliche Kongruenz zwischen Wörtern und Piktogrammen schließen. Die Unterschiede im Bereich der P-360-, P-510- und der Späten Positiven Komponente deuten auf einen Einfluss des zugrunde liegenden Zielreiz/Nicht-Zielreiz-Diskriminations-Paradigmas sowie von der Aufgabenstellung nicht näher definierter „höherer kognitiver Funktionen“ hin.

Ausblick: Der Weg zur klinischen Relevanz von EKP-Parametern erscheint nach wie vor sehr weit. Es deuten sich aber grundlegende Lösungen an. Diese beziehen sich auf die interindividuelle Variabilität (z.B. intraindividuelle Quotientenbildung) und auf eine bessere Ausnutzung des Diskriminationspotentials von EKP-Parametern durch die Optimierung der diagnostischen Kenngrößen (z.B. Sensitivität, Spezifität) für den jeweils konkreten diagnostischen Entscheidungskontext. Voraussetzung hierfür ist allerdings die Etablierung einer breiten Datenbasis aus standardisierten, diagnosebezogenen EKP-Untersuchungen, die ausreichend detaillierte Receiver-Operating-Characteristics-Berechnungen relevanter EKP-Parameter erlaubt.

1.2 Summary

Event-related potentials elicited to visual perception of pictograms and words

Design of a setting for comparative examination of psychiatric disorders in children, teenagers and adults and establishment of a reference data base from a healthy adult population

Background and objective:

Event-related potentials (ERP) are voltage fluctuations in the ongoing electroencephalogram (EEG) that are time locked to sensory, motor, or cognitive events. They are widely used in neuropsychiatric and neurocognitive research but not yet for diagnostic problem solving. This study was performed in the context of a neuropsychiatric working group whose aim it is to promote the use of event-related potentials in psychiatric diagnostics.

The study had three objectives:

1. The design of an ERP setting that was suitable for comparative examination of different psychiatric disorders in children, teenagers and adults. The setting should address directly the imagery as well as the verbal processing systems. The task should be adaptable to the different groups tested without changing the neuropsychological process observed.
2. A detailed reference data base from a group of healthy adults should be established using different methods of data analysis.
3. The methodological quality and practicability of the setting and the methods of data analysis used should be appraised critically and it should be assessed whether they can be used to examine children, teenagers and/or psychiatric patients.

Methods:

First objective: An easy-to-establish setting was developed that also suits the current methodological guidelines of the SOCIETY FOR PSYCHOPHYSIOLOGICAL RESEARCH (PICTON et al., 2000). The stimuli used were self-developed. They comprised 54 numbers, 54 words and 54 pictograms semantically congruent with the words. Pictograms and words represented concrete things that are part of every-day life experience of children and adults. All subjects tested were instructed in a standardized way. This instruction told them that they had to perform a calculation task for the numbers shown (which made the numbers targets) and that the pictograms and words were just for distraction (which made them non-targets).

Second objective: All subjects tested were right-handed and in their twenties. 15 men and 15 women were examined. 324 single sweeps were recorded in each of the seven standard EEG registration sites used (Fz, C3, Cz, C4, P3, Pz, P4) in every subject. A vertical electrooculogram (EOG) was recorded for artefact detection. The grand average ERPs (averaged across all 30 subjects) were analysed morphologically for ERP components, then compared by the permutation test according to BLAIR and KARNISKI (lateralisation and pictogram-word differences). For four of the ERP components

identified parameters were calculated (maximum, area under the curve, center of area) and tested for differences between pictograms and words.

Third objective: The cognitive and concentration-related strain of the subjects tested was explored by standardized questions using visual analogue scales. The quality and relevance of the different methods of data analysis used were critically appraised for their contribution to “internal validation” and alpha error control.

Results:

First objective: The setting was designed according to the given criteria and carried out successfully with the subjects examined. It was used to establish the reference data base from healthy adults.

Second objective: We found these main results: All ERP components were more prominent for pictograms than for words, except the N-450-component, that was equally expressed in both conditions. Frontocentrally (Fz, C3, Cz, C4) this was true for the P-220-component, the N-270-component (which matched the much flatter N-340-component for words), the P-360-, P-510- and the Late Positive Component, parietally (P3, Pz, P4) only for the P-360- and P-510-component. P-360- and P-510-amplitudes were larger parietally than frontally, the amplitude of the Late Positive Component was larger frontally than parietally. No clear lateralisation was found.

Third objective: The visual analogue scale questionnaires showed a low cognitive strain and an intermediate strain concerning the subjects’ ability to concentrate. The different methods of data analysis were interrelated and could show that they really contributed to “internal validation” and thus to statistical quality and alpha error control.

Discussion:

First and third objective: The setting was carried out successfully testing thirty subjects. An adaptation of the setting to the special needs of children or psychiatric patients seems to be easily possible, as the neuropsychological process observed is linked to the pictograms and words and the task (that may need to be adapted) is linked to the numbers. Additionally the duration of the examination can be shortened as we have a large number of single sweeps recorded. So it can be made suitable for subjects who have difficulties concentrating. The combination of the different methods of data analysis used has proven of value for “internal validation” and alpha error control. This is especially important in an explorative study like this.

Second objective: A clear difference between pictograms and words can be found during the N-270/N-340-component which is significantly more prominent for pictograms. It can be understood as a picture-specific N300. The fact that the N-450-component was equally expressed for pictograms and words is a strong argument for semantic congruence between words and pictograms. The differences during the P-360-, P-510- and the Late Positive Component indicate that the underlying target/non-target discrimination task and “higher cognitive functions” (not directly related to the task) also were of great importance for ERP generation.

Outlook: For ERP data the way to clinical relevance still seems to be far. But solutions for fundamental problems are in sight. The problem of overwhelming interindividual variability might be addressed adequately by intraindividual parameter ratios. The discriminative potential of ERPs might be used better by optimizing the test performance indices (e.g. sensitivity, specificity) for the concrete decision at issue, considering the whole diagnostic context. This can only be done though relying on an expanded data base out of standardized, diagnose-related ERP studies, which is needed to calculate the receiver operating characteristics of relevant parameters in sufficient detail.

2 Einleitung

2.1 Ereigniskorrelierte Potentiale

2.1.1 Allgemeines

Ereigniskorrelierte Potentiale (EKP) sind Potentialveränderungen im Elektroenzephalogramm (EEG), die zeitlich an ein sensorisches, motorisches oder psychisch-kognitives Ereignis gebunden sind (COLES & RUGG, 1995). Diese Potentialveränderungen sind so gering, dass sie im unbearbeiteten EEG meist nicht erkannt werden können. Summiert und mittelt man jedoch auf das Ereignis getriggert mehrere EEG-Aufnahmen, so kann man die Ereigniskorrelierten Potentiale vom EEG-Hintergrundrauschen trennen: Das „zufällige“ Rauschen mittelt sich heraus, wogegen sich die an das Ereignis gebundenen EKP deutlicher darstellen (ALTENMÜLLER, 1996). Die Technik der EKP bietet gegenüber modernen bildgebenden Verfahren (z.B. PET, SPECT, fNMR) den Vorteil der hohen zeitlichen Auflösung und kann so deren bessere räumliche Auflösung gut ergänzen.

Der Begriff **Ereigniskorrelierte Potentiale** (englisch: **event-related potentials** (ERP)) bezieht sich heute v.a. auf die sog. endogenen Potentiale. Die exogenen Potentiale werden dagegen meist als **evozierte Potentiale** (englisch: **evoked potentials**) bezeichnet. Diese beiden Klassen ereignisbezogener Potentiale unterscheiden sich einerseits bezüglich der Latenz, andererseits bezüglich der sie beeinflussenden Faktoren: Die evozierten Potentiale treten früher auf als die EKP (bis etwa 100 msec nach dem Stimulus) und sind v.a. abhängig von den physikalischen Reizeigenschaften. Sie werden deshalb auch häufig danach benannt (z.B. Akustisch evozierte Potentiale (AEP), Visuell evozierte Potentiale (VEP), Somatosensorisch evozierte Potentiale (SEP)). Endogene Potentiale dagegen sind stärker von kognitiven Prozessen abhängig, als von Reizmodus. So kann z.B. das unerwartete Fehlen eines Klickreizes in einer regelmäßigen Klickreiz-Folge ein endogenes Potential (P300) auslösen (KLINKE et al., 1968; PICTON & HILLYARD, 1974).

In der Gruppe der Ereigniskorrelierten Potentiale werden mehrere **EKP-Komponenten** von einander unterschieden (COOPER, 1984). Die Nomenklatur ist uneinheitlich. OLBRICH (1989) schließt sich NÄÄTÄNEN et al. (1986) an in der Unterscheidung von „Komponenten“

und „Wellen“, wobei diese Autoren unter „Welle“ das Resultat einer Überlagerung zugrundeliegender „elementarer“ EKP-Komponenten verstehen, die in ihrer Reinform in der real gemessenen EKP-Kurve meist nicht sichtbar sind. ALTENMÜLLER (1996) folgt dieser begrifflichen Differenzierung nicht. Die aktuelle Methodenleitlinie der SOCIETY FOR PSYCHOPHYSIOLOGICAL RESEARCH zu EKP-Forschungsstandards und Publikationskriterien fordert wegen der möglichen Konsequenzen diesbezüglicher sprachlicher Unklarheiten, dass jeder Autor klar definiert, was er unter einer „component“ oder „wave“ versteht (PICTON et al., 2000). In der hier vorgelegten Arbeit benutze ich ausschließlich den Begriff „EKP-Komponente“ und meine damit eine in der realen EKP-Kurve gut sichtbare und morphologisch abgrenzbare Kurvenformation. Über zugrunde liegende neuronalen „Elementarprozesse“ möchte ich sowieso keine Aussagen machen.

Das dieser differenzierten Betrachtung zugrunde liegende **component overlap problem** (WEST et al., 2003) ist neurowissenschaftlich von Bedeutung, denn es spiegelt die komplexen Wechselwirkungen und die zeitlich überlappende Summation der Erregung verschiedener, topographisch zu unterscheidender Generatorstrukturen wieder (STAPELTON et al., 1987; JOHNSON, 1989, 1993, 1995; RUCHKIN et al., 1992). Heute wird es außerdem als Ausdruck der Eigenschaften des Gehirns als neuronales Netzwerk und „highly parallel information processor“ (WEST et al., 2003) verstanden.

Benannt werden die einzelnen Komponenten oder Wellen meist nach ihrer relativen **Auslenkung** (positiv oder negativ) und ihrer ungefähren **Latenz**. So ist die P-300-Komponente eine positive Kurvenauslenkung mit einem Maximum bei ungefähr 300 msec nach Stimulus-Beginn. Die Komponenten werden jedoch manchmal auch einfach nur durchnummeriert: die P-300-Komponente z.B. heißt dann P3 und wird je nach Auslösemodus und Latenz noch weiter in P3a und P3b differenziert (WEST et al., 2003).

Die Ereigniskorrelierten Potentiale weisen erhebliche **interindividuelle Unterschiede** auf. HEINZ vergleicht die Individualität der Ereigniskorrelierten Potentiale mit der Individualität von Gesichtern (HEINZ, 1995): Ihr grundsätzlicher Aufbau ist bei allen Menschen gleich. Dennoch sind weder die Gesichter noch die EKP-Kurven zweier Menschen jemals identisch, im Gegenteil: Die Unterschiede zwischen den Individuen sind erheblich. Bei Gesichtern sind sie so groß, dass sie im sozialen Kontext zur Identifizierung der Individuen genutzt werden.

Die Analogie zwischen der Individualität von Gesichtern und der Individualität von Ereigniskorrelierten Potentialen wird gut gestützt von der 2002 von VAN BEIJSTERVELDT und VAN BAAL veröffentlichten Meta-Analyse über den Vergleich der P-300-Eigenschaften bei Zwillingen: Wie die Gesichter korrelieren auch P-300-Latenz und –Amplitude zwischen Zwillingen deutlich stärker als in der sonstigen Bevölkerung (VAN BEIJSTERVELDT & VAN BAAL, 2002).

2.1.2 Die wichtigsten EKP-Komponenten

2.1.2.1 Die P-100-Komponente

Die **P-100-Komponente (P1)** ist noch stark „exogen“ geprägt, d.h. sie ist weitgehend durch physikalische Reizparameter determiniert. Sie kann jedoch durch Aufmerksamkeitszuwendung vergrößert werden (ALTENMÜLLER, 1996). Von HILLYARD et al. (1978) wird sie zu den Vertexpotentialen gerechnet, weil sie dort (im Ableitort Cz nach JASPER, 1958) meist mit ihrer größten Amplitude abgeleitet werden kann.

2.1.2.2 Die N-100-Komponente

Die **N-100-Komponente (N1)** gehört auch zu den Vertexpotentialen. Sie kann leicht durch jeden unerwarteten Reiz (Lichtblitz oder Geräusch) ausgelöst werden und habituiert bei häufiger Auslösung innerhalb kurzer Zeit. Sie entsteht unabhängig davon, ob der Proband¹ den Reiz beachtet oder nicht. SOKOLOV betrachtet die N-100-Komponente aufgrund dieser Eigenschaften als grundlegende Orientierungsreaktion (SOKOLOV, 1975). HILLYARD et al. konnten nachweisen, dass eine selektive Aufmerksamkeitszuwendung die Amplitude der N-100-Komponente erhöht (HILLYARD et al., 1973).

¹ Aus Gründen der besseren Lesbarkeit verzichte ich auf geschlechtsspezifische Doppelbezeichnungen (z.B. Probandin/Proband, Patientin/Patient, etc.). Selbstverständlich sind immer beide Geschlechter gemeint, wenn dies nicht ausdrücklich anders vermerkt ist.

2.1.2.3 Die P-200-Komponente

Die **P-200-Komponente (P2)** wird von HILLYARD et al. (1978) als mit der N-100-Komponente verbunden angesehen und mit ihr ebenfalls als Vertexpotential bezeichnet. NÄÄTÄNEN (1990) sieht sie als „**P165**“ dem frontocentralen Komplex zugehörig, der mit der Entdeckung seltener Zielreize verbunden ist (**P165-N2b-P3a-Komplex**) (KOELEGA & VERBATEN, 1991).

2.1.2.4 Die N-200-Komponente

Die **N-200-Komponente (N2)** stellt sich je nach Auslösemodus unterschiedlich dar:

Die sogenannte **Mismatch Negativity (MMN)** wird beobachtet, wenn in einer raschen Folge gleichförmiger Töne plötzlich ein abweichender Reiz auftritt. Sie ist größer, wenn der Proband **nicht** auf die Reize achtet und wird deshalb als Ausdruck eines passiven Diskriminationsprozesses gesehen (SAMS et al., 1985; NÄÄTÄNEN, 1990; SAMS & NÄÄTÄNEN, 1991). Diese Komponente wird auch als **N2a** bezeichnet.

Richtet der Proband dagegen seine Aufmerksamkeit auf den abweichenden Reiz, entsteht die **N2b**, die eine längere Latenz als die MMN aufweist und regelmäßig von der P-300-Komponente gefolgt wird (z.B. im Rahmen des P165-N2b-P3a-Komplexes). Der Verhaltensparameter `Reaktionszeit` korreliert positiv mit der Latenz der N2b-Komponente. RITTER et al. (1984) und NÄÄTÄNEN (1986) sehen in dieser Komponente das Korrelat eines aktiven Kategorisierungsprozesses, der eine bewusste Reaktion auf den Reiz vorbereitet.

Sollen die dargebotenen Reize in zwei Kategorien eingeordnet werden, kann man eine stärker parietal betonte N-200-Komponente beobachten, die von NÄÄTÄNEN (1986, 1987) als **N2c** bezeichnet wurde und wahrscheinlich aus mehreren Einzelkomponenten besteht.

2.1.2.5 Die N-300-Komponente

FEDERMEIER und KUTAS registrierten eine **N-300-Komponente**, als sie Probanden am Ende eines Satzes anstelle eines Wortes ein semantisch erwartetes oder unerwartetes Bild zeigten. Sie deuteten diese Komponente daraufhin als **spezifisch für bedeutungstragende Bilder** (FEDERMEIER & KUTAS, 2002). Auch WEST und HOLCOMB fanden eine **N-300-Komponente** bei einer Aufgabe, die die inhaltliche Bedeutungserfassung der gezeigten Bilder erforderte (WEST & HOLCOMB, 2002). Mehrere Arbeiten berichten über eine frontocentrale Lokalisation der **N-300-Komponente** sowie von ihrer Abhängigkeit vom semantischen Kontext der Präsentation (FEDERMEIER & KUTAS, 2002; WEST & HOLCOMB, 2002; GUNTER & BACH, 2004). Neueste Untersuchungen weisen auf einen starken Einfluss der affektiven Verarbeitung der gezeigten Bilder auf die **N-300-Komponente** hin (CAMPANELLA et al., 2005).

2.1.2.6 Die P-300-Komponente

Die bis heute wichtigste und bestuntersuchte EKP-Komponente ist zweifellos die **P-300-Komponente (P3)**. Sie wurde erstmals 1965 von SUTTON et al. beschrieben und wird „klassischerweise“ durch ein Zwei-Stimulus-Diskriminations-Paradigma (englisch: **oddball paradigm**) ausgelöst. Bei diesem Oddball-Paradigma wird die Versuchsperson angewiesen, ihre Aufmerksamkeit auf einen seltenen Zielreiz zu lenken, der sich von den häufigeren gleichförmigen Hintergrundreizen unterscheidet (HEINZ et al., 1991). Abhängig von speziellen experimentellen Bedingungen wurden einzelne Teilkomponente der **P3** unterschieden, weshalb inzwischen vielfach von der **P-300-Gruppe** oder zusammenfassend vom **späten positiven Komplex**² gesprochen wird (ALTENMÜLLER, 1996).

Die **P3a-Komponente** tritt auf, wenn jeder Zielreiz neuartige Reizmerkmale aufweist (SQUIRES et al., 1975) oder wenn zusätzlich zum Zielreiz des Oddball-Paradigmas eine

² Nota bene: Die in dieser Arbeit beschriebene **Späte Positive Komponente** ist ein „langames Potential“ (vgl. Kapitel 2.1.2.8 und den Ergebnisteil dieser Arbeit)!

dritte Reizart auftritt, die sich deutlich von den andern beiden Reizen unterscheidet und so „neuartige“ Merkmale zeigt (COURCHESNE et al., 1975). Die P3a wird deshalb auch „**Novel-P3**“ genannt. Wie die N1 tritt sie auch auf, wenn der neuartige Reiz nicht beachtet wird. Auch habituiert sie nach mehreren Versuchsdurchläufen. Sie wird deshalb ebenfalls als Ausdruck einer automatisierten Orientierungsreaktion verstanden. Die Latenz liegt meist zwischen 250 und 350 msec und ist frontocentral am stärksten ausgeprägt (SQUIRES et al., 1975; COMERCHERO & POLICH, 1999).

Die **P3b-Komponente** ist meistens gemeint, wenn eher undifferenziert von „der“ P-300 gesprochen wird. Sie hat eine längere Latenz als die P3a (zwischen 340 und 700 msec) und ihr Amplitudenmaximum liegt eher zentroparietal. Sie entsteht beim Oddball-Paradigma durch Aufmerksamkeitszuwendung zum Zielreiz, zeigt kaum Habituerungsphänomene und ist nur durch aufgabenrelevante Reize auslösbar (SQUIRES et al., 1977; ROTH, 1983; DONCHIN et al., 1984).

Ihre Amplitude wird v.a. durch zwei Aspekte beeinflusst: die Amplitude wird größer einerseits mit abnehmender Wahrscheinlichkeit des Auftretens des Zielreizes (DUNCAN-JOHNSON & DONCHIN, 1977), andererseits mit zunehmender Aufgabenrelevanz (JOHNSON, 1986). Ihre Latenz korreliert gut mit der Reaktionszeit (MCCARTHY & DONCHIN, 1981), so dass die Latenz der P3b häufig als Maß für die Dauer der Stimulusevaluation genommen wird (WEST et al., 2002). Über die psychologischen Prozesse, die von der P3b reflektiert werden herrscht noch weitgehend Uneinigkeit. Eine der meist zitierten Theorien ist die von DONCHIN (z.B. DONCHIN, 1981), wonach die P3b einen universellen Prozess der Aktualisierung des Arbeitsgedächtnisses („context updating“) anzeigt. Je bedeutender die notwendige Aktualisierung des Arbeitsgedächtnisses ist, die durch das Ereignis erforderlich wird (niedrige Auftretenswahrscheinlichkeit, hohe Aufgabenrelevanz), desto größer ist die Amplitude der P3b. Konsistent mit dieser Theorie ist auch die Beobachtung, dass Ereignisse, die komplexere Diskriminations- oder Bewertungsprozesse erforderlich machen, längere Latenzen in der P3b aufweisen (DONCHIN & COLES, 1988).

2.1.2.7 Die N-400-Komponente

Die erstmals 1980 von KUTAS und HILLYARD beschriebene **N-400-Komponente (N4)** wird v.a. mit semantischen Sprachleistungen in Verbindung gebracht (KUTAS & HILLYARD, 1980). Sie tritt auf, wenn ein Wort nicht in den Sinnzusammenhang eines Satzes passt (z.B. „*I take my coffee with cream and DOG*“), nicht jedoch, wenn an gleicher Stelle ein semantisch passendes Wort steht (z.B. „*I take my coffee with cream and SUGAR*“).

Je „unpassender“ das Wort ist, desto größer die Amplitude der N-400-Komponente, je „passender“ es ist, desto kleiner die Amplitude. Dabei spielt nicht nur die semantische Kongruenz eines Wortes im Satz eine Rolle, sondern auch die Wahrscheinlichkeit seines Auftretens, so dass man die N400-Amplitude als invers korreliert zur semantischen „Erwartung“ dieses Wortes (**word expectancy**) ansieht (KUTAS & HILLYARD, 1984; KUTAS et al., 1984; ALTENMÜLLER, 1996).

Zunächst wurden in den Experimenten nur die Schlusswörter der Sätze verändert, später konnten Kutas et al. N-400-Veränderungen auch in anderen Satzpositionen und auch bei Adjektiven und Verben nachweisen (KUTAS et al. 1988; VAN PETTEN & KUTAS, 1990). Selbst in Wortlisten, in denen den Probanden Wörter ohne Satzkontext präsentiert wurden, riefen semantisch nicht verwandte Wörter größere N-400-Komponenten hervor als semantisch verwandte Wörter (BENTIN et al., 1985; BODDY, 1986; HOLCOMB, 1986 und 1988). Dies konnte sowohl für visuelle als auch für akustische und visuell-akustisch-gemischte („cross-modal“) Wortfolgen nachgewiesen werden (HOLCOMB & NEVILLE, 1990; HOLCOMB & ANDERSON, 1993).

Als Hintergrund dieses Phänomens wird das **semantische oder assoziative „Priming“** angesehen (WEST et al., 2002). Darunter versteht man eine „facilitation in performance“ durch Informationen, die vom impliziten Gedächtnis bereitgestellt werden („implicit memory retrieval“, BUCKNER & KOUTSTAAL, 1998). Das Priming-Phänomen wurde zunächst mit Hilfe von Verhaltensparametern (z.B. Reaktionszeit oder Fehlerhäufigkeit) untersucht, konnte dann aber auch mittels Ereigniskorrelierter Potentiale und bildgebender Verfahren nachgewiesen werden (CONNOLLY et al., 1995; HENSON, 2003). Die bildgebenden Verfahren (z.B. fMRT, PET) konnten für die **geprimeten** Reize meist eine schwächere hämodynamische Antwort nachweisen als für die nicht-geprimeten Reize (HENSON, 2003).

Analog waren die bei semantisch *geprimeten* Begriffen gemessenen N-400-Komponenten kleiner als die bei semantisch nicht-*geprimeten* Begriffen (WEST et al., 2003). Diese Befunde werden als anatomisch und funktionell spezifische Verringerung der neuronalen Aktivierung verstanden, die wiederum durch die Informationsbereitstellung aus dem impliziten Gedächtnis erklärt wird (BUCKNER & KOUTSTAAL, 1998; HENSON, 2003)

Neben dem oben schon beschriebenen **cross-modal-priming** (akustisch/visuell) konnte auch ein **cross-form-priming** (zwei verschiedene Stimuluskategorien innerhalb des gleichen sensorischen Modus, z.B. Piktogramm/geschriebenes Wort) mit Hilfe der N-400-Komponente nachgewiesen werden (CONNOLLY et al., 1995). Der Priming-Effekt ist jedoch nicht auf die N-400-Komponente beschränkt, sondern kann je nach Aufgabenstellung z.B. auch die P-300-Komponente beeinflussen (ÜBERALL et al., 1993). Auch seine topographische Lokalisation hängt vom Stimulusmaterial und der Aufgabenstellung ab (HENSON, 2003).

2.1.2.8 Die P-600-Komponente

Die P-600-Komponente (P6) ist ebenfalls mit sprachlichen Prozessen korreliert. Sie wird hervorgerufen durch Veränderungen der grammatischen Struktur (Syntax) eines Satzes, wie z.B. den Ersatz intransitiver durch transitive Verben, die Verwendung einer falschen Wortkategorie, eines falschen Genus oder Numerus (OSTERHOUT & HOLCOMB, 1992). In letzter Zeit wurde im Zusammenhang mit der P-600-Komponente auch eine „**Anteriore Negativität**“ beschrieben. Diese fällt zeitlich mit der N400 in etwa zusammen, wird jedoch weiter frontal registriert und tritt nur bei syntaktischen, nicht jedoch bei semantischen Anomalien auf (HAGOORT, 2003; HAGOORT et al., 2003). Die Bedeutung von „Anteriorer Negativität“ und P-600-Komponente wird noch lebhaft diskutiert. Letztere wird inzwischen mehrheitlich als Indikator eines „Revisionsprozesses“ verstanden, bei dem die syntaktischen Auffälligkeiten erneut analysiert und ggf. auch „repariert“ werden (FRISCH et al., 2002; CUADRADO & WEBER-FOX, 2003).

2.1.2.9 Die „Langsamen Potentiale“

Die sogenannten „Langsamen Potentiale“ (englisch: „**slow waves**“ oder „**slow potentials**“) dauern meist länger als eine Sekunde an und werden als Korrelate komplexer Informationsverarbeitungsprozesse angesehen (ALTENMÜLLER, 1996). Zu ihnen gehören die „**contingent negative variation**“ (CNV) zwischen einem Warnreiz und einem folgenden imperativen Reiz (WALTER et al., 1964), das „**Bereitschaftspotential**“ (BP) vor motorischen Handlungen (KORNHUBER et al., 1964, 1965), sowie die sogenannten „**DC-shifts**“, die während komplexer mentaler Operationen mit einem Gleichspannungsverstärker gemessen werden können und häufig über mehrere Sekunden andauern (ALTENMÜLLER, 1993).

2.1.3 Visuell ausgelöste Ereigniskorrelierte Potentiale

2.1.3.1 Sensorischer Modus und Ereigniskorrelierte Potentiale

Wenn auch, wie oben schon beschrieben, Ereigniskorrelierte Potentiale ganz ohne äußeren Reiz ausgelöst werden können, nämlich im „missing stimulus“-Paradigma z.B. durch das Ausbleiben eines eigentlich erwarteten Klickreizes (PICTON & HILLYARD, 1974), so ist ihre konkrete Ausformung doch nicht unabhängig von Reizmodus (z.B. akustisch, visuell oder somatosensorisch). EKP-Unterschiede bezüglich des Reizmodus konnten sowohl für Erwachsene (HILLYARD et al., 1978) wie auch für Kinder nachgewiesen werden (TAYLOR, 1993). Aufgrund von Untersuchungen an temporal lobektomierten Patienten postulierte JOHNSON sogar die Existenz modalitätsabhängiger Generatoren der P-300-Komponente (JOHNSON, 1989).

2.1.3.2 Die visuelle Reizdarbietung

Die visuelle Reizdarbietung weist gegenüber der akustischen einige Besonderheiten auf. So ist die visuelle Information räumlich aufgeschlüsselt, wogegen die akustische Information zeitlich gegliedert ist. Trotzdem ist der zeitliche Aspekt auch bei visueller Stimulation von

großer Bedeutung. So muss eine ausreichende Präsentationsdauer gegeben sein, damit die visuelle Information auch vollständig aufgenommen werden kann (in der Regel > 120 ms), andererseits muss die Latenz der endogenen Potentiale beachtet werden. Ist nämlich die Dauer der Darbietung des Reizes deutlich kürzer als die Latenz der ereigniskorrelierten Antwort, so ist mit sog. On/Off-Effekten zu rechnen: Auch das Verschwinden des visuellen Reizmusters kann seinerseits wieder als Stimulus wirken und eine überlagernde EKP-Komponente auslösen. Dies kann zu schwer interpretierbaren Ergebnissen führen. Deshalb sollte sowohl die Dauer der Darbietung eines visuellen Stimulus als auch das zeitliche Intervall zwischen zwei Stimuli größer sein als die Dauer der Reizantwort (HEINZ, 1991).

2.1.3.3 Eigenschaften visueller Stimuli

Bestimmte physikalische Eigenschaften visueller Stimuli beeinflussen die Verarbeitung der aufgenommenen Informationen im Gehirn. Dazu gehören z.B. die Helligkeit, Komplexität oder Farbigkeit des visuellen Reizmusters (JOHANNES et al., 1995; SCHNEIDER, 1999), aber auch seine Position und Ausdehnung im Raum (HAXBY et al., 1990; HAXBY et al., 1994).

Besonders aber die „inhaltlichen Eigenschaften“ des visuellen Reizmusters, die „Bedeutung“ also, die das Reizmuster für einen Probanden hat, haben einen großen Einfluss auf die Art der zerebralen Verarbeitung (ALTENMÜLLER, 1996).

Bedeutung erlangen können visuelle Stimuli

1. durch ihre unmittelbare, von sprachlich-kultureller Kodierung unabhängige „Bildhaftigkeit“ (z.B. **Piktogramme**) (HABER & MYERS, 1982; PELZ, 2002),
2. durch einen kulturell kodierten Zeichencharakter (z.B. **Wörter**) (BENTIN, 1987; PELZ, 2002),
3. durch die spezielle Aufgabenstellung der Untersuchung („Aufgabenrelevanz“, OLBRICH, 1989). Dadurch können sie eine Bedeutung erhalten, die ihnen außerhalb

der Untersuchung weder kulturunabhängig noch kulturgebunden zukommt (z.B. die Definition eines „Zielreizes“ im Rahmen eines Oddball-Paradigmas (vgl. Kapitel 2.1.2.5), an dessen Erscheinen auf dem Bildschirm eine bestimmte Aufgabe geknüpft ist).

2.1.3.4 Gesichter als besondere Stimuluskategorie

Eine besondere Kategorie „bildhafter“ visueller Stimuli sind Gesichter: Sie scheinen in der zerebralen Verarbeitung von visueller Information eine Sonderrolle zu spielen.

Gesichter spiegeln die Stimmung eines Menschen wieder, seine Intentionen, das Maß seiner Aufmerksamkeit und vieles mehr. Sie dienen uns außerdem zur Identifikation unserer Mitmenschen (BRUCE & YOUNG, 1986). Diese Erkennensleistung kann selektiv gestört sein (Prosopagnosie). Die Frage nach der speziellen Verarbeitung von gesichtsspezifischen Informationen hat deshalb auch eine klinisch-psychiatrische und neurologische Relevanz und wird demzufolge ausführlich beforscht (z.B. BENTON, 1980; BEGLEITER et al., 1995).

BÖTZEL & GRÜSSER fanden 1989 in einer Vergleichsstudie mit Gesichts- und Nicht-Gesichtsreizen „gesichtsspezifische“ EKP-Komponenten, deren Ursprung sie im limbischen System (Amygdala, Hippocampus) vermuten. HAXBY et al. fanden 1994 in einer PET-rCBF-Studie klar abgegrenzte neuroanatomische Unterschiede im Bereich des extrastriären Cortex zwischen der Verarbeitung der Information, ob es sich beim visuellen Reiz um ein Gesicht handelt und der Information, wo sich der Gesichts- oder Pseudo-Gesichtsreiz innerhalb eines Referenzrahmens befindet. Im Kontext der hier vorgelegten Arbeit ist u.a. das folgende „gesichterbezogene“ Phänomen interessant: Man „erkennt“ ein Gesicht, kann es aber nicht benennen, d.h. der Name der Person fällt einem nicht ein. BURTON und BRUCE führen dieses den meisten Menschen wohlbekannte Phänomen auf eine getrennte Abspeicherung der semantisch-namensbezogenen und der piktoral-gesichtsbezogener Information zurück (BURTON & BRUCE, 1992; vgl. auch Kapitel 2.3.4).

2.1.3.5 Dekodierung emotionaler Information aus Gesichtern

Nicht nur der Gesichtszug als solcher ist für unser Gehirn von besonderer Bedeutung. Auch die mimisch übermittelte emotionale Information führt zu messbaren Verarbeitungsunterschieden. SCHNEIDER konnte 1999 zeigen, dass sich der emotionale Ausdruck von Gesichtern in der elektrophysiologischen Reizantwort widerspiegelt: Sie fand signifikante Kurvendifferenzen zwischen den einzelnen gezeigten Affekten. Für Trauer und Verachtung waren die Kurven z.B. im Latenzbereich um 500 msec signifikant weniger positiv als für Freude und neutralen Gesichtsausdruck.

CAMPANELLA et al. konnten 2002 durch Veränderungen in der Mimik der gezeigten Gesichtszüge den bekanntermaßen mit der Entdeckung "neuer Reize" verbundenen N2/P3a-Komplex (siehe auch Kapitel 2.1.4 bis 2.1.6) hervorrufen.

Interessant war hier besonders, dass der durch die neue mimische Information evozierte N2/P3a-Komplex eine größere Latenz aufwies, wenn die Veränderung des Gesichtsausdrucks keine Veränderung des emotionalen Gehaltes implizierte (z.B. häufiger und seltener Reiz „Freude“). Wechselte der emotionale Gehalt (z.B. „Freude“ in „Ärger“) trat der N2/P3a-Komplex früher auf: Eine Veränderung des emotionalen Gehaltes scheint von Gehirn also schneller und leichter entdeckt zu werden, als eine mimische Veränderung ohne neue emotionale Information (CAMPANELLA et al., 2002).

2.1.3.6 Emotionale Bewertung visueller Stimuli

Auch unsere emotionale Bewertung der gezeigten Stimuli beeinflusst die Verarbeitung visueller Information nachweislich. So konnte z.B. JESSEN mit Hilfe emotional positiv, negativ und neutral bewerteter Bilder ganz unterschiedlichen Inhalts (Haushaltsgegenstände, Sonnenuntergang mit Liebespaar, Verletzter bei einem Verkehrsunfall, ein lächelndes Baby, usw.) in den abgeleiteten EKPs signifikante Unterschiede in Abhängigkeit von der emotionalen Valenz der Bilder nachweisen (JESSEN, 1997).

2.2 Zerebrale Sprach- und Bildverarbeitung

2.2.1 Visuelle Zeichen

Als Kommunikationsmittel verwendet der Mensch seit langem visuelle Zeichen. Von den prähistorischen Höhlenzeichnungen in Lascaux bis zu heutigen Kinderzeichnungen: Die bildliche Darstellung von physischen Objekten, sozialen Szenen und abstrakteren Konzepten gehört zu den fundamentalen menschlichen Ausdrucksformen (ARNHEIM, 1969).

Sprachforscher gehen davon aus, dass sich unsere heutigen Schriftsysteme über mehrere Zwischenschritte aus relativ naturalistischen Abbildungen (Piktogrammen) entwickelt haben (BODMER, 1989). Auch heute noch ist in verschiedenen Kontexten die Nähe eines Schriftsystems zu seinen „Bild-Wurzeln“ von großer Bedeutung. Das Feld der „Visual Languages“ wird heute intensiv beforscht. In den letzten Jahren stand besonders die Mensch-Computer-Kommunikation im Zentrum des Interesses (CHANG, 1991; CHANG et al., 1992), inzwischen rückt auch wieder die „bildvermittelte“ und damit von den jeweiligen Muttersprachen unabhängige Mensch-Mensch-Kommunikation (z.B. via Internet) ins Blickfeld der Forscher (TANIMOTO, 1997).

Folgende Begriffe werden unterschieden:

- **Piktogramme**, im amerikanischen und internationalen wissenschaftlichen Diskurs auch als **Icons** bezeichnet, nennt man die „abbildenden Zeichen“ (PELZ, 2002), die in ihrer Form noch deutlich und unverkennbar an die abgebildeten Gegenstände oder Szenen erinnern (TANIMOTO, 1997; PELZ, 2002). Trotzdem kann auch ein einzelnes Piktogramm für komplexe Vorstellungen oder Zusammenhänge stehen. Internationale Bildsymbole, wie sie z.B. an Flughäfen oder in Computerprogrammen Verwendung finden, sind häufig Piktogramme (vgl. **Abbildung 2.1**). Piktogramme standen am Beginn der Entwicklungsgeschichte vieler Schriftsysteme (z.B. Chinesisch und Ägyptisch) (BODMER, 1989; BUSSMAN, 2002).

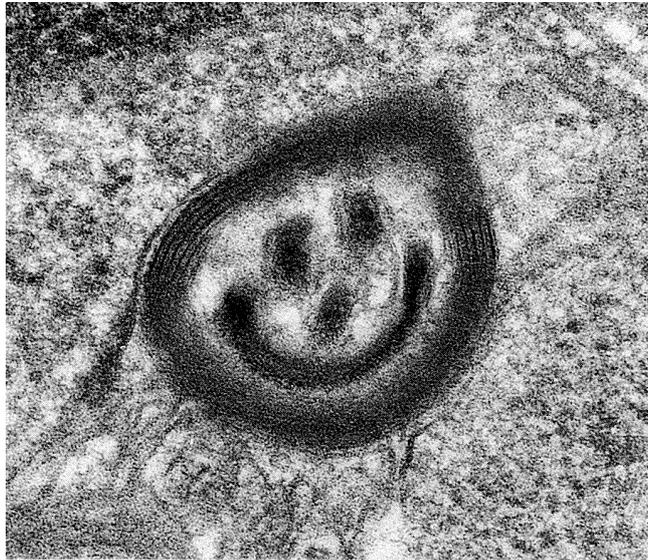


Abbildung 2.2.1: „Lachendes Gesicht“³, hier als neuroanatomisches „Natur-Piktogramm“ (Unretuschierte elektronenmikroskopische Aufnahme eines kleinen myelinisierten Axons mit unterschiedlich angeschnittenen Mitochondrien. Entnommen aus HAINES, 1997).

- **Ideo-, Logo- und Phonogramme** werden in der amerikanischen Linguistik als **Symbols** bezeichnet (PELZ, 2002). Kennzeichnend ist hier, dass ihr Verständnis die Kenntnis bestimmter Konventionen voraussetzt. Logogramme unterscheiden sich von Ideogrammen dadurch, dass sie einen standardisierten Bezug zu einer verbalen Kodierung aufweisen. Phonogramme dagegen sind idealer Weise „genau einer (elementaren) phonologischen Einheit zugeordnet“ (BUSSMAN, 2002). Verkehrszeichen werden z.B. als Ideogramme gesehen, da sie „nicht auf einzelsprachliche Verwendung beschränkt“ sind (BUSSMAN, 2002). Heutige chinesische Schriftzeichen, Dollar- („\$“) und Eurozeichen („€“) dagegen gelten als Logogramme, weil ihnen „eine konstante Zahl phonemischer (...) Komplexe

³ Um genau zu sein: Als „Lachendes Gesicht“ handelt es sich hier zweifellos um ein Piktogramm. Durch den kulturell spezifischen Gebrauch als Zeichen für „Freude“ erhält es jedoch auch Aspekte eines Ideogramms (wie viele zur wortunabhängigen Kommunikation benutzte Piktogramme), als Zeichen mit dem international gebäuchlichen Eigennamen „Smiley“ sogar Aspekte eines Logogramms (vgl. PELZ, 2002).

zugeordnet ist“ (BUSSMAN, 2002). Phonogramme dagegen sind (in Annäherung) die europäischen alphabethischen Schriftzeichen, sowie „Syllabogramme“, wie sie z.B. im japanischen Hiragana und Katakana Verwendung finden (AMANO et al., 1995; BUSSMAN, 2002).

- Die auf SAUSSURE (1916; zitiert nach PELZ, 2002) zurückgehende **kontinentaleuropäische sprachwissenschaftliche Tradition** bezeichnet mit „Symbol“ genau das, was die angloamerikanische Tradition „Icon“ nennt. Das amerikanische „Symbol“ heißt bei SAUSSURE „Signe“ bzw. in der deutschen Rezeption „Zeichen“ (PELZ, 2002).

Diese verschiedenen Verschriftungs-Arten von Begriffen sind nicht nur für die artifiziellen „Visual Languages“ von Bedeutung sondern haben auch im natürlichen Sprachraum weitreichende Konsequenzen. Im Japanischen z.B. gibt es einerseits die phonographischen Kata-Schriften Hiragana und Katagana und andererseits die logo- bzw. ideographische Kanji-Schrift, die (ursprünglich piktographische) chinesischen Schriftzeichen verwendet (BODMER, 1989).

Recht gut untersucht sind Effekte der unterschiedlichen japanischen Schriftsysteme auf die Verarbeitung der Informationen im Gehirn (CABEZA, 1995). Die Ergebnisse mehrerer neuropsychologischer Studien (darunter auch Untersuchungen mit Ereigniskorrelierten Potentialen) weisen darauf hin, dass japanische Kanji-Zeichen ähnlich wie Bilder bevorzugt in der rechten Hemisphäre verarbeitet werden, wogegen die phonographischen Kata-Zeichen ähnlich europäischen (ebenfalls phonographischen) Wörtern bevorzugt in der linken Hemisphäre verarbeitet werden (NAKAGAWA, 1994; YAMAGUCHI et al., 2002) (vgl. auch die in Kapitel 2.2.4 vorgestellte Dual-Coding-Theorie).

In der Tat erlernen japanische und chinesische Kinder bis heute die Bedeutungen der Kanji-Logogramme, indem ihnen deren piktographische Wurzeln nahe gebracht werden. Dieser verbreiteten didaktischen Technik folgend entwarfen TANIMOTO & GLINERT im Rahmen der Entwicklung experimenteller sprachunabhängiger Zeichensysteme für die Mensch-Computer-Kommunikation evolutive Zeichenfolgen von naturalistischen Bildern hin zu

abstrakten Zeichen. Es zeigte sich, dass auch unerfahrene Probanden in der Lage waren, die abstrakten Zeichen richtig zu deuten und korrekt anzuwenden, wenn ihnen die Entwicklungsschritte vom naturalistischen Bild über die immer abstrakter werdenden Piktogramme bis hin zu den gänzlich abstrakten Ideo-/Logogrammen vorgelegt wurden (TANIMOTO & GLINERT, 1986).

2.2.2 Imaginierbarkeit von Begriffen

Nicht nur die „Bildähnlichkeit“ eines Sprachzeichens, sondern auch die Konkretheit oder Abstraktheit eines Begriffes selbst scheint für seine Verarbeitung im Gehirn eine große Rolle zu spielen. Konkrete Begriffe haben einen direkten sensorischen Bezug, abstrakte Begriffe nicht. Von Begriffen, die als konkret eingestuft werden, kann man sich meist gut ein „innere Bild“ machen: Sie sind meist leicht imaginierbar (PAIVIO, YUILLE & MADIGAN, 1968).

In vielen Studien konnte nachgewiesen werden, dass konkrete Begriffe im Allgemeinen leichter und schneller verarbeitet werden als abstrakte. Die Zeit, die man benötigt, um einen Satz zu verstehen ist kürzer für Sätze mit konkreten Begriffen als für Sätze mit abstrakten Begriffen (SCHWANENFLÜGEL & SHOEN, 1983; HABERLANDT & GRAESSER, 1985). Klassifikationsaufgaben, bei denen Probanden zwischen sinnvollen und unsinnigen Sätzen oder zwischen zutreffenden und unzutreffenden Aussagen unterscheiden sollten, wurden für konkrete Begriffe schneller gelöst als für abstrakte (KLEE & EYSENCK, 1973; HOLMES & LANGFORD, 1976; BELMORE et al., 1982). Auch Lern-, Wiedererkennungs- und aktive Erinnerungsleistungen sind für konkrete Begriffe besser als für abstrakte (PAIVIO, 1967; HOLMES & LANGFORD, 1976; MARSCHARK & PAIVIO, 1977; NELSON & SCHREIBER, 1992).

Konkretheit und Imaginierbarkeit von Begriffen sind hochgradig korreliert ($r = 0,83$ bei PAIVIO, YUILLE & MADIGAN, 1968). Dennoch gibt es konkrete Begriffe, die eher wenig „anschaulich“ sind (z.B. „Antitoxin“ oder „Magnesium“). Andererseits gibt es abstrakte Begriffe, bei denen wir schnell ein inneres Bild „vor Augen“ haben (z.B. „Konzert“ oder „gute Laune“). PAIVIO konnte bereits 1967 zeigen, dass die Imaginierbarkeit ein besserer Prädiktor für gute Wiedererkennungs- und aktive Erinnerungsleistungen ist als die

Konkretheit. Aufgrund der hohen Korrelation der beiden Begriffe gehen heute v.a. die Vertreter der Dual-Coding-Theorie (siehe Kapitel 2.2.4) davon aus, dass ein Großteil des oben beschriebenen **Konkretheitseffekts (concreteness effect)** eher der Imaginierbarkeit als der Konkretheit zuzurechnen ist (KOUNIOS & HOLCOMB, 1994; WEST et al., 2003).

2.2.3 Verarbeitung von Sprach- und Bildinformation

Die oben skizzierten Zusammenhänge zwischen Konkretheit/Imaginierbarkeit und besseren Sprachleistungen werden von verschiedenen Theorien aufgegriffen und erklärt. Die bedeutendsten sind die **Age-of-Acquisition-Theorie**, die **Context-Availability-Theorie** und die **Dual-Coding-Theorie**.

Sowohl die Age-of-Acquisition-Theorie als auch die Context-Availability-Theorie sind Single-Coding-Theorien, d.h. sie gehen davon aus, dass es zwar modalitätsabhängig unterschiedliche sensorisch-perceptive „Wege ins Gehirn“ gibt, dass die sinnbezogene (semantische) Verarbeitung jedoch in einem einzigen, sowohl für Sprach- als auch für Bildinformationen zuständigen System geschieht (SCHWANENFLUGEL, 1991; KOUNIOS & HOLCOMB, 1994). Die Dual-Coding-Theorie dagegen postuliert auch für die Verarbeitung der semantischen Aspekte zwei verschiedene Repräsentationssysteme: eins für verbale und ein anderes, wenn auch eng verknüpft, für bildliche Informationen (PAIVIO, 1971; 1986; 1991).

Die **Age-of-Acquisition-Theorie** sieht den Konkretheitseffekt durch ein kumulatives Expositionsphänomen begründet: Kinder lernen in der Regel konkrete/imaginierbare Wörter früher als abstrakte Wörter. Dies führt nach Ansicht der Vertreter dieser Theorie zu einer größeren kumulativen Exposition und damit zu einem besseren „Trainingszustand“ bezüglich der konkreten Wörter, was wiederum plausibel die besseren Leistungen erklärt (GILHOOLY & GILHOOLY, 1979; BROWN & WATSON, 1987; COLTHEART et al., 1988).

Den Vertretern der **Context-Availability-Theorie** reicht diese Erklärung jedoch nicht aus. Sie sehen die semantische Sprachverarbeitung v.a. abhängig vom „kontextuellen Support“, den der Stimulus selbst und die Wissensbasis des Individuums bereitstellen (BRANSFORD & MCCARRELL, 1974; KIERAS, 1978). Der Context-Availability-Theorie zufolge sind isoliert

präsentierte abstrakte Wörter stärker von äußerem kontextuellem Support abhängig als konkrete Wörter, weil sie in der Regel eine größere Mehrdeutigkeit und Ambiguität aufweisen als diese. SCHWANENFLUGEL et al. konnten in einer Vielzahl von Experimenten nachweisen, dass die explizite Bereitstellung von kontextuellem Support für abstrakte Wörter den Konkretheitseffekt größtenteils kompensieren kann (SCHWANENFLUGEL & SHOBEN, 1983; SCHWANENFLUGEL et al., 1988; SCHWANENFLUGEL & STOWE, 1989).

Die Vertreter der **Dual-Coding-Theorie** weisen diesbezüglich jedoch darauf hin, dass aus diesen Daten einerseits noch nicht geschlossen werden kann, dass Konkretheit und „Kontextverfügbarkeit“ aufeinander reduzierbar sind: Es ist auch denkbar, dass sie nur einen oder mehrere Faktoren im semantischen Verarbeitungsprozess gemeinsam beeinflussen.

Andererseits sprechen die Context-Availability-Daten in keinem Punkt gegen getrennte Wort- und Bildsysteme: Gerade die offensichtlich unterschiedliche „Kontextverfügbarkeit“ zwischen konkreten/bildnahen und abstrakten/bildfernen Begriffen kann in zwei verschiedenen und parallel/additiv aktivierbaren Verarbeitungssystemen begründet sein: Konkrete Begriffe aktivieren nach der Dual-Coding-Theorie sowohl das verbale als auch das nonverbal-bildbezogene System, wogegen abstrakte Begriffe zunächst auf das verbale System beschränkt bleiben. Die besseren Leistungen für konkrete Begriffe werden hier also dadurch erklärt, dass ihnen aufgrund ihrer Imaginierbarkeit zwei Repräsentationssysteme (das wort- und das bildbezogene) zur Verfügung stehen, während dies bei abstrakten Begriffe nicht der Fall ist (KOUNIOS & HOLCOMB, 1994; WEST et al., 2003).

Es liegt **umfangreiches empirisches Material** vor, das sowohl die Context-Availability-Theorie als auch die Dual-Coding-Theorie unterstützt:

PAVIO et al. konnten zeigen, dass Bilder besser aktiv erinnert und besser wiedererkannt werden als Wörter. Context-Availability-Vertreter würden hier mit der im Bild automatisch mitgelieferten Kontextinformation argumentieren. Im Rahmen der Dual-Coding-Theorie wären diese Ergebnisse dadurch erklärbar, dass durch die Benennung der Bilder ein zusätzlicher Zugang zum verbalen Repräsentationssystem geschaffen wird und so beide Systeme den Bildern zur Verfügung stehen. Dieser Effekt ist offensichtlich stärker als die

(durch das Setting nicht systematisch induzierte) Imagination der Begriffe (PAIVIO, ROGERS & SMYTHE, 1968).

Ähnlich lassen sich auch die folgenden Ergebnisse interpretieren: Für konkrete/imaginierbare Begriffe konnte PAIVIO bereits 1967 nachweisen, dass sie leichter erinnert werden als abstrakte/schlecht imaginierbare (PAIVIO, 1967). 1973 berichteten PAIVIO und CSAPO, dass die Erinnerungsleistung für Begriffe, die den Probanden sowohl als Bilder gezeigt als auch als Worte vorgesagt wurden deutlich besser war als die für Begriffe, die entweder nur visualisiert oder nur akustisch benannt wurden (PAIVIO & CSAPO, 1973). RICHARDSON wies 1980 nach, dass sprachliche Leistungen bezüglich konkreter Wörter durch interaktive bildliche Instruktionen verbessert werden können, nicht jedoch die Leistungen bezüglich abstrakter Begriffe (RICHARDSON, 1980).

Das Hauptargument für die Dual-Coding-Theorie ist der Nachweis topographischer Unterschiede in der Wort- und Bildverarbeitung: Anatomisch verschiedene, unabhängig voneinander aktivierbare Strukturen implizieren auch funktionell verschiedene Verarbeitungssysteme. Hinweise auf die Existenz anatomisch verschiedener Verarbeitungssysteme und speziell auch deren Zuordnung zu den beiden Hemisphären (links Sprachverarbeitung, rechts Bildverarbeitung) gaben zunächst neuropsychopathologische Syndrome mit umschriebenen anatomischen Läsionen, wie z.B. die Tiefendyslexie (COLTHEART, 1980; PAIVIO, 1986). Zu Tiefendyslexie kann es durch Schädigungen der linken Hemisphäre bei (relativ) intakter rechter Hemisphäre kommen. Bei Patienten, die an Tiefendyslexie leiden ist die Lesefähigkeit besonders für abstrakte Wörter gestört, konkrete/imaginierbare Wörter können deutlich besser gelesen werden (PLAUT & SHALLICE, 1993). 1994 konnten KOUNIOS und HOLCOMB in einer EKP-Studie an Gesunden deutliche topographische Unterschiede in der Verarbeitung konkreter und abstrakter Wörter nachweisen, die die Dual-Coding-Theorie stützen (KOUNIOS & HOLCOMB, 1994).

2.3 EKPs im psychiatrischen Kontext

2.3.1 Neuropsychiatrische Grundlagenforschung

Im psychiatrischen Kontext haben Ereigniskorrelierte Potentiale ihren Platz v.a. in der Forschung (HEINZ, 1995). Sie werden zur Untersuchung vielfältiger neuropsychologischer und neuropsychiatrischer Fragestellungen herangezogen. Immer noch gilt, dass *„die Ableitung der EKP bis heute die einzige einfach zu etablierende und nicht-invasive Methode ist, die in begrenztem Umfang eine Objektivierung psychologischer Parameter erlaubt“* (ALTENMÜLLER, 1996).

Bildgebende Verfahren sind in der Regel ungleich aufwendiger und teurer als EKP-Untersuchungen. Außerdem sind die Ereigniskorrelierten Potentiale bezüglich der zeitlichen Auflösung den bildgebenden Verfahren noch immer deutlich überlegen. Für funktionelle Fragestellungen, die sich auf höhere physiologische und/oder pathologische Hirnleistungen beziehen, gehört die Methode der Ereigniskorrelierten Potentiale deshalb nach wie vor zu den geeignetsten Untersuchungs- und Forschungsmethoden (HOLCOMB, 2003). Wenn sehr detaillierte topographische Fragen im Vordergrund des Interesses stehen, sind die bildgebenden Verfahren der Methode der Ereigniskorrelierten Potentiale jedoch überlegen (HEINZ, 1998; WEST et al. 2003).

Im Rahmen der neuropsychiatrischen Grundlagenforschung sind inzwischen viele psychiatrische Krankheitsbilder mittels Ereigniskorrelierter Potentiale untersucht worden. Die **Krankheitsbilder des schizophrenen Formenkreises** sind dabei wohl die am ausführlichsten untersuchten Störungen. Die Suchanfrage „event-related potentials OR erp AND schizophrenia“ zeigte im Februar 2005 in PubMed/Medline 1158 entsprechende, international veröffentlichte Arbeiten an.

Aufgrund der großen Fülle psychiatrischer EKP-Studien können hier nur wenige exemplarisch aufgeführt werden, um zumindest einen schwachen Eindruck von der Breite und der bereits bestehenden Forschungstradition dieses Wissenschaftsgebietes zu vermitteln: Neben zahlreichen und sehr differenzierten Untersuchungen zur visuellen Informationsverarbeitung, Sprach- und Bildverarbeitung bei schizophren erkrankten Patienten

(z.B. HEINZ & EMSER, 1987; RIST & COHEN, 1988; STRANDBURG et al., 1994; KIMBLE et al., 2000; RUCHSOW et al. 2003) finden sich viele Studien zu Veränderungen bei alkoholkranken Patienten (z.B. KATHMANN et al., 1995; ZHANG et al., 1997; HANSENNE et al., 2003), sowie zur Beurteilung kognitiver Funktionen bei **Demenzen** (z.B. TANAKA et al. 1998; MATHALON et al., 2003) oder bekannten **hirnorganischen Beeinträchtigungen** (z.B. Hirntumoren und Schädelhirntraumata, OLBRICH et al., 1986; Multiple Sklerose, SCHARAFINSKI et al., 1988; neurologische Frührehabilitation von „fraglichen Apallikern“, WITZKE & SCHÖNLE, 1996).

Die EKP-Literatur zur **Depression** ist nicht so umfangreich, wie die zur Schizophrenie oder zu Demenzen, aber auch sehr differenziert (z.B. BANGE & BATHIEN, 1998; FOTIOU et al., 2003). Auch **psychopharmakologische Fragestellungen** zur Funktion bestimmter Rezeptoren oder Neurotransmitter, oder zum Einfluss von Vitaminen oder Medikamenten auf die Informationsverarbeitung im Gehirn wurden mit Ereigniskorrelierten Potentialen differenziert untersucht (z.B. MÜNTE et al., 1995; HEGERL et al., 1996; VANEY et al., 2003; ONOFRJ et al., 2003). Fragen der **Persönlichkeitsbeurteilung** und **Psychopathologie** sind ebenso wie der Bereich der Persönlichkeitsstörungen Gegenstand von EKP-Studien gewesen (z.B. OLBRICH, 1987; BARTUSSEK et al., 1993; JUSTUS et al., 2001).

Ausführlich untersucht sind inzwischen auch entwicklungsbedingte EKP-Veränderungen bei **Kindern und Jugendlichen** (z.B. TAYLOR & MCCULLOCH, 1992; ÜBERALL et al., 1993; KARRER & MONTI, 1995; FUCHIGAMI et al., 1995; NISHIDA et al., 1995; GREENHAM & STELMACK, 2001), sowie EKP-Veränderungen bei kinder- und jugendpsychiatrischen Krankheitsbildern (z.B. TAYLOR et al., 1993; TAYLOR & POURCELOT, 1995; HENNIGHAUSEN et al., 2000; GEORGIEWA et al., 2002).

Auch die zerebralen **Verarbeitungsprozesse von visuellen (Sprach-)zeichen** wurden mittels Ereigniskorrelierter Potentiale bereits bei psychiatrisch erkrankten Erwachsenen (z.B. SPITZER et al., 1997; SITNIKOVA et al., 2002; CONDRA Y et al., 2003) und psychiatrisch erkrankten Kindern und Jugendlichen (z.B. TAYLOR & KEENAN, 1990; BYRNE et al., 1995, 2001; SCHEUERPFUG et al., 2004) untersucht.

2.3.2 Klinische EKP-Forschung

In einem Fach der praktischen Patientenversorgung, wie es die Psychiatrie ist, ist neben der biowissenschaftlich orientierten Grundlagenforschung die epidemiologisch orientierte klinische Forschung von großer Bedeutung (BERNER & BERGER, 2000). In klinischen Studien stehen häufig Fragen nach Krankheitsverläufen mit und ohne therapeutische Intervention im Vordergrund. Als relevante Endpunkte werden meist klinische Morbiditätsmaße und/oder die Mortalität pro Zeiteinheit angenommen (KUNZ et al., 2000).

In diesem Zusammenhang, wo es nicht primär um die Klärung (patho-)physiologischer Zusammenhänge sondern um das **klinische Outcome** geht, bekommen EKP-Parameter häufig die Funktion von Verlaufsparemtern, manchmal auch von sog. „Surrogatparametern“, d.h. sie stehen stellvertretend für andere schwer oder gar nicht messbare Merkmale. Gerade in dieser Funktion, die bei unkritischer Anwendung ein erhebliches Fehlerpotential birgt (MÜHLHAUSER & BERGER, 1996; BERNER & BERGER, 2000), können EEG-basierte Untersuchungsgrößen jedoch wertvolle Instrumente der Objektivierung und Quantifizierung von zerebralen Funktionen oder Krankheitsverläufen sein (SCHWILDEN & SCHUTTLER, 1999; LEOCANI & COMI, 2000; BINNIE, 2001; GREENHALGH, 2001).

Die **Cochrane Library**, die für die Evidenzbasierte Medizin im Allgemeinen (GALANDI & ANTES., 2000) wie für die Evidenzbasierte Psychiatrie im Speziellen (BERNER & BERGER, 2000) als zentrale Referenzdatenbank gilt, führte im Januar 2004 immerhin 356 Studien auf, die methodisch streng (oft randomisiert-kontrolliert) eine klinisch relevante Fragestellung mit Hilfe von Ereigniskorrelierten Potentialen bearbeiten, darunter sechs Systematische Reviews bzw. Meta-Analysen (vgl. RASPE, 2000; BUCHER, 2000a).

2.3.3 Klinische Anwendung von EKPs

Für den praktischen klinischen Einsatz gibt es jedoch trotzdem noch einige limitierende Faktoren, insbesondere was die Verwendung von Ereigniskorrelierten Faktoren als Instrumente zur Diagnosestellung psychiatrischer Erkrankungen beim individuellen Patienten angeht:

Ein wichtiges Problem ist die **niedrige Spezifität** und die **niedrige Sensitivität** der verschiedenen EKP-Veränderungen. So glaubte man in den frühen 1980er Jahren z.B., in der Verlängerung der Latenz und der Verminderung der Amplitude der P-300-Komponente einen spezifisch „schizophrenen“ EKP-Befund entdeckt zu haben. Es dauerte jedoch nicht lange, bis einerseits die gleichen Veränderungen auch bei nicht-schizophrenen Patienten beobachtet wurden, andererseits bei schizophrenen Patienten auch verkürzte Latenzen und größere Amplituden gefunden wurden (HEINZ, 1995). Aus dem Nicht-Vorhandensein einer Latenz-Verlängerung der P-300-Komponente kann man also nicht schließen, dass keine Schizophrenie vorliegt (niedrige Spezifität), andererseits kann man auch nicht allein aus dem Vorliegen einer längeren Latenz auf eine manifeste Erkrankung an Schizophrenie schließen (niedrige Sensitivität) (vgl. BLAND, 1996).

Von großer Bedeutung ist außerdem die stark ausgeprägte **interindividuelle Variabilität**. Die Streuung der Amplituden, die innerhalb von zwei Standardabweichungen einer gesunden Population vorkommt, ist oft deutlich größer als die krankheitsbedingten Veränderungen, die sich im Vergleich der gemittelten Gruppenkurven (gesund – erkrankt) darstellen (HEINZ, 1995). Anders ausgedrückt: Die krankheitsbedingten EKP-Veränderungen gehen oft in der interindividuellen Variabilität unter. Der Einfluss der individuellen Ausprägung von Transmittersystemen, unterschiedlichen affektiven Ausgangszuständen, etc. auf die konkrete Ausprägung der Ereigniskorrelierten Potentiale ist oft größer als der Einfluss einer möglicherweise vorhandenen psychiatrischen Erkrankung (OLBRICH, 1989; HEINZ, 1995; WEST et al., 2003).

Eine weitere nicht zu unterschätzende Schwierigkeit liegt darin, **beim einzelnen Patienten** oder Probanden zweifelsfrei zu entscheiden, welche der oft untypisch geformten Kurvenauslenkungen die „wahre“ **EKP-Komponente** (z.B. P-300-Komponente) darstellt: Aufgrund vielfältiger Faktoren sind die EKP-Komponenten beim einzelnen Patienten oder Probanden oft mehrgipflig, so dass die Frage, welcher Gipfel denn nun der „richtige“ ist, oft schwer zu beantworten ist (LUTZENBERGER, 1985; HEINZ, 1995; HEINZ, 1998; siehe auch im Anhang die EKP-Kurven der einzelnen Probandinnen und Probanden).

2.3.4 Entwicklungsperspektiven

Die Problematik der niedrigen Spezifität und Sensitivität ist zur Zeit noch untrennbar mit den Ereigniskorrelierten Potentialen verbunden, denn sie resultiert u.a. aus der großen interindividuellen Streubreite, die auch innerhalb einer gesunden Population vorliegt: Erst ein **auf den individuellen Patienten „geeichtes“ Bezugssystem** könnte dieses grundsätzliche Problem lösen. HEINZ stellte in seiner 1998 veröffentlichten Arbeit diesbezügliche Ansätze vor. Durch intraindividuelle Quotientenbildung verschiedener EKP-Parameter gelang es ihm, die interindividuelle Variabilität teilweise „herauszukürzen“ (HEINZ, 1998).

Aufgrund der bisher niedrigen klinischen Relevanz existieren auch noch keine diagnostischen Gesamtkonzepte, die Ereigniskorrelierten Potentialen **eine konkrete Entscheidungsfunktion bei konkreten diagnostischen Konstellationen** zuweisen würden (ALTENMÜLLER, 1996). In Verbindung mit einer verbesserten „Eichung“ auf den einzelnen Patienten läge darin möglicherweise auch ein Potential, bisher ungenutzte Diskriminationsfähigkeiten der Ereigniskorrelierten Potentiale für die klinisch-psychiatrische Diagnostik zu erschließen. Dies könnte z.B. über die optimale Festlegung individueller Cut-off-Werte für den jeweils konkreten Fall und die damit verbundene Anpassung der notwendigen diagnostischen Kenngrößen (z.B. Spezifität/Sensitivität) an das konkrete diagnostische Problem geschehen (vgl. DONNER-BANZHOF, 1999; ALTMAN, 2002b; HOPSTAKEN et al., 2003; vgl. auch Kapitel 5.4).

Eine weitere Herausforderung für die Zukunft der psychiatrischen EKP-Forschung liegt in der **Standardisierung der Untersuchungsbedingungen**. Viele in der Vergangenheit durchgeführte Studien sind aufgrund unterschiedlicher Aufnahme-standards und Untersuchungssettings kaum vergleichbar. Parameter, die so vielen verschiedenen Einflussgrößen ausgesetzt sind wie EKP-Komponenten können seriös nur verglichen werden, wenn die Umfeldbedingungen möglichst gut kontrolliert werden und Störgrößen entweder ausgeschaltet oder konstant gehalten werden können (KOELEGA & VERBRATEN, 1991). Um dies zukünftig zu erleichtern, hat die internationale SOCIETY FOR PSYCHOPHYSIOLOGICAL RESEARCH in ihrer Leitlinie aus dem Jahr 2000 einheitliche Aufnahme-standards und Publikationskriterien für der EKP-Forschung vorgegeben (PICTON et al., 2000).

2.4 Zielsetzung dieser Arbeit

Die vorliegende Untersuchung möchte dazu beitragen, die Lücke zwischen der biowissenschaftlichen Grundlagenforschung und der Anwendbarkeit ihrer Erkenntnisse in der praktischen Patientenversorgung zu schließen. Sie ist eingebettet in die Arbeit einer psychiatrisch-neurophysiologischen Arbeitsgruppe, die nach Wegen sucht, Ereigniskorrelierte Potentiale in größerem Ausmaß als bisher üblich für die psychiatrische Patientenversorgung zu erschließen (vgl. HEINZ, 1998).

In diesem Kontext hatte die vorliegende Arbeit drei Ziele:

1. Es sollte ein EKP-Setting entwickelt werden, das zur vergleichenden Untersuchung verschiedener psychiatrischer Störungen bei Kindern, Jugendlichen und Erwachsenen eingesetzt werden kann. Dabei sollte sowohl das bildbezogene als auch der sprachbezogene zerebrale Verarbeitungssystem direkt angesprochen werden. Die Aufgabenstellung sollte an die jeweils untersuchte Gruppe angepasst werden können, ohne dass der untersuchte neuropsychologische Prozess maßgeblich verändert wird.
2. An einer gesunden erwachsenen Probandengruppe sollten mittels verschiedener Auswertungsverfahren (morphologische, graphische und numerische Verfahren) detaillierte Referenzdaten für den Vergleich mit den verschiedenen geplanten Kinder-, Jugendlichen- und/oder Patienten-Gruppen ermittelt werden. Dabei sollten insbesondere topographische Aspekte (mögliche Lateralisierungen) und Unterschiede zwischen den Stimuluskategorien herausgearbeitet werden.
3. Das Setting und die Auswertungsverfahren sollten hinsichtlich ihrer methodischen Qualität, Praktikabilität und voraussichtlichen Eignung für die geplanten Untersuchungen von Kindern, Jugendlichen und/oder psychiatrischen Patienten reflektiert werden.

3 Material und Methodik

3.1 Setting

3.1.1 Grundsätzliche Überlegungen

Das Ziel unserer Arbeitsgruppe ist es, das in dieser Arbeit entwickelte und erprobte Setting möglichst unverändert auf möglichst viele klinisch relevante psychiatrische und kinder- und jugendpsychiatrische Krankheitsbilder anzuwenden und so eine in hohem Maße vergleichbare Datenbasis bereitzustellen. Deshalb ist es wichtig, dass das Setting so flexibel gestaltet wird, dass es einerseits an die besonderen Bedingungen der einzelnen untersuchten Gruppen angepasst werden kann, andererseits dadurch nicht seine Vergleichbarkeit verliert.

Als zu beobachtenden neuropsychologischen Prozess wählten wir die aufmerksame aber passive visuelle Perzeption von inhaltlich kongruenten Piktogrammen und Wörtern. Die Idee dahinter war, sich nicht in kognitiven Teilleistungen zu verlieren, sondern das zu messen, was automatisch abläuft, wenn man sich aufmerksam, aber ohne besondere Absicht, mit einfachen, alltäglichen Abbildungen und Begriffen konfrontiert sieht. Weil bei vielen (kinder- und jugend)-psychiatrischen Krankheitsbildern die Verarbeitung von Bild- und/oder Sprachinformationen verändert oder gestört ist, wollten wir sowohl das bildbezogene als auch das wortbezogene Repräsentationssystem direkt ansprechen. So wird neben dem Vergleich mit der Referenzgruppe auch der direkte Vergleich der beider Systeme beim jeweiligen klinischen Krankheitsbild ermöglicht. Als visuelle Begriffsrepräsentationen wählten wir Piktogramme und Wörter. Die gezeigten Begriffe sollten konkret und emotional relativ neutral sein und im alltäglichen Erfahrungsraum von Kindern und Erwachsenen vorkommen.

Um eine Adaptation des Settings an die verschiedenen zu untersuchenden Gruppen zu ermöglichen, „versteckten“ wir den uns interessierenden neuropsychologischen Prozess, der bei allen untersuchten Gruppen unverändert gehalten werden soll, durch seine Verknüpfung mit „Nicht-Zielreizen“ hinter einer vordergründigen Aufgabenstellung, die an „Zielreize“ geknüpft wurde, und die flexibel an die verschiedenen Gruppen angepasst werden kann.

Konkret knüpften wir die Schwierigkeit der Aufgabenstellung für die Probanden (und damit die erforderliche Konzentration und Aufmerksamkeit) an eine Kopfrechenaufgabe, die mit dem Erscheinen einer Zahl als „Zielreiz“ verbunden wurde. Die Piktogramme und Wörter wurden den Probanden als belanglose Ablenkreize dargestellt. Durch diese Konstruktion wird es ermöglicht, die Schwierigkeit der an die Zahlen geknüpften Aufgabenstellung an die jeweils untersuchte Gruppe anzupassen, ohne die Art der Verarbeitung der Piktogramme und Wörter maßgeblich zu verändern.

3.1.2 Probanden

Alle Probanden waren junge gesunde Erwachsene, größtenteils Medizinstudenten der Universität des Saarlandes. Sie alle nahmen freiwillig und ohne Bezahlung an der Untersuchung teil und waren mit der anonymisierten elektronischen Weiterverarbeitung ihrer Daten einverstanden.

Zu den Ausschlusskriterien gehörte die anamnestische Angabe von neurologischen oder psychiatrischen Erkrankungen, einschließlich Schädelhirntraumata. Auch die Einnahme von psychotropen Medikamenten oder Drogen führte zum Ausschluss von der Untersuchung.

Zum Zeitpunkt der Untersuchung waren die Probanden ausgeschlafen und keinen besonderen körperlichen oder psychischen Belastungen ausgesetzt. Auf Alkoholkonsum sollte 24 Stunden vor Untersuchungsbeginn verzichtet werden. Während der einzelnen Untersuchungsblöcke sowie in den Pausen dazwischen wurde nicht geraucht. Soweit nötig wurden die Versuchspersonen mit korrigierter Sehschärfe untersucht.

Insgesamt wurden nach Abschluss der Vorversuche 33 Personen untersucht. Davon konnten jedoch nur 30 in die Auswertung einbezogen werden. Die Messdaten der anderen drei Probanden waren zu stark durch Artefakte kontaminiert. Entsprechend der angestrebten balancierten Geschlechtsverteilung waren von den 30 ausgewerteten Probanden 15 Frauen und 15 Männer.

Die Versuchspersonen waren zum Zeitpunkt der Untersuchung zwischen 20 und 29 Jahre alt. Das mittlere Alter der Männer betrug 24,3 Jahre, die Standardabweichung $\pm 2,8$ Jahre. Das mittlere Alter der Frauen war 23,9 Jahre, die Standardabweichung lag hier bei $\pm 2,0$ Jahren.

Die Händigkeit der Versuchspersonen wurde mit Hilfe des Edinburgh Inventory (OLDFIELD, 1971, siehe Anhang) überprüft. Als Proband wurde nur zugelassen, wer mindestens für acht der zehn Items "rechts" angab und sich damit als Rechtshänder auswies.

3.1.3 Stimulusmaterial

Als visuelles Reizmaterial dienten 54 Piktogramme, 54 Wörter und 54 Zahlen. Die Piktogramme und die Wörter bildeten dabei die für die Untersuchung relevanten Stimuli. Die Zahlen dienten nur dazu, die Aufmerksamkeit der Probanden durch eine an sie geknüpfte Kopfrechenaufgabe aufrecht zu erhalten.

Piktogramme und Wörter hatten den gleichen Inhalt. Ihre inhaltliche Kongruenz wurde durch Augenscheinvalidierung (**face validity**: BORTZ & DÖRING, 2002) von den Mitgliedern der Arbeitsgruppe festgestellt. Es gab also nur 54 verschiedene Begriffe, von denen jeder sowohl durch ein Piktogramm als auch durch ein Wort dargestellt wurde. Dadurch wurden inhaltliche Unterschiede als mögliche Störgröße beim Vergleich der EKP von Piktogrammen und Wörtern ausgeschlossen.

Als Begriffe wurden zählbare, leicht darstellbare konkrete Dinge aus dem von Kindern und Erwachsenen geteilten alltäglichen Erfahrungsbereich ausgewählt. Eine inhaltliche Schwerpunktbildung wurde vermieden.

Wörter:

Geachtet wurde darauf, dass das zugehörige Wort kein Fremdwort war und höchstens zwei Silben hatte. Es wurden gleich viele Begriffe mit einsilbigen wie mit zweisilbigen Wörtern ausgesucht (vgl. **Tabelle 3.1**).

Einsilbige Wörter:		Zweisilbige Wörter:	
Axt	Krug	Anker	Kirche
Bank	Mund	Apfel	Knochen
Bett	Pilz	Birne	Koffer
Blatt	Schiff	Blume	Kuchen
Brot	Schirm	Brezel	Löffel
Buch	Schwein	Brille	Messer
Ei	Stern	Eimer	Nagel
Fisch	Stuhl	Eule	Pfeife
Frosch	Tisch	Fahne	Säge
Fuß	Tür	Flasche	Schere
Hand	Turm	Gabel	Schlüssel
Hund	Uhr	Glocke	Tasse
Haus	Wurst	Hammer	Würfel
Hut		Kerze	

Tabelle 3.1: Die als Stimuli verwendete Wörter.

Piktogramme:

Die Piktogramme wurden mit Hilfe des Grafikprogramms "Aldus Photostyler 2.0" selbst erstellt. Teils wurden mittels eines Scanners geladene Vorlagen weiterverarbeitet, teils

gänzlich neue Zeichnungen angefertigt. Angestrebt wurden möglichst einfache Strichzeichnungen, die jedoch inhaltlich eindeutig sein mussten. Die verschiedenen Piktogramme sollten sich bezüglich Größe und Komplexität möglichst wenig unterscheiden.

Abbildung 3.1 zeigt einige Piktogramme. Im Anhang finden sich alle verwendeten Piktogramme.

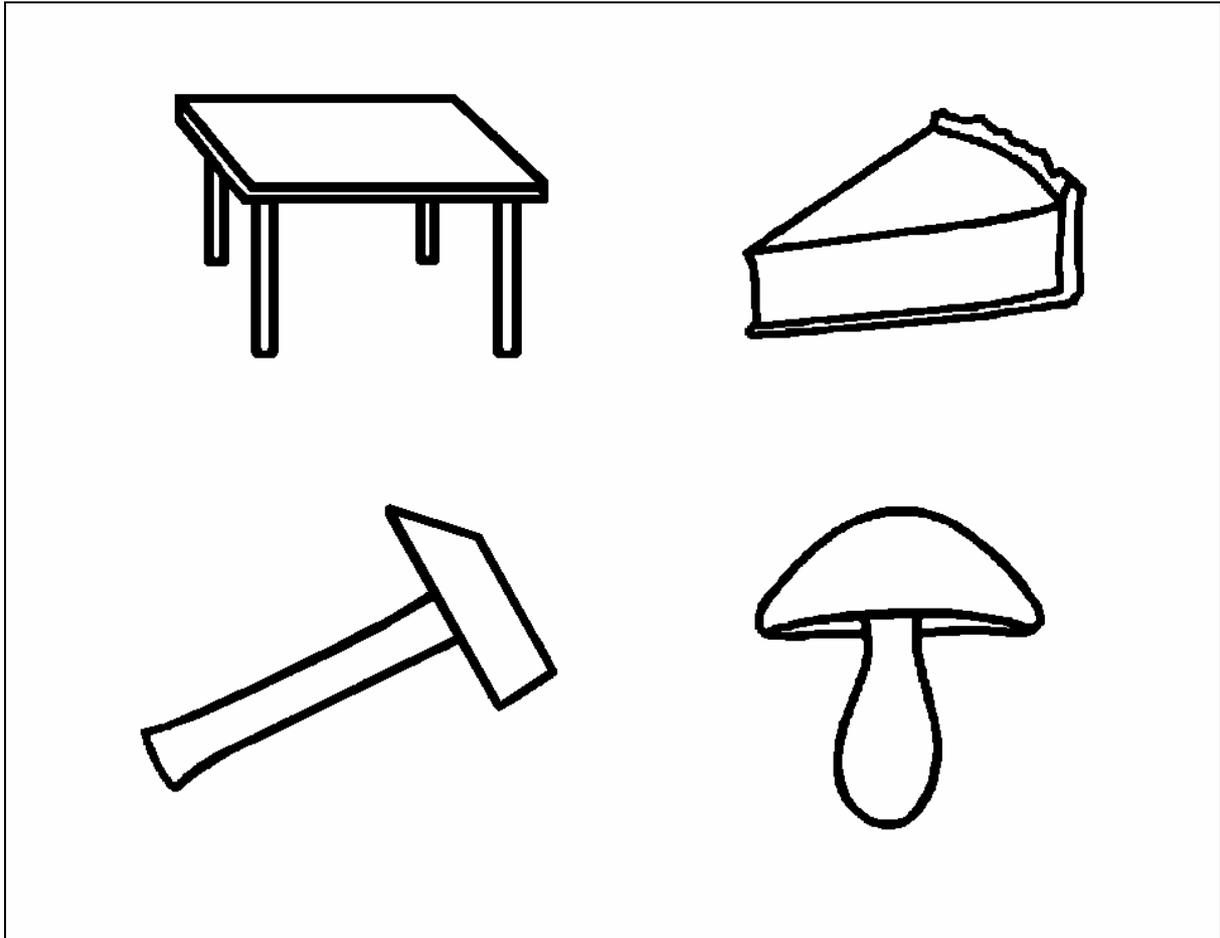


Abbildung 3.1: Beispiele der als Stimuli verwendeten Piktogramme.

Zahlen:

Die verwendeten Zahlen lagen alle zwischen 10 und 100. Die Probanden hatten die Aufgabe zu überprüfen, ob die gezeigte Zahl durch drei teilbar ist. Die Zahlen wurden so ausgewählt, dass die Hälfte teilbar war. Aus jeder der neun zur Verfügung stehenden Zehnerstufen wurden

drei teilbare und drei nicht teilbare Zahlen rekrutiert. **Tabelle 3.2** listet die verwendeten Zahlen auf.

11	15	21	25	32	37	41	45	50	54	61	65	71	75	80	84	92	97
12	17	22	27	33	38	42	47	51	57	63	66	72	76	81	85	93	98
14	18	24	28	36	39	44	48	53	58	64	69	74	78	82	87	96	99

Tabelle 3.2: Die als Stimuli verwendeten Zahlen.

3.1.4 Präsentation der Stimuli

Zur Reizpräsentation wurde ein etwa zwei Meter vor dem Probanden platzierter 20"-Farbmonitor benutzt. Das Reizmaterial wurde in gelber Farbe auf dunklem Hintergrund dargestellt. Helligkeit und Kontrast wurden so eingestellt, dass sich die gelben Pixel ohne zu blenden deutlich vom Hintergrund abhoben.

Für den Bildschirm ergab sich ein Sehwinkel von etwa $11,3^\circ$ in horizontaler und 8° in vertikaler Richtung. Für alle Stimuli war die Gesamtfläche des Bildschirms mit 640×480 Pixeln kodiert.

Zur Darstellung der Wörter wurde die Schriftart Arial in der Größe 80 benutzt. Der Sehwinkel für Wörter lag dadurch horizontal zwischen $1,4^\circ$ ("Ei") und $7,2^\circ$ ("Schlüssel") und betrug vertikal $1,3^\circ$. Für die zweistelligen Zahlen wurde Arial 100 verwendet, was einen Sehwinkel von $2,3^\circ \times 1,7^\circ$ ergab.

Der Sehwinkel für die Piktogramme lag etwa zwischen $3^\circ \times 2^\circ$ (Ei) und $6^\circ \times 4,5^\circ$ (Buch) und war damit durchweg größer als der für Wörter und Zahlen. Jedoch war die Strichdicke der Buchstaben und Ziffern größer als die der Piktogramme, so dass ein gewisser Ausgleich bezüglich der gleichen Anzahl an gelben Pixeln erreicht wurde.

Piktogramme und Wörter erschienen für 1,5 Sekunden auf dem Bildschirm. Zahlen blieben solange auf dem Bildschirm zu sehen bis die Versuchsperson sich durch Tastendruck für "teilbar" oder "nicht teilbar" entschieden hatte, jedoch mindestens 1,5 und höchstens 5 Sekunden. Um Erwartungspotentialen vorzubeugen, schwankte das Zeitintervall zwischen den visuellen Reizen in pseudorandomisierter Weise zwischen 3 und 6 Sekunden.

3.1.5 Anzahl und Abfolge der präsentierten Reize

Um die Anzahl der Einzelantworten und damit den Signal-Rausch-Abstand in den durch Mittelung gewonnenen EKP-Kurven zu erhöhen, wurden alle Stimuli zweimal gezeigt. Dadurch konnten insgesamt 108 Einzelantworten pro Stimuluskategorie (Piktogramme, Wörter, Zahlen) abgeleitet werden.

Die 324 zu zeigenden Stimuli wurden in vier Blöcke zu je 81 Stimuli aufgeteilt. In jedem Block wurden 27 Piktogramme, 27 Wörter und 27 Zahlen präsentiert. Innerhalb eines Blockes erschienen alle Begriffe genau einmal, entweder als Piktogramm oder als Wort. Durch drei teilbare und nicht durch drei teilbare Zahlen hielten sich etwa die Waage (13/14 bzw. 14/13).

Der erste Block war in sofern komplementär zum zweiten, als die im ersten als Piktogramme gezeigten Begriffe im zweiten als Wörter wiederkehrten und die als Wörter gezeigten als Piktogramme. Der dritte Block entsprach dem ersten, der vierte dem zweiten, jeweils in umgekehrter Reihenfolge. Innerhalb eines Blockes war die Reihenfolge der Stimuli pseudorandomisiert.

Tabelle 3.3 stellt die Stimulusabfolge des ersten Blocks dar, **Tabelle 3.4** die des zweiten Blocks. Die erste Spalte zeigt die laufende Nummer. In der mittleren Spalte ist der präsentierte Stimulus angegeben. "**W: Begriff**" bedeutet dabei, dass der Begriff als Wort gezeigt wurde, "**P: Begriff**" steht entsprechend für das zugehörige Piktogramm. In der dritten

Spalte ("Int.") ist jeweils die Dauer des Zeitintervalls zwischen dem in gleicher Zeile aufgeführten Reiz und dem Folgereiz angegeben.

Nr.	Stimulus	Int.						
1	97	6,0 s	20	W: Brezel	6,0 s	40	P: Säge	5,0 s
2	W: Eimer	5,0 s	21	54	4,5 s	41	18	6,0 s
3	P: Hammer	4,0 s	22	P: Brille	3,5 s	42	W: Axt	5,0 s
4	71	3,5 s	23	P: Fisch	5,5 s	43	50	4,0 s
5	P: Knochen	5,5 s	24	21	3,0 s	44	W: Fahne	3,5 s
6	W: Schwein	4,5 s	25	W: Nagel	4,0 s	45	P: Kuchen	5,5 s
7	14	3,0 s	26	69	5,0 s	46	W: Schiff	4,5 s
8	P: Pfeife	5,0 s	27	P: Haus	4,5 s	47	P: Stern	3,0 s
9	W: Birne	3,0 s	28	25	5,0 s	48	78	5,0 s
10	P: Schlüssel	4,5 s	29	P: Kerze	3,0 s	49	W: Glocke	5,5 s
11	W: Flasche	4,0 s	30	W: Frosch	4,0 s	50	42	4,5 s
12	45	6,0 s	31	93	3,5 s	51	87	4,0 s
13	P: Gabel	3,5 s	32	P: Tasse	5,5 s	52	W: Hut	6,0 s
14	P: Mund	5,5 s	33	W: Anker	6,0 s	53	P: Ei	3,5 s
15	W: Würfel	4,0 s	34	P: Blatt	3,5 s	54	P: Turm	5,5 s
16	81	6,0 s	35	W: Wurst	5,0 s	55	47	4,0 s
17	38	5,0 s	36	37	4,5 s	56	P: Koffer	6,0 s
18	W: Buch	3,0 s	37	W: Messer	3,0 s	57	P: Fuß	5,0 s
19	W: Schirm	4,5 s	38	P: Apfel	4,0 s	58	27	3,0 s
			39	61	6,0 s	59	W: Bank	4,5 s

60	W: Löffel	6,0 s
61	58	4,5 s
62	P: Tür	3,5 s
63	W: Hund	5,5 s
64	P: Stuhl	3,0 s
65	82	4,0 s
66	W: Bett	5,0 s
67	33	4,5 s
68	W: Tisch	5,0 s

69	P: Eule	3,0 s
70	W: Brot	4,0 s
71	P: Pilz	3,5 s
72	74	5,5 s
73	W: Blume	6,0 s
74	98	3,5 s
75	P: Krug	5,5 s
76	66	4,5 s
77	W: Kirche	3,0 s

78	P: Uhr	4,0 s
79	P: Schere	6,0 s
80	11	5,0 s
81	W: Hand	3,0 s

Tabelle 3.3: Aufbau des ersten Untersuchungsblocks.

Der dritte Untersuchungsblock entspricht diesem in umgekehrter Reihenfolge

Nr.	Stimulus	Int.
1	W: Apfel	6,0 s
2	P: Axt	5,0
3	64	4,0
4	P: Messer	3,5
5	W: Blatt	5,5 s
6	22	4,5 s
7	57	3,0 s
8	W: Tasse	5,0 s
9	P: Wurst	3,0 s
10	W: Kerze	4,5 s

11	P: Anker	4,0 s
12	36	6,0 s
13	W: Haus	3,5 s
14	80	5,5 s
15	48	4,0 s
16	W: Fisch	6,0 s
17	P: Nagel	5,0 s
18	P: Brezel	3,0 s
19	15	4,5 s
20	P: Schirm	6,0 s
21	P: Buch	4,5 s

22	72	5,5 s
23	W: Brille	3,0 s
24	W: Mund	4,0 s
25	W: Gabel	5,0 s
26	P: Würfel	4,5 s
27	92	5,0 s
28	P: Flasche	3,0 s
29	41	4,0 s
30	W: Schlüssel	3,5 s
31	96	5,5 s
32	W: Pfeife	6,0 s

33	P: Birne	3,5 s	51	W: Pilz	6,0 s	69	W: Turm	4,0 s
34	W: Knochen	5,5 s	52	53	3,5 s	70	P: Glocke	3,5 s
35	P: Schwein	4,5 s	53	75	5,5 s	71	W: Ei	5,5 s
36	32	3,0 s	54	W: Eule	4,0 s	72	99	6,0 s
37	W: Hammer	4,0 s	55	W: Stuhl	6,0 s	73	P: Schiff	3,5 s
38	17	6,0 s	56	W: Tür	5,0 s	74	W: Stern	5,5 s
39	P: Eimer	5,0 s	57	24	3,0 s	75	65	4,5 s
40	63	6,0 s	58	P: Hund	4,5 s	76	P: Hand	3,0 s
41	P: Kirche	5,0 s	59	P: Frosch	6,0 s	77	39	4,0 s
42	W: Schere	4,0 s	60	76	4,5 s	78	W: Kuchen	6,0 s
43	28	3,5 s	61	W: Fuß	3,5 s	79	W: Säge	5,0 s
44	P: Blume	5,5 s	62	12	5,5 s	80	51	3,0 s
45	W: Uhr	4,5 s	63	P: Löffel	3,0 s	81	P: Fahne	3,5 s
46	P: Brot	3,0 s	64	W: Koffer	4,0 s			
47	W: Krug	5,0 s	65	P: Bank	5,0 s			
48	84	5,5 s	66	85	4,5 s			
49	P: Tisch	4,5 s	67	46	5,0 s			
50	P: Bett	4,0 s	68	P: Hut	3,0 s			

Tabelle 3.4: Aufbau des zweiten Untersuchungsblocks.

Der vierte Untersuchungsblock entspricht diesem in umgekehrter Reihenfolge

3.1.6 Aufgabenstellung und Instruktion der Probanden

Um die Aufmerksamkeit der Probanden auf einem hohen Niveau zu halten, erhielten sie die Aufgabe, zu entscheiden, ob die gezeigten Zahlen durch drei teilbar sind. Für teilbare Zahlen

sollten sie die linke, grün markierte, für nicht teilbare die rechte, rot markierte Taste einer Maus drücken. Piktogramme und Wörter wurden als bedeutungslose Ablenkreize dargestellt.

Allen Probanden wurde vor Untersuchungsbeginn das in **Abbildung 3.2** wiedergegebene Merkblatt vorgelegt.

Liebe Probandin, lieber Proband,

bei der folgenden Untersuchung werden Ihnen Zahlen, Wörter und Bilder in unregelmäßiger und zufälliger Reihenfolge gezeigt. Ihre Aufgabe besteht darin, zu entscheiden, ob die gezeigten Zahlen durch 3 teilbar sind oder nicht. Wörter und Bilder sind für Sie ohne Bedeutung.

Ist die Zahl durch 3 teilbar, drücken Sie bitte "JA" (= grün) !

Ist sie nicht teilbar, drücken Sie bitte "NEIN" (= rot) !

Wenn Sie sich nach einer gewissen Zeit nicht entschieden haben, läuft das Programm automatisch weiter. Lidschlag kann unsere Messungen stören. Bitte versuchen Sie deshalb nach Möglichkeit nur dann zu blinzeln, wenn der Bildschirm nichts anzeigt.

Vielen Dank für Ihre Mitarbeit und
Viel Spaß beim Rechnen !!!

Abbildung 3.2: Merkblatt, das allen Probanden vor Beginn der Untersuchung vorgelegt wurde.

3.1.7 Versuchsdurchführung

Nachdem in einem Vorgespräch die Eignung der Versuchsperson einschließlich der Rechtshändigkeit (Edinburgh Inventory, OLDFIELD, 1971) geklärt worden war, wurden in einem Nebenraum zunächst die Messelektroden angelegt.

Die eigentliche Untersuchung fand danach in einem abgedunkelten, schallisolierten Videostudio statt, das durch eine Einwegsichtscheibe mit dem angrenzenden Regieraum verbunden war. Neben einem bequemen Sessel für die Probanden befanden sich in diesem Studio auch der Monitor zur Präsentation des Reizmaterials und der Vorverstärker für die EEG-Haube. Beide Geräte waren mit dem Rechner im Regieraum verbunden, der sowohl zur Steuerung und Überwachung der Untersuchung als auch zur Aufzeichnung der gemessenen Signale diente.

Nachdem die Probanden in dem Sessel Platz genommen hatten und die Messelektroden an den Vorverstärker angeschlossen waren, wurde ihnen das in **Abbildung 3.2** dargestellte Merkblatt zu lesen gegeben und die Handhabung der Maus gezeigt. Der Ablauf der Untersuchung wurden noch einmal erklärt.

Die gemessenen Potentialkurven konnten im Regieraum online auf dem Bildschirm verfolgt werden. Deshalb war es möglich, vor Beginn der eigentlichen Untersuchung bei jedem Probanden einige Probemessungen durchzuführen, um zu überprüfen, ob die Registrierung der bioelektrischen Signale ordnungsgemäß funktionierte. Auf diese Weise konnten technische Probleme schon vor Beginn des Experimentes erkannt und behoben werden.

Die Untersuchung selbst dauerte etwa eine Stunde. Jeder der vier Blöcke dauerte etwa zehn Minuten. Dazwischen waren jeweils Pausen von fünf Minuten Dauer eingeschoben. Ein Pausenzeichen auf dem Bildschirm zeigte den Beginn einer Pause an. Während der Pausen konnte der Versuchsleiter den Probanden aufgrund seiner Online-Beobachtungen Rückmeldung bezüglich ihres Blinzselverhaltens oder sonstiger Bewegungsartefakte geben.

Es war dem Versuchsleiter auch möglich, den Probanden auf Verlangen die Anzahl ihrer Rechenfehler im vorangegangenen Block oder ihre Reaktionszeiten mitzuteilen, und sie damit zu motivieren, auch im folgenden Block aufmerksam und konzentriert die Aufgabe zu erledigen.

3.2 Begleitevaluation

Um eine standardisierte Rückmeldung der Probanden über die kognitive und konzentrierte Beanspruchung durch die Untersuchung zu erhalten, wurde eine einfache Begleitevaluation durchgeführt.

Zu diesem Zweck wurden den Probanden nach der Untersuchung zwei **visuelle Analogskalen (VAS)** mit den Endpunkten "**gar nicht schwierig**" (0 cm) und "**sehr schwierig**" (10 cm) vorgelegt, auf denen sie ihre Antworten markieren sollten.

Die Fragen, die den Probanden gestellt wurden, lauteten:

1. **"Wie schwierig fanden Sie die Aufgabe?"**
2. **"Wie schwierig fanden Sie es, bis zum Schluss konzentriert zu bleiben?"**

Visuelle Analogskalen sind bewährte Instrumente der Quantifizierung qualitativer Information. Sie sind bezüglich ihrer Testeigenschaften besonders gut untersucht im Bereich der Schmerztherapie (MYLES et al., 2000; GALLAGHER et al., 2002), werden aber inzwischen in vielen Bereichen der klinischen Medizin eingesetzt, z.B. zur Quantifizierung von Luftnot (LANSING et al., 2003) oder präoperativer Angst (KINDLER et al., 2000).

Uns interessierte die von uns abgefragte kognitive und konzentrierte Beanspruchung insbesondere im Hinblick auf die geplante Ausweitung der Untersuchung auf Kinder und Jugendliche und auf (kinder- und jugend-)psychiatrische Patienten. Unser Ziel war es, aus diesen Angaben Rückschlüsse darauf zu ziehen, ob eine Adaptation der Aufgabenstellung und/oder des Settings an die jeweils untersuchte Personengruppe sinnvoll erscheint, und in welche Richtung eine solche Anpassung ggf. gehen sollte.

3.3 Registrierung der bioelektrischen Signale

3.3.1 Ableitung von EEG und EOG

Die Messelektroden für die EEG-Ableitungen wurden entsprechend dem internationalen 10-20-System (JASPER, 1958, PASTELAK-PRICE 1983) an den in der Medianebene gelegenen Orten **Fz** (frontal zentral), **Cz** (central zentral⁴) und **Pz** (parietal zentral), sowie an den lateralen Orten **C3** (central links), **P3** (parietal links), **C4** (central rechts) und **P4** (parietal rechts) angebracht.

Dies geschah mit Hilfe der Textilhaube "electro cap" der Firma Electro-cap International, Inc./Eaton, USA (www.electro-cap.com). In die Haube sind an den entsprechenden Stellen Silber/Silberchlorid-Elektroden eingearbeitet, die durch eine Electrolyt-Gel-Brücke (ECI-Electro-Gel der gleichen Firma) mit der Kopfhaut in Kontakt gebracht wurden. Die Haube stand in zwei Erwachsenengrößen zur Verfügung, so dass eine individuell recht genaue Elektrodenplatzierung möglich war. Die Erdung erfolgte über eine in die Haube eingearbeitete Elektrode in Stirnmitte.

Als Referenz dienten die beiden Ohrläppchen, die über einen zwischengeschalteten Widerstand von 2 mal 5 kOhm verbunden waren. Die Ohrläppchen wurden vor dem Anlegen der Elektroden mit Aceton entfettet. Alle Elektrodenwiderstände lagen immer unter 5 kOhm.

Zur Kontrolle von Lidschlag- und Augenbewegungsartefakten wurde zusätzlich ein vertikales EOG am rechten Auge abgeleitet (vgl. LUTZENBERGER et al., 1985). Dazu wurden zwei mit ECI-Electro-Gel gefüllte Becherelektroden verwendet, die mit Kleberingen ca. 3 cm über bzw. unter der Pupille befestigt waren.

⁴ Um einer Verwechslung von „central“ und „zentral“ aus dem Wege zu gehen, benutze ich im folgenden Text nur das Adjektiv „central“ für die „C-Orte“ (C3, Cz und C4). Da die „z-Orte“ in der Median-Ebene liegen, verwende ich zu ihrer Benennung das Adjektiv „median“.

Abbildung 3.3 zeigt die Elektrodenpositionen nach dem internationalen 10-20-System. Die in der hier vorgelegten Untersuchung eingesetzten Ableitorte sind farbig markiert. Die gleichen Farben werden im Folgenden zur Darstellung der jeweiligen EKP-Kurven verwendet. Die Punkte Fpz und Oz sind keine Elektrodenpositionen sondern lediglich Markierungspunkte (SCHANDRY, 1989).

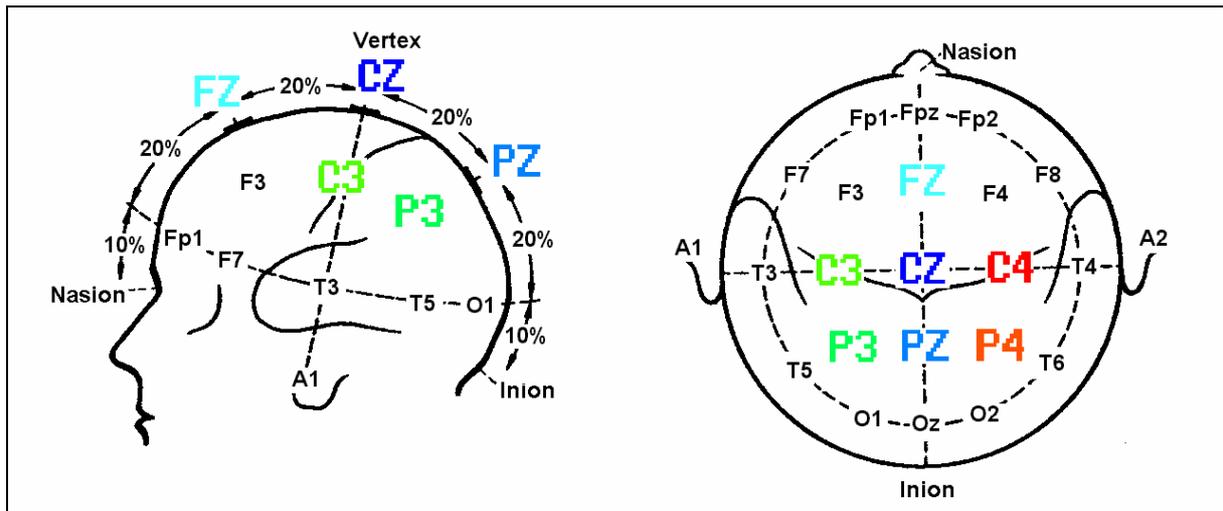


Abbildung 3.3: Elektrodenpositionen nach dem internationalen 10-20-System (leicht modifiziert entnommen aus SCHANDRY, 1989).

3.3.2 Verstärkung und analoge Filterung

Die Verstärkung der sieben EEG-Signale und des EOG-Signals erfolgte über ein zweistufiges Verstärkersystem, das von der Firma med-NATIC, München (www.med-natic.de) nach den Spezifikationen unserer Arbeitsgruppe angefertigt worden war (vgl. **Abbildung 3.4**).

Der Vorverstärker befand sich direkt in der EEG-Brause. Der Endverstärker war im Regieraum untergebracht. Gemeinsam verstärkten sie die Signale um den Faktor 10^5 . Der angelegte Bandpassfilter hatte eine untere Grenzfrequenz (High-Pass-Filter) von 0,02 Hz, die obere Grenzfrequenz (Low-Pass-Filter) betrug 30 Hz und die Flankensteilheit 12 dB/Oktave.

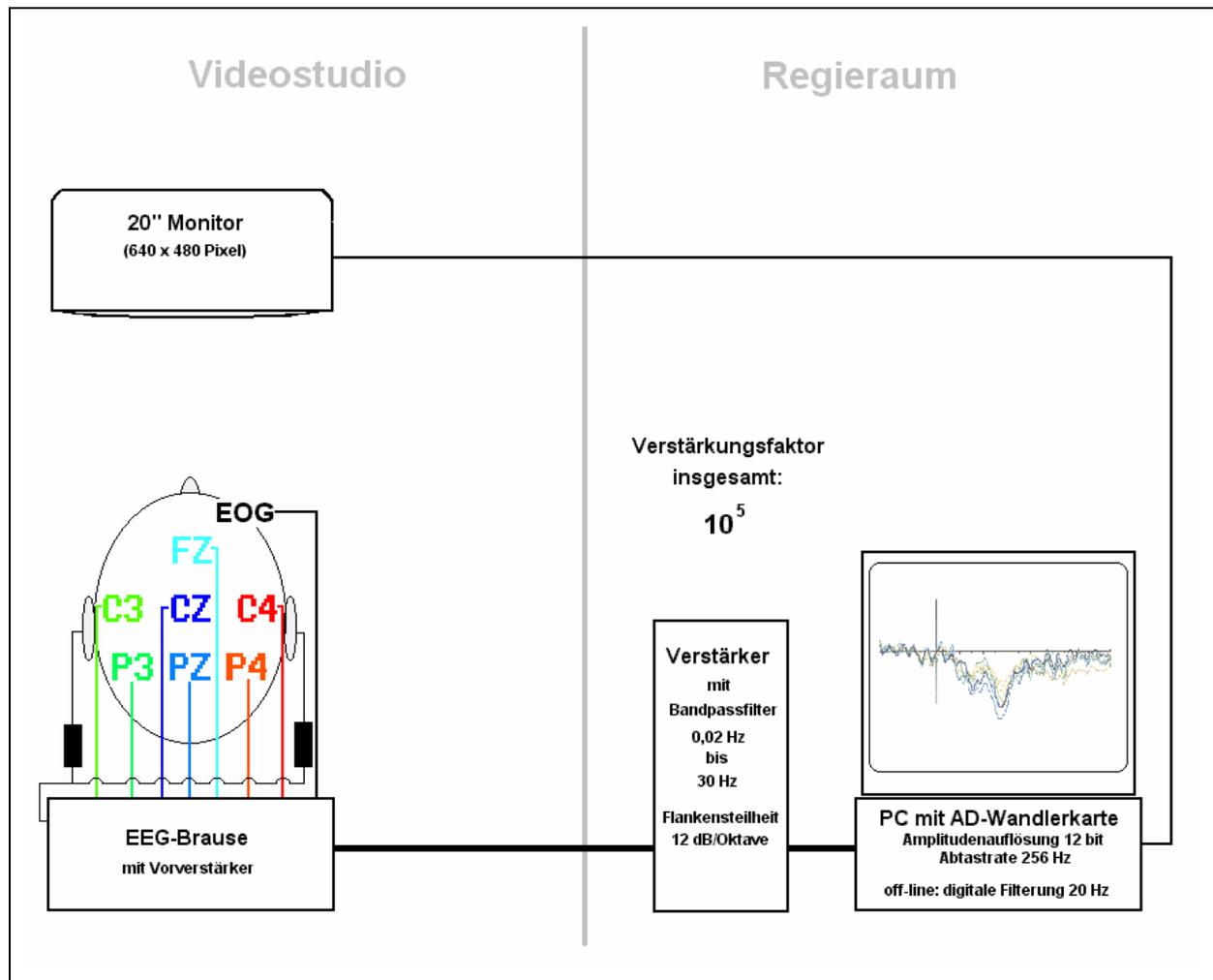


Abbildung 3.4: Zusammenfassende Darstellung des technischen Versuchsaufbaus.

3.3.3 Digitalisierung und Speicherung

Die auf acht Kanälen eingehenden verstärkten und analog gefilterten Signale wurden mit Hilfe einer PC-gestützten AD-Wandlerkarte (Sorcus Z80) digitalisiert. Die Amplitudenauflösung betrug 12 bit und die Abtastrate 256 Hz, so dass sich eine dwell time von ca. 4 ms/Datenpunkt ergab. Pro gezeigtem Stimulus wurden die so gewonnenen Daten über 2000 ms aufgezeichnet, davon 500 ms vor dem Erscheinen des Stimulus auf dem Bildschirm (**Prä-Triggerzeit**) und 1500 ms nach dessen Erscheinen (**Post-Triggerzeit**). So ergab sich dann pro visuellem Einzelstimulus und Ableitort eine aus 512 Punkten bestehende Potentialkurve, die als Einzelsignal (**single sweep**) auf Festplatte gespeichert wurde.

3.4 Ermittlung der Ereigniskorrelierten Potentiale

3.4.1 Digitale Filterung und Artefaktbereinigung

Um die Potentialkurven etwas zu glätten und so eine bessere Auswertbarkeit zu erreichen, wurden diese erneut gefiltert, diesmal jedoch digital. Die obere Grenzfrequenz betrug dabei 20 Hz. Dies geschah, wie auch alle folgenden Arbeitsschritte offline.

Um den Ausschluss artefaktkontaminierter Einzelsignale zu ermöglichen, wurden jeweils die EEG-Ableitungen der sieben Ableitorte und das zugehörige EOG gleichzeitig auf einem Monitor dargestellt. Durch visuelle Kontrolle konnte so der Untersucher störende Artefakte erkennen, die entsprechenden Einzelsignale kennzeichnen und von den weiteren Berechnungen ausschließen (vgl. LUTZENBERGER et al., 1985).

Ausschlusskriterium waren EOG-Artefakte mit einer Amplitude von mehr als 50 μV , sowie alle in den Potentialkurven sichtbaren Muskel- oder Bewegungsartefakte. Nur solche Probanden wurden in die weiteren Berechnungen aufgenommen, die mindestens 40 artefaktfreie Einzelableitungen (N) pro Stimuluskategorie aufwiesen ($N \geq 40$).

3.4.2 Berechnung der Ereigniskorrelierten Potentiale

Im nächsten Schritt wurden die Einzelsignale jedes Probanden nach Ableitort und Stimuluskategorie getrennt gemittelt. Das Ergebnis wurde als **Average** abgespeichert und stellt die eigentlichen EKP-Kurven dieses Probanden dar. Durch die Mittelung wird das zufällige EEG-Rauschen reduziert (um den Faktor \sqrt{N}) und die nicht-zufälligen, weil "Ereignis-korrelierten" Potentiale summieren sich und treten deutlich hervor (COOPER et al., 1984).

Die 500 msec vor dem Erscheinen des Stimulus auf dem Bildschirm (**Prä-Triggerzeit**) dienen zur Kalibrierung der Nulllinie, der sog. **Baseline**. Die Potentialauslenkungen in den folgenden 1500 msec (**Post-Triggerzeit**) entsprechen den eigentlichen Ereigniskorrelierten Potentialen.

Da es in unserer Untersuchung nicht um die Eigenheiten einzelner Probanden ging, sondern allgemein um die Reaktion des Gehirns gesunder Erwachsener auf die Perzeption bestimmter visueller Reize, errechneten wir aus den probandenbezogenen Averages noch die sog. **Grandaverages**.

Dabei handelt es sich um Mittelungen über das gesamte Probandenkollektiv, jedoch getrennt nach Ableitort und Stimuluskategorien die Berechnung der Gruppenpotentiale (**Grandaverages**) gehen die EKP-Kurven (**Averages**) aller Probanden mit dem gleichen Gewicht ein. Dadurch ergibt sich automatisch eine Verschiedengewichtung der Einzelsignale der einzelnen Probanden, denn deren Averages bestehen wegen individuell verschieden starker Artefaktkontaminierung aus verschieden vielen Einzelsignalen.

3.5 Graphischer Kurvenvergleich nach Blair und Karniski

Beim Kurvenvergleich nach Blair und Karniski handelt es sich um ein besonderes statistisches Testverfahren zum Vergleich von Potentialkurven aus psychophysiologischen Untersuchungen (BLAIR UND KARNISKI, 1993).

Als Permutationstest erlaubt es den direkten Punkt-zu-Punkt-Vergleich kompletter Potentialkurven und ist dabei im Gegensatz zu anderen Verfahren (z.B. GUTHRIE und BUCHWALD, 1991) in der Lage, signifikante Unterschiede auch für sehr kurze Zeitintervalle bis hin zum einzelnen Kurvenpunkt zu ermitteln und das Signifikanzniveau exakt und im Rahmen der durch die Anzahl der Probanden vorgegebenen Grenzen beliebig festzulegen. Es kommt nicht zu einer Alpha-Inflation durch multiples Testen („inflated experimentwise error rate“, BLAIR UND KARNISKI, 1993), sondern der gewünschte Alpha-Wert kann exakt eingehalten werden („Alpha-Adjustierung“, HEINZ, 1998).

Der Test nach Blair und Karniski stellt keine besonderen Anforderungen an die Datenverteilung (z.B. Normalverteilung). Bis auf die Annahme, dass die gemessenen Potentialkurven der einzelnen Probanden jeweils unabhängig von denen der anderen Probanden sind, sind für diesen Test keine Voraussetzungen bezüglich der

Korrelationsstrukturen der Daten zu erfüllen. Der Test ist anwendbar für eine beliebige Anzahl von Probanden und verglichenen Wertepaaren (d.h. Kurvenpunkten).

Ziel des Verfahrens ist es, zu ermitteln, für welche Kurvenabschnitte die Nullhypothese mit einer definierten Irrtumswahrscheinlichkeit (hier: $\alpha \leq 0,05$) widerlegt werden kann. Die Nullhypothese besagt, dass sich die zu vergleichenden Kurvengruppen nur zufällig unterscheiden.

Als Maßzahlen für die Potentialunterschiede zu den einzelnen Zeitpunkten wird nun zunächst für jeden der 512 Kurvenpunkte ein t-Wert berechnet. Dies geschieht auf übliche Weise mit Hilfe des t-Tests für paarige Stichproben. Diese aus den Originaldaten stammenden t-Werte werden **t-org** genannt.

Wenn man nun mit der Nullhypothese davon ausgeht, dass die unter Bedingung A gemessenen Potentialkurven jedes einzelnen Probanden ebenso gut unter Bedingung B hätten gemessen werden können, so folgt daraus, dass sich auch die t-Werte, die nach einem solchen Vertauschen der Potentialkurven ermittelt werden, nur zufällig von den t-org-Werten der Originaldaten unterscheiden. Dieser Schluss ist der theoretische Kern des Testverfahrens nach Blair und Karniski

Beim weiteren Vorgehen werden nun systematisch die Potentialkurven der Probanden zwischen den zu vergleichenden Bedingungen vertauscht und jedes Mal werden sämtliche 512 t-Werte erneut bestimmt. Von weiterer Bedeutung ist jedoch nur der jeweils größte t-Wert einer Permutation, der **t-max** genannt wird. Insgesamt ergeben sich bei 30 Probanden auf diese Weise 2^{30} mögliche Potentialkurven-Permutationen und damit t-max-Werte. Um die Datenmenge beherrschbar zu halten, berechnet man daraus nur eine Auswahl von 10000 zufällig ermittelten Permutationen.

Die Häufigkeitsverteilung der so gewonnenen 10000 t-max-Werte dient als Normierung zur Berechnung eines Grenzwertes, mit dem die t-org-Werte dann verglichen werden können. Für alle t-org-Werte, die diesen Grenzwert überschreiten, kann nun mit einer exakten Irrtumswahrscheinlichkeit α davon ausgegangen werden, dass sich die Potentialkurven in diesem Zeitpunkt mehr als zufällig unterscheiden. Die Software zur praktischen Durchführung dieses Tests entwickelte Herr Dipl.-Phys. M. Rubly.

Neben den oben aufgeführten Vorteilen hat das Testverfahren nach Blair und Karniski jedoch auch einen nicht unerheblichen Nachteil, den es mit den anderen Verfahren zum direkten Punkt-zu-Punkt-Vergleich von Potentialkurvengruppen teilt:

Informationen zur Ausprägung der Latenzvariation innerhalb einer Probandengruppe stellen sich nur indirekt über eine Änderung der Amplitude des Grandaverage dar. Dabei geht eine stärkere Latenzvariation einer EKP-Komponente mit einer Abflachung und Verbreiterung dieser Komponente im Gruppenpotential (Grandaverage) einher.

Aus diesem Grunde ist es sinnvoll, zusätzlich Untersuchungen an ausgewählten Kurvenparametern durchzuführen, die auch einen direkten Rückschluss auf Latenzvariationen zulassen (COOPER et al., 1984; RUCHKIN, 1988; HEINZ, 1998).

3.6 Numerischer Kurvenvergleich anhand von EKP-Parametern

3.6.1 Kurvenkomponenten und Zeitintervalle

Die Parametrisierung⁵ komplexer Kurvenverläufe hat das Ziel, bestimmte charakteristische Kurvenkomponenten mit Hilfe weniger Kennzahlen beschreibbar und vergleichbar zu machen (HEINZ, 1998).

Anhand der uns vorliegenden Grandaverage-Kurven entschieden wir uns für die in **Tabelle 3.5** dargestellten Kurvenkomponenten und Intervallgrenzen. Die Benennung der Komponenten erfolgte nach der Polarität der Auslenkung der Potentialkurve und der ungefähren Latenz des Maximums innerhalb des angegebenen Zeitintervalls. Der

⁵ Die Begriffe „Parametrisierung“, „parametrischer Vergleich“ etc. werden in dieser Arbeit ausschließlich mit Bezug auf die aus den EKP-Kurven extrahierten Parameter gebraucht, und nicht, wie in der Biostatistik üblich, als Verweis auf eine den Daten zugrunde liegende (oder angestrebte) Normalverteilung (vgl. GLANTZ, 1998).

Kurvenverlauf im letzten Intervall ist meist so flach, dass ein Maximum prima vista nicht sinnvoll zu benennen ist. Wir haben uns deshalb für die Bezeichnung **Späte Positive Komponente** entschieden.

Eine Benennung nach „klassischen“ Komponenten, wie z.B. der P-300-Komponente wurde bewusst vermieden, da eine solche Begriffszuordnung bereits eine Interpretation der Ergebnisse bedeuten würde.

EKP-Komponente:	Zeitintervall:
P-220-Komponente	150 bis 270 ms
P-350-Komponente	270 bis 450 ms
P-510-Komponente	450 bis 750 ms
Späte Positive Komponente	750 bis 1500 ms

Tabelle 3.5: Untersuchte EKP-Komponenten mit zugehörigem Zeitintervall.

3.6.2 Berechnung der Parameter

Für jede dieser EKP-Komponenten berechneten wir die folgenden Parameter. Die Grundlage dafür bildeten die individuellen EKP-Kurven der einzelnen Probanden (Averages):

- **Latenz und Amplitude des Maximums**
- **Potentialfläche (AUC = Area Under the Curve)**
- **Latenz und Amplitude des Flächenschwerpunktes.**

Die einzelnen Parameter wurden dabei wie folgt berechnet:

Maxima:

Als Maximum wurde derjenige Kurvenpunkt innerhalb des Zeitfensters angenommen, der die größte Amplitude aufwies (vgl. **Abbildung 3.5**). Durch die digitale Lowpass-Filterung mit 20 Hz (vgl. Kapitel 3.5.1) konnte eine grobe Verfälschung insbesondere der Latenzwerte der Maxima durch zu starke Rauschkontamination weitgehend ausgeschlossen werden.

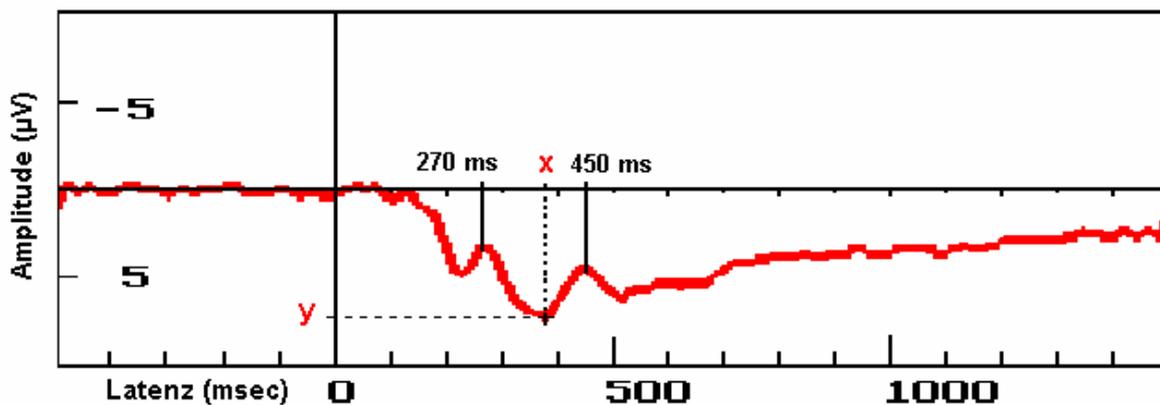


Abbildung 3.5: Bestimmung des Maximums einer EKP-Komponente (am Beispiel der P-360)

Flächen (AUC):

Als Flächengrenzen bei der Flächenberechnung der EKP-Komponenten galten die Intervallgrenzen, die Basislinie, die als Mittelung der Kurve der Prätrigger-Zeit berechnet wurde, sowie die EKP-Kurve selbst (vgl. **Abbildung 3.6**).

"Negative Flächen", die entstehen können, wenn die EKP-Kurve die Basislinie innerhalb des betrachteten Zeitintervalls unterschreitet, wurden nicht in die Berechnung des Flächenwertes mit einbezogen, d.h. sie wurden "Null" gesetzt. Dieses zunächst etwas fragwürdig erscheinende Verfahren lässt sich folgendermaßen begründen: Die meisten Probanden bilden in den P-Komponenten keine oder nur sehr kleine N-Flächen aus. Außerdem besteht innerhalb der festen Zeitgrenzen in der Regel eine gute inverse Korrelation: Wer N-Flächen ausbildet, kann nicht gleichzeitig eine P-Fläche ausbilden.

Deshalb kann davon ausgegangen werden, dass sich diesbezügliche Unterschiede zwischen den einzelnen Probanden bzw. Probandengruppen auch durch die alleinige Betrachtung der positiven Flächenanteile suffizient erfassen lassen (HEINZ, 1998).

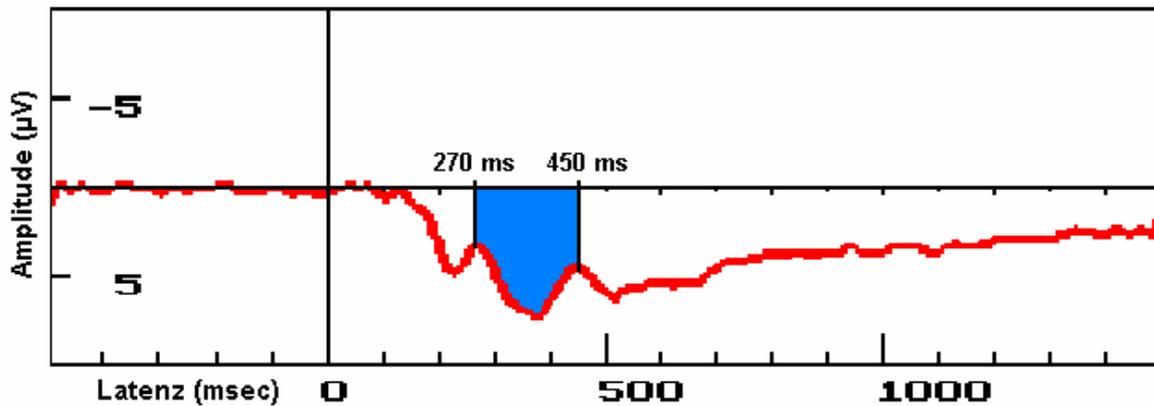


Abbildung 3.6: Bestimmung des Flächeninhalts einer EKP-Komponente (am Beispiel der P-360)

Flächenschwerpunkte:

Aus den so gewonnenen Potentialflächen wurden die Schwerpunkte anhand folgender Gleichungen bestimmt (HEINZ, 1998):

$$x_s = (\sum x y dx) * (\sum y dx)^{-1}$$

$$y_s = (\sum y^2 dx) * (2 \sum y dx)^{-1}$$

Dabei ist x_s die Latenz des Flächenschwerpunktes, y_s die Amplitude des Flächenschwerpunktes und x bzw. y die Koordinaten der Flächenpunkte (vgl. **Abbildung 3.7**). Auch hier wurden wieder nur die positiven Flächenanteile der EKP-Komponenten berücksichtigt.

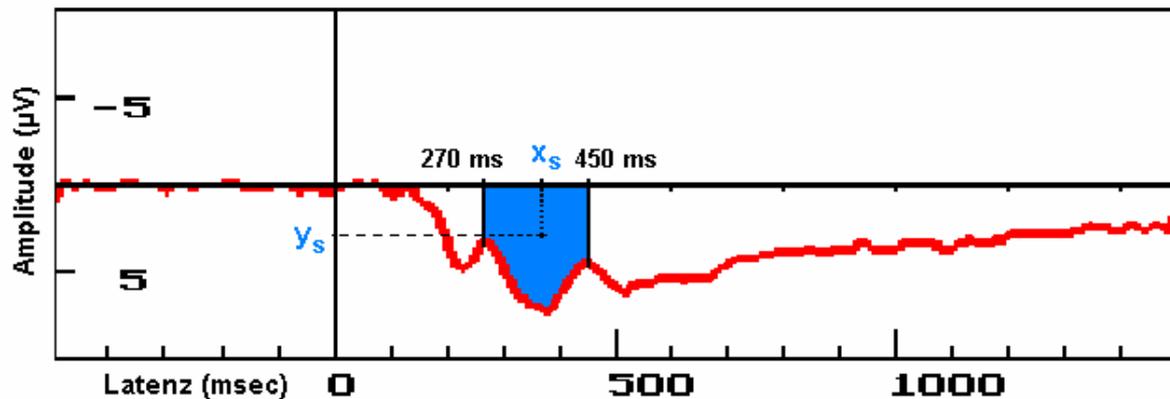


Abbildung 3.7: Bestimmung des Flächenschwerpunkts einer EKP-Komponente

Die Berechnung der Parameter erfolgte automatisiert mit Hilfe eines von Herrn Dipl.-Phys. M. Rubly erstellten Programms.

3.6.3 Statistischer Vergleich der Parameter

Verglichen wurden jeweils die EKP-Parameter aus den unter Bedingung A (Piktogramme) gemessenen Kurven mit denen, die unter Bedingung B (Wörter) gewonnen wurden. Wie es bei einer Probandenzahl von 30 schon fast zu erwarten war, zeigte sich in Voruntersuchungen mit Hilfe des **Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstests** (WERNER, 1992), dass nicht für alle Parameter mit ausreichender Wahrscheinlichkeit eine Normalverteilung angenommen werden konnte.

Aus diesem Grunde wurde zum statistischen Vergleich der Parameter der **Wilcoxon-Test für paarweise verbundene Stichproben** verwendet, der mit Rangordnungen der Werte rechnet und deshalb eine Normalverteilung nicht voraussetzt (BLAND, 1996; BÜHL, 1996). Die statistischen Berechnungen wurden mit Hilfe von SPSS 6.0 durchgeführt.

4 Ergebnisse

4.1 EKP-Kurven einzelner Probanden

Zur Berechnung der Gruppen-EKPs (**Grand-Averages**) werden die Ereigniskorrelierten Potentiale der einzelnen Probanden (**Averages**) für jeden Ableitort und jede Stimuluskategorie getrennt gemittelt. Die gemittelten Kurven können dann bezüglich ihrer auslösenden Stimuluskategorie verglichen werden. Auf diese Weise kann ein möglicherweise vorhandener systematischer Einfluss der Stimuluskategorie auf die Ereigniskorrelierten Potentiale ermittelt werden.

Dieser Vergleich ist das Kernstück des Ergebnisteiles dieser Arbeit. Dazu werden die Gruppenkurven der Piktogramme und der Wörter zunächst getrennt beschrieben und analysiert (Kapitel 4.2 und 4.3). Anschließend werden sie mit Hilfe des Permutationstests von BLAIR und KARNISKI Messpunkt für Messpunkt **graphisch** verglichen (Kapitel 4.4). In Kapitel 4.5 ist dann der **numerische** Kurvenvergleich anhand ausgewählter Parameter dargestellt.

Verglichen mit den Unterschieden zwischen Piktogrammen und Wörtern ist die interindividuelle Variabilität der EKP-Kurven zwischen den einzelnen Probanden recht groß. Dies ist von erheblicher Bedeutung für die klinische Anwendbarkeit der Ereigniskorrelierten Potentiale. Um ein konkretes Bild der interindividuellen Streubreite zu vermitteln, sollen deshalb zunächst - entsprechend den Empfehlungen der SOCIETY FOR PSYCHOPHYSIOLOGICAL RESEARCH (PICTON et al., 2000) - exemplarisch einige individuelle EKP-Kurven aufgeführt werden (**Abbildungen 4.1 bis 4.4**).

Die Darstellung von Ereigniskorrelierten Potentialen erfolgt in Koordinatensystemen mit Zeitachse (Latenz in Millisekunden) und Spannungsachse (Amplitude in Mikrovolt). Der Zeitpunkt des Erscheinens des Stimulus (Onset) entspricht dem Nullpunkt auf der Zeitachse. Eine Besonderheit bei der Darstellung von EKP-Kurven ist die „inverse“ Auftragung der Polarität der Kurvenauslenkung auf der Spannungsachse: Negative Potentialdifferenzen zwischen Ableit- und Referenzelektrode werden hier nach oben und positive nach unten aufgetragen (LUTZENBERGER et al., 1985). Um die Kurven der verschiedenen Ableitorte

unterscheiden zu können, ist jedem Ableitort eine eigene Farbe zugeordnet. In den zugehörigen Kopfdiagrammen, die in Anlehnung an die Darstellung bei SCHANDRY (1989) die Elektrodenpositionen nach dem internationalen 10-20-System wiedergeben, sind die entsprechenden Ableitorte ebenfalls in der jeweiligen Farbe kodiert. So ist die topographische Zuordnung der Kurven direkt möglich.

In den **folgenden Abbildungen** sind die frontocentralen⁶ und die parietalen Ableitungen jeweils zu einem System zusammengefasst. Die Kurven sind nach Stimuluskategorien getrennt dargestellt.

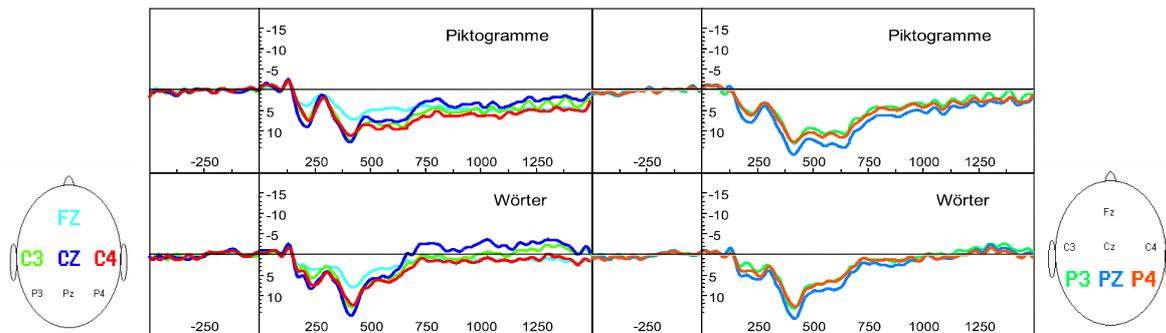


Abbildung 4.1: Individuelle EKP-Kurven von Proband Nr. 2, weiblich, 25 Jahre alt (Arbeits-Nr. F5501)

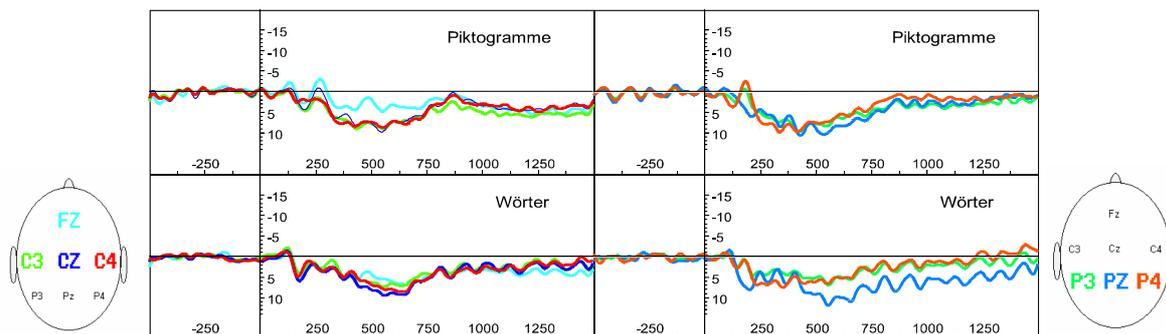


Abbildung 4.2: Individuelle EKP-Kurven von Proband Nr. 3, männlich, 21 Jahre alt (Arbeits-Nr. M5502)

⁶ Das Adjektiv „central“ bezieht sich auf die „C-Orte“ (C3, Cz, C4). Für die in der Medianebene liegenden „z-Orte“ (Fz, Cz, Pz) benutze ich dagegen das Adjektiv „median“ (vgl. Kapitel 3.3.1).

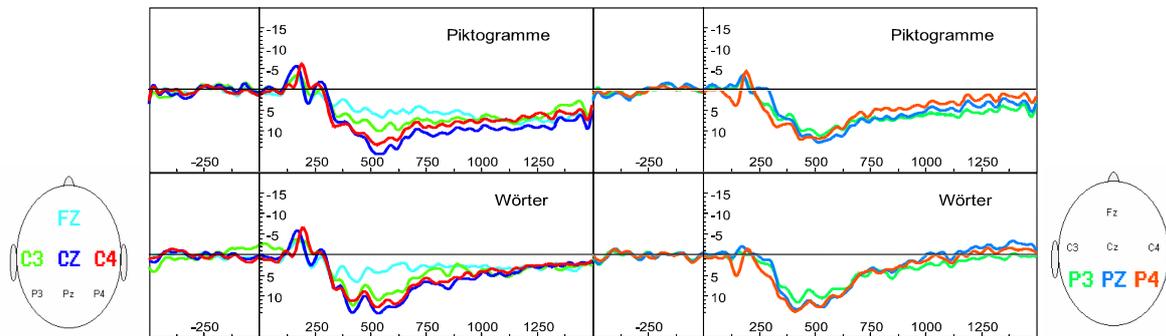


Abbildung 4.3: Individuelle EKP-Kurven von Proband Nr. 4, männlich, 26 Jahre alt (Arbeits-Nr. M5503)

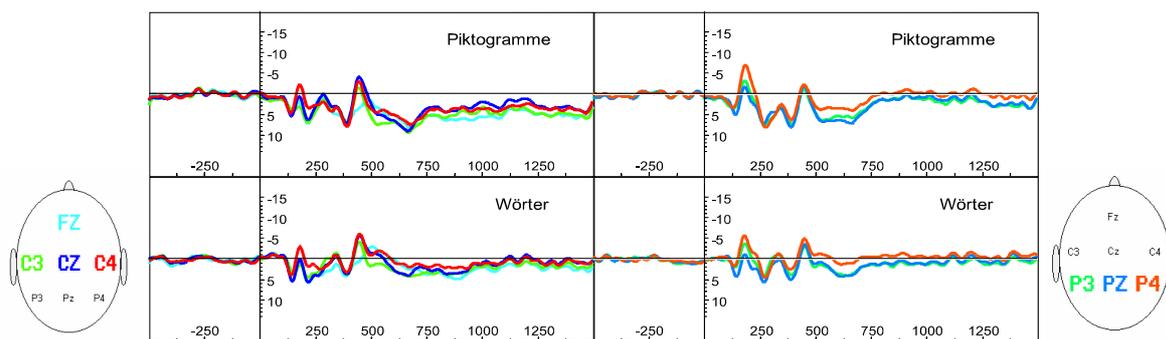


Abbildung 4.4: Individuelle EKP-Kurven von Proband Nr. 8, weiblich, 25 Jahre alt (Arbeits-Nr. F5507)

In den oben wiedergegebenen EKP-Kurven der einzelnen Probanden kann man meist recht deutliche Unterschiede zwischen den Kurven der **verschiedenen Ableitorte** feststellen.

Ebenso finden sich für die einzelnen Ableitorte (zumindest abschnittsweise) **unterschiedliche Kurven für Piktogramme und Wörter**.

Vergleicht man jedoch die EKP-Kurven der verschiedenen Probanden untereinander, so fällt auf, dass die **interindividuellen Unterschiede** meist deutlich größer sind als die jeweiligen intraindividuellen Unterschiede bezüglich Ableitort oder Stimuluskategorie.

Vom prima-vista erfassbaren Ausmaß der Unterschiede direkt auf ihre Bedeutung zu schließen, wäre dennoch falsch. Die interindividuellen Unterschiede sind zwar größer, aber **zufällig**⁷, wohingegen die Stimulus-abhängigen Unterschiede zwar kleiner sind, dafür aber möglicherweise **systematisch**.

In den folgenden Kapiteln werden die **mittleren Unterschiede** zwischen Piktogrammen und Wörtern anhand der Gruppenpotentiale dargestellt und es wird untersucht, ob es sich bei diesen mittleren Unterschieden auch um **systematische**, also „überzufällige“ **Unterschiede** handelt. Zum richtigen Verständnis der Ergebnisse sind diesbezüglich die folgenden beiden Aspekte von großer Bedeutung:

1. Da es sich um **mittlere Unterschiede** handelt, kann nicht angenommen werden, dass sie für jeden einzelnen Probanden in gleicher Weise gelten, selbst wenn sie sich als **systematische Unterschiede** erweisen sollten (GLANTZ, 1998).
2. Auch die Feststellung, dass es sich bei den gefundenen **mittleren Unterschieden** tatsächlich um **systematische Unterschiede** handelt, kann nur mit einer definierten Irrtumswahrscheinlichkeit getroffen werden. Diese beträgt vereinbarungsgemäß bis zu 5 % für „**signifikante**“ **Unterschiede** ($p \leq 0,05$) und bis zu 1 % für „**hoch-signifikante**“ **Unterschiede** ($p \leq 0,01$) (WERNER, 1992; GLANTZ, 1998).

⁷ „zufällig“ bedeutet hier v.a.: „unserem Zugriff (noch) entzogen“; vgl. auch Kapitel 2.3.4, Kapitel 5.4, sowie COOPER, 1984 und HEINZ, 1998

4.2 Gruppenpotentiale bei visueller Perzeption von Piktogrammen

4.2.1 Kurvenverläufe an den einzelnen Ableitorten

Bei der Betrachtung der in **Abbildung 4.5** dargestellten frontocentralen Piktogramme-Grandaverages fällt zunächst ein relativ ähnlicher Kurvenverlauf aller vier Ableitungen auf: Sie verlaufen alle bis ca. 130 msec etwa im Niveau der Nulllinie (mit einer minimalen positiven Auslenkung bei etwa 100 msec) und zeigen dann eine steile Positivierung mit einem ersten Maximum bei etwa 220 msec (**P-220-Komponente**). Fz, C3 und C4 liegen dabei fast übereinander bei etwa $5 \mu\text{V}$, Cz zeigt den größten Ausschlag bis etwa $7 \mu\text{V}$. Anschließend kehren alle Kurven zu einem gemeinsamen Kreuzungspunkt zurück. Dieser liegt etwa bei 270 msec und $3 \mu\text{V}$ und bildet ein relatives Zwischenminimum, bzw. eine relative Negativierung (**N-270-Komponente**)⁸.

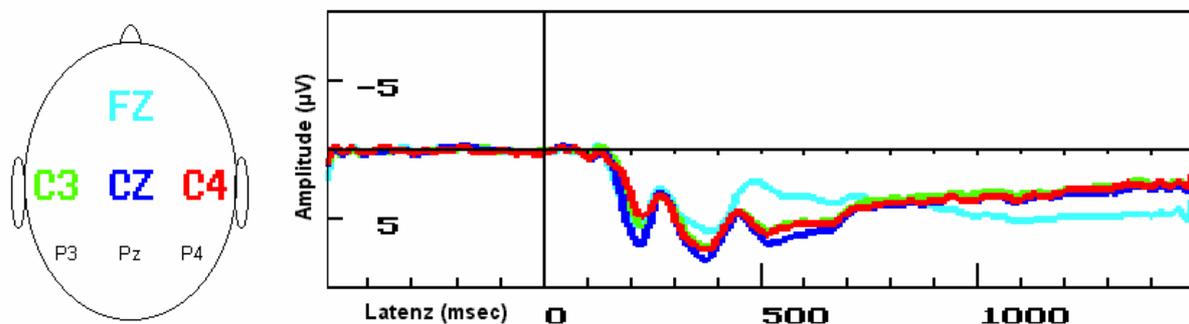


Abbildung 4.5: Frontocentrale Ableitungen Piktogramme

Im weiteren Verlauf löst sich die Fz-Kurve von den centralen Ableitungen. Zwar bewegen sich alle vier Kurven wieder von der Nulllinie weg, jedoch verläuft Fz etwas flacher und erreicht ein neues Maximum erst wieder bei etwa 380 msec (ca. $6 \mu\text{V}$), während C3, Cz und

⁸ Die Benennung erfolgt so, weil die relative Richtung der Auslenkung der Kurve meist von größerer Bedeutung ist, als die absoluten Werte. Bereits die Baseline ist ja schon ein „relativer Wert“, in den durchaus langanhaltende Potentialschwankungen eingehen können, ohne dass wir das merken (SCHLAGHECKEN, 1998)

C4 bereits nach etwa 360 msec ein neues Maximum von 7 bis 8 μV erreichen (**P-360-Komponente**). Auch hier ist wieder Cz die positivste Kurve.

Die Potentialkurven streben anschließend wieder ein Zwischenminimum an, welches die centralen Ableitungen etwa bei 450 msec und 5 μV erreichen, Fz bei 480 msec und 2,5 μV (**N-450-Komponente**). In der Folge durchlaufen allen Kurven eine nach oben offene wannenförmige Figur, die vom jeweiligen Zwischenminimum bis etwa 720 msec reicht. In den centralen Ableitungen bildet die frühe „Ecke der Wanne“ das Maximum bei etwa 510 msec (C3 und C4 ca. 6 μV , Cz 7 μV), in Fz die späte „Ecke“ bei etwa 670 msec (**P-510-Komponente**).

Fz strebt nach der „Wanne“ eine neue flachgestreckte Positivierung an, die ihren größten Wert bei etwa 1100 msec und 5 μV erreicht. Die centralen EKPs kreuzen die Fz-Kurve etwa bei 800 msec und verlaufen bis zum Ende der Aufzeichnung zunehmend flacher werdend im positiven Bereich. Bei 1500 msec liegen sie etwa bei 2,5 μV (**Späte Positive Komponente**).

In **Abbildung 4.6** sind die parietalen Piktogramme-EKPs wiedergegeben.

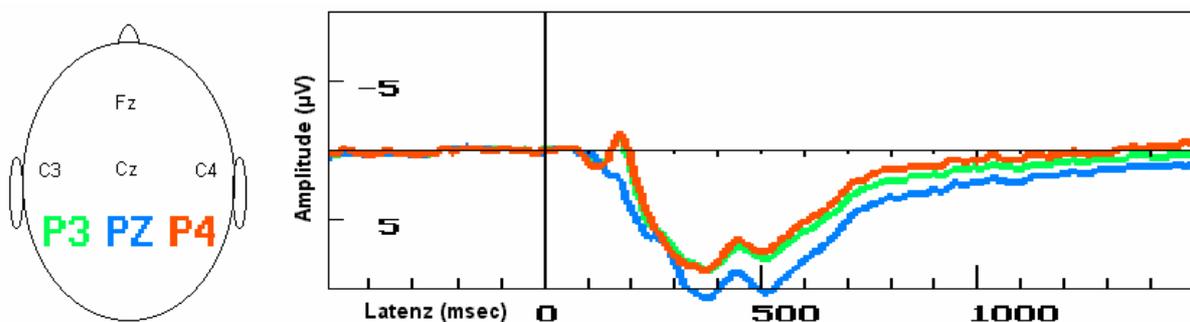


Abbildung 4.6: Parietale Ableitungen Piktogramme

Bereits auf den ersten Blick erkennt man einen deutlich anderen Kurvenverlauf als in den frontocentralen Ableitungen. Eine „eigenständige“ positive Komponente bei etwa 220 msec ist hier nicht zu erkennen. Statt dessen zeigen die **lateralen Kurven** zunächst eine sehr frühe Positivierung, die etwa von 80 msec bis 150 msec dauert und knapp 1,5 μV erreicht (**P-120-Komponente**), und anschließend – bis etwa 200 msec – eine negative Komponente, die bis etwa $-1,5 \mu\text{V}$ ausschwingt (**N-180-Komponente**). Sofort im Anschluss daran streben P3 und

P4 eine ausgeprägte Positivierung an, die bei 370 msec und 9 μ V ihr Maximum erreicht (**P-360-Komponente**)⁹, ohne zuvor eine rN-270-Komponente auszuprägen, wie es in den frontocentralen Ableitungen der Fall ist. Von diesem Maximum aus kehren P3 und P4 zu einem Zwischenminimum bei etwa 450 msec und 7 μ V zurück (**N-450-Komponente**).

Pz bildet weder eine P-120-Komponente noch eine N-180-Komponente aus, sondern zeigt ab 100 msec eine stetige und recht steile Positivierung, die - wie die der lateralen Ableitungen auch - bei etwa 370 msec ihr Maximum erreicht (**P-360-Komponente**). Allerdings ist die Amplitude hier, wie auch schon in den centralen Kurven in Abbildung 4.1, median größer als beidseits lateral. Sie liegt hier bei etwa 11 μ V. In die steile Abwärtsbewegung hin zu diesem Maximum sind zwei kurzzeitige Abflachungen integriert: eine bei etwa 180 msec (zu diesem Zeitpunkt zeigen P3 und P4 gerade die größte negative Auslenkung ihrer N-180-Komponente), eine andere bei etwa 250 msec. Letztere ist andeutungsweise auch in P3 sichtbar.

Die oben beschriebenen frontocentralen Kurven schwingen zu diesem Zeitpunkt nach ihrem ersten Maximum bei etwa 220 msec (**P-220-Komponente**) gerade zu ihrem „frühen Zwischenminimum“ bei 270 msec zurück. Auch Pz befindet sich bei 450 msec auf einem Zwischenminimum (**N-450-Komponente**), jedoch mit ca. 9 μ V auf deutlich höherem Niveau als P3 und P4.

Von dort aus streben **alle parietalen EKPs** ein neues Maximum an, das sie etwa gleichzeitig bei 510 msec (**P-510-Komponente**) erreichen. Die lateralen Ableitungen zeigen dabei ein Auslenkung von 7,5 bis 8 μ V, die zentrale etwa 10 μ V. Wie in den frontocentralen Ableitungen auch, kann man dieses Maximum als „vordere Ecke“ einer „Wanne“ sehen, die etwa bis 720 msec reicht und deren „hintere Ecke“ hier bei 670 msec nur angedeutet zu erkennen ist. Der aufsteigende „Boden“ und die „hintere Seitenwand“ dieser „Wanne“ bilden gleichzeitig die erste, steilere Phase auf dem Rückweg der Kurven zur Nulllinie.

⁹ Der Übersichtlichkeit halber wird möglichst auf die bereits eingeführte „Komponenten-Terminologie“ zurückgegriffen, selbst wenn die maximale Ausprägung der entsprechenden Kurvenkomponenten sich hier um einige Millisekunden früher oder später zeigt (z.B. wird die Bezeichnung „P-360-Komponente“ beibehalten, auch wenn das Maximum hier erst bei 370 Millisekunden erreicht wird). (vgl. auch PICTON et al., 2000)

Die zweite – von 750 msec bis zum Ende – verläuft sehr flach (**Späte Positive Komponente**). P4 erreicht und überschreitet die Nulllinie bei etwa 1300 msec, P3 erreicht sie gegen Ende der Aufzeichnungszeit knapp, während Pz im gesamten Verlauf im positiven Bereich bleibt und bei 1500 msec etwa bei 1 μV liegt.

4.2.2 Vergleich der beiden Hemisphären

Um eine Aussage über die Lateralisierung der Reizantworten treffen zu können, wurden die Ereigniskorrelierten Potentiale der beiden Hemisphären sowohl im centralen (C3 – C4) als auch im parietalen Bereich (P3 – P4) direkt miteinander verglichen. Dabei kam das Testverfahren nach BLAIR und KARNISKI (1993) zum Einsatz.

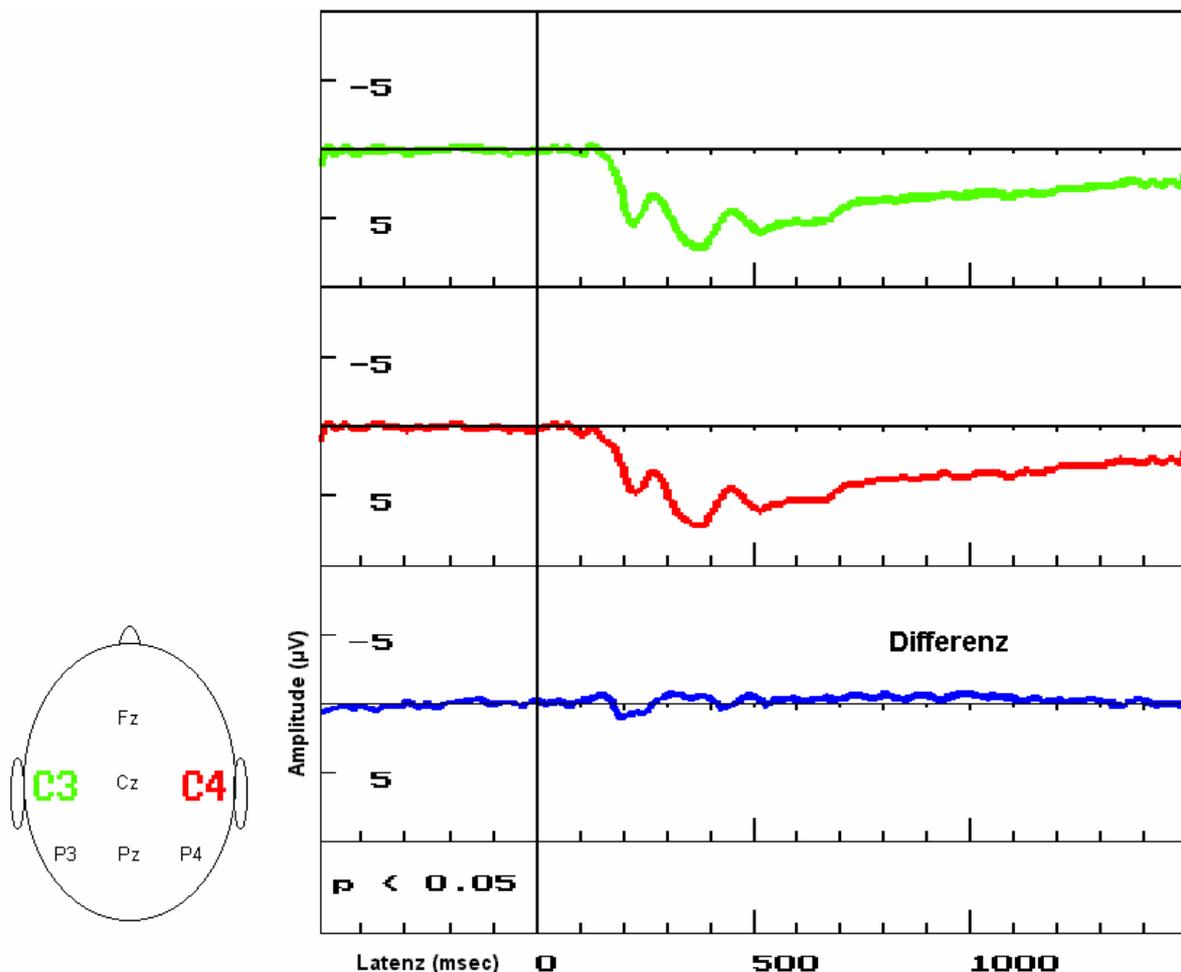


Abbildung 4.7: Lateralisierung Piktogramme: Centrale Ableitungen

Abbildung 4.7 zeigt den Vergleich C3 gegen C4. Die Differenzkurve zeigt nach einer minimalen Negativierung bei etwa 150 Millisekunden eine Positivierung von etwa 1 Mikrovolt, die bis etwa 270 Millisekunden andauert (**P-220-Komponente**) und in diesem Bereich eine **Lateralisierungstendenz nach links** andeutet. Anschließend verläuft die Differenzkurve flach im leicht negativen Bereich (**P-360-, P-510- und Späte Positive Komponente**), was als **Lateralisierungstendenz nach rechts** verstanden werden kann.

Wie man am leeren „Signifikanz-Diagramm“ unter dem Koordinatensystem der Differenzkurve ablesen kann erreichen die oben beschriebenen Auslenkungen der Differenzkurve jedoch kein signifikantes Niveau. Eine **signifikante Lateralisierung** im Bereich der centralen Elektrodenpositionen in den Piktogramme-Kurven lässt sich also **nicht nachweisen**.

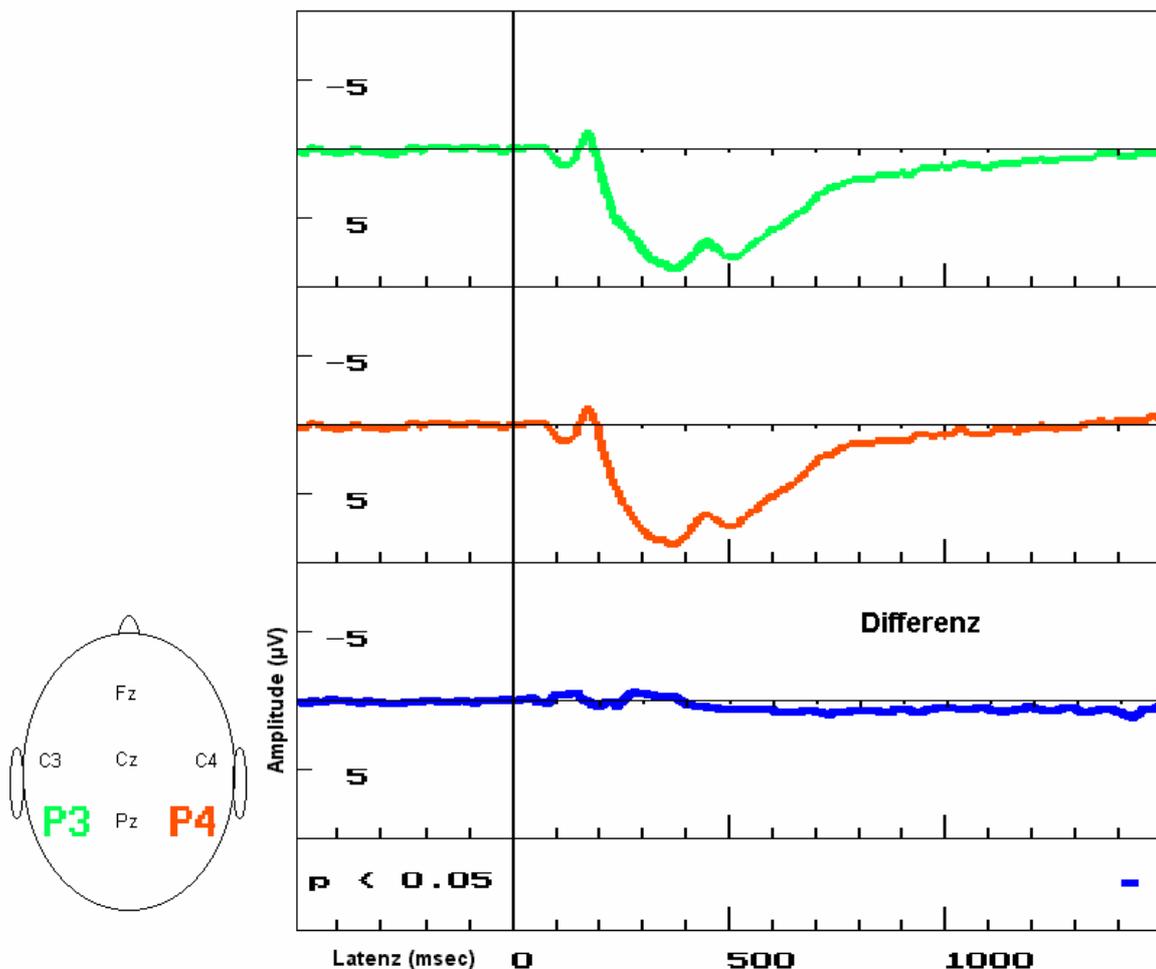


Abbildung 4.8: Lateralisierung Piktogramme: Parietale Ableitungen

Auch die Differenzkurve des Vergleichs P3 gegen P4 in **Abbildung 4.8** verläuft durchgehend sehr flach. Von etwa 90 bis 150 Millisekunden (**P-120-Komponente**) und von 250 bis 380 Millisekunden (**P-360-Komponente**) kommt es zu minimalen Negativierungen, entsprechend einer **Lateralisierungstendenz nach rechts**. Anschließend verläuft die Kurve bis zum Ende der Messzeit im leicht positiven Bereich (**P-510- und Späte Positive Komponente**), was von etwa 1400 bis 1440 Millisekunden sogar kurzfristig ein signifikantes Niveau erreicht und einer möglichen **Lateralisierungstendenz nach links** entspricht.

4.2.3 Zusammenfassung: EKP-Kurven Piktogramme

Sowohl die frontocentralen als auch die parietalen Ableitungen prägen für Piktogramme eine deutliche **P-360-Komponente** und eine etwas kleinere **P-510-Komponente** aus. In den frontocentralen Ableitungen findet sich außerdem eine gut abgrenzbare **P-220-Komponente**, in den lateralen parietalen Kurven kleine **P-120-** und **N-180-Komponenten**.

Zwischen der **P-360-Komponente** und der **P-510-Komponente** ist in allen Piktogramme-Kurven eine deutliche **N-450-Komponente** eingeschoben; in den frontocentralen Kurven befindet sich zwischen der **P-220-Komponente** und der **P-360-Komponente** eine **N-270-Komponente**.

Im Zeitabschnitt nach 750 msec verlaufen alle Piktogramme-EKPs relativ flach im positiven Bereich. Die Amplituden dieser **Späten Positiven Komponente** nehmen von frontal nach parietal hin ab, die Amplituden von **P-360-Komponente** und **P-510-Komponente** dagegen nehmen von frontal nach parietal hin zu.

Es zeigen sich die folgenden **nicht-signifikanten Lateralisierungstendenzen**:

Lateralisierungstendenz: Ableitorte:	Nach LINKS	Nach RECHTS
CENTRAL	P-220-Komponente	P-360-Komponente P-510-Komponente Späte Positive Komponente
PARIETAL	P-510-Komponente Späte Positive Komponente* <small>*(kurzstreckig signifikant)</small>	P-120-Komponente P-360-Komponente

4.3 Gruppenpotentiale bei visueller Perzeption von Wörtern

4.3.1 Kurvenverläufe an den einzelnen Ableitorten

Auch die durch Wörter induzierten Ereigniskorrelierten Potentiale sollen nun genauer betrachtet werden. In **Abbildung 4.9** sind die frontocentralen Ableitungen wiedergegeben. Wie bei den Piktogramme-EKPs fällt auch hier ein untereinander ähnlicher Verlauf der frontocentralen Kurven auf, wobei auch hier Fz am stärksten von den anderen Ableitungen differiert. Wie bei den Piktogrammen bleiben auch die frontocentralen Wörter-Grandaverages bis etwa 130 msec im Nulllinien-Niveau (auch hier mit einer minimalen positiven Auslenkung bei etwa 100 msec), um dann in eine steile Positivierung abzutauchen. Im Gegensatz zu den Piktogramme-Kurven bilden sie allerdings **keine** in allen Ableitungen deutlich abgrenzbare **P-220-Komponente** aus.

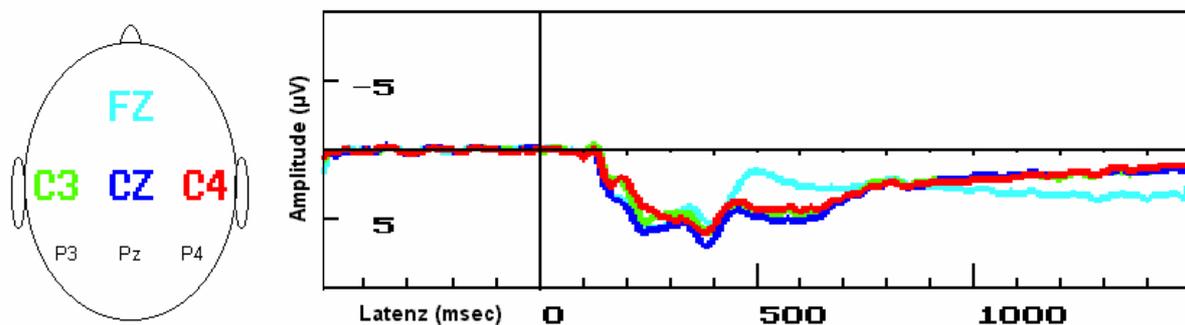


Abbildung 4.9: Frontocentrale Ableitungen Wörter

Statt dessen trennen sie sich bereits bei etwa 140 msec auf ihrem Weg zur größten Positivierung (**P-360-Komponente**), die die centralen Kurven etwa bei 380 msec erreichen, Fz erst etwa bei 400 msec.

Die **lateralen EKPs** bilden ein frühes Zwischenplateau aus, das etwa von 140 msec bis 200 msec reicht. C4 zeigt bei 200 msec sogar eine kurzfristige Rückbewegung in Richtung Nulllinie, so dass hier das „Zwischenplateau“ als eigenständige frühe positive Komponente abgrenzbar erscheint (**P-150-Komponente**). C3 erreicht hier etwa 2 µV, C4 etwa 2,5 µV. Im weiteren Verlauf wird dagegen C3 positiver. Diese Kurve gelangt bei etwa 220 msec zu einem ersten Maximum mit 5 µV (**P-220-Komponente**), steigt dann rampenartig an bis zu

einem Zwischenminimum bei 340 msec und 4 μV (**N-340-Komponente**), um bei 380 msec dann erneut ein Maximum von etwa 6 μV auszubilden (**P-360-Komponente**). C4 zeigt bei 220 msec lediglich ein kurzes Plateau auf etwa 4 μV , steigt von dort aus dann relativ gleichmäßig ab, bis die Kurve bei 380 msec und etwa 6 μV ihr Maximum erreicht. Auf dem Weg dorthin wird sie nur kurzzeitig – etwa von 310 bis 340 msec - von den aufsteigenden Rampen der anderen Ableitungen „mitgenommen“ und bildet in dieser Zeit ein kurzes Plateau bei etwa 5 μV .

Die **medianen Kurven** Fz und Cz verlaufen bis etwa 300 msec fast deckungsgleich. Sie zeigen von 140 bis 180 msec ein kurzes Zwischenplateau bei etwa 3,5 μV (angedeutete **P-150-Komponente**), steigen dann weiter ab, um bei etwa 220 msec ein erstes Maximum von etwa 6 μV auszubilden (**P-220-Komponente**). Cz verläuft von hier aus rampenartig ansteigend bis etwa 340 msec und erreicht dort bei etwa 5 μV ein Zwischenminimum (**N-340-Komponente**). Im Verlauf der Rampe löst sich Fz von Cz und beschreibt einen negativen Bogen, der seinen Wendepunkt bei etwa 350 msec und 4 μV hat. Von diesen Zwischenminima aus fallen dann Cz und Fz in einer parallelen Bewegung steil zu einer erneuten Positivierung ab. Cz erreicht bei 380 msec etwa 7,5 μV , Fz etwas später etwa 5,5 μV (**P-360-Komponente**).

Von ihren Maxima aus steigen alle frontocentralen EKPs dann etwa parallel bis zu einem Zwischenminimum an. Dieses erreichen die centralen Kurven bei etwa 450 msec und 4 μV , Fz bei etwa 480 msec und 1,5 μV (**N-450-Komponente**). Von dort aus sinkt Fz sachte ab und erreicht gegen Ende der Aufzeichnungszeit erneut eine Positivierung von etwa 3 μV . C3, Cz und C4 beschreiben einen nach unten konvexen flachen Bogen, mit einem erneuten Maximum von etwa 5 μV . Dieses wird zwischen 520 und 600 msec erreicht (**P-510-Komponente**). Bei etwa 800 msec kreuzen sich Fz und die centralen Kurven. Letztere sind ab dem Kreuzungspunkt, der bei ungefähr 2,5 μV liegt in einem flachen gleichmäßigen Anstieg begriffen, der sie bei 1500 msec etwa nach 1,5 μV führt (**Späte Positive Komponente**).

Die durch Wörter induzierten parietalen EKPs in **Abbildung 4.10** zeigen ähnliche Verläufe, wie wir sie in **Abbildung 4.2** bei den parietalen Piktogramme-Kurven gesehen haben.

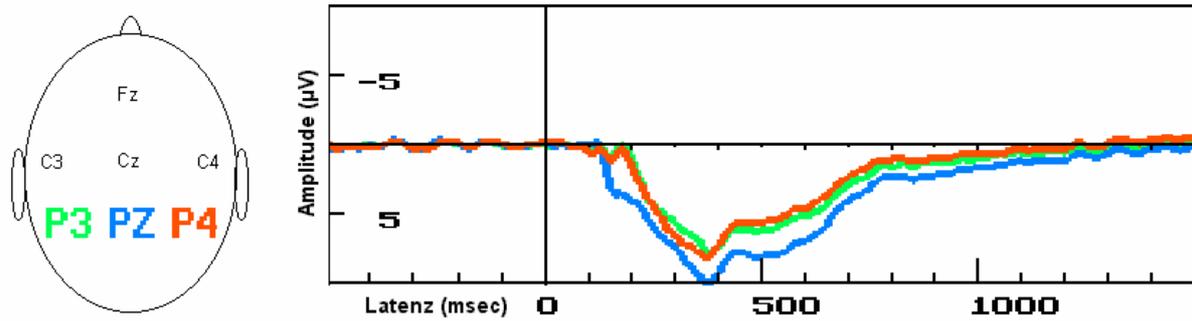


Abbildung 4.10: Parietale Ableitungen Wörter

Auch hier verlaufen die lateralen Ableitungen fast deckungsgleich, Pz läuft annähernd parallel dazu, bildet jedoch eindeutig den positivsten Kurvenverlauf.

Pz fällt bei etwa 130 msec plötzlich steil ab bis etwa $3,5 \mu\text{V}$ und bildet dort von 150 bis 180 msec ein kurzes Plateau. Auch P3 und P4 beginnen bei 130 msec eine Positivbewegung, die ebenfalls bei 150 msec gestoppt wird und hier sogar in eine Negativbewegung umschlägt, die bis 180 msec anhält. Bei 150 msec erreichen die lateralen Kurven etwa $1 \mu\text{V}$, bei 180 msec befinden sie sich wieder in der Nulllinie (überlagerte, dadurch „relativierte“ **N-180-Komponente**). Anschließend fallen alle parietalen Ableitungen steil ab, bis sie bei etwa 380 msec ein Maximum erreichen, das in P3 und P4 etwa $8 \mu\text{V}$, in Pz etwa $10 \mu\text{V}$ beträgt (**P-360-Komponente**).

Von ihren Maxima aus bewegen sich alle drei parietalen Wörter-Grandaverages wieder Richtung Nulllinie. Auf ihrem Weg dorthin bilden sie eine **N-450-Komponente** aus, deren Extremum für die lateralen Kurven etwa bei $6 \mu\text{V}$ und für Pz etwa bei $7,5 \mu\text{V}$ liegt. Diesem Zwischenminimum folgt eine nach unten hin konvexbogige Formation mit einem erneuten Maximum in Pz bei etwa 500 msec und $8 \mu\text{V}$. Die lateralen Ableitungen zeigen bis etwa 520 msec eher einem plateauartigen Verlauf (**P-510-Komponente**). Danach steigen sie – wie auch Pz – stetig an bis etwa 750 msec. Von da an führt sie ein sehr flacher Anstieg zurück zur Nulllinie, die sie gegen Ende des Messzeitraums erreichen (**Späte Positive Komponente**).

4.3.2 Vergleich der beiden Hemisphären

Wie beim Piktogramme-Seitenvergleich von C3 und C4 verläuft auch für die Wörter-Kurven die Differenzkurve recht flach (**Abbildung 4.11**). Wie dort zeigt sich auch hier eine flache S-förmige Figur mit einer Positivierung von etwa 180 bis 270 msec bis etwa $1 \mu\text{V}$ (**P-220-Komponente: Lateralisierungstendenz nach links**) und einer sich anschließenden Negativierung, die bis etwa 380 msec andauert und knapp $-1 \mu\text{V}$ erreicht (**P-360-Komponente: Lateralisierungstendenz nach rechts**). Im Anschluss verläuft die Kurve jedoch praktisch im Nulllinienniveau. **Signifikante Lateralisierungen** werden **nirgends** erreicht.

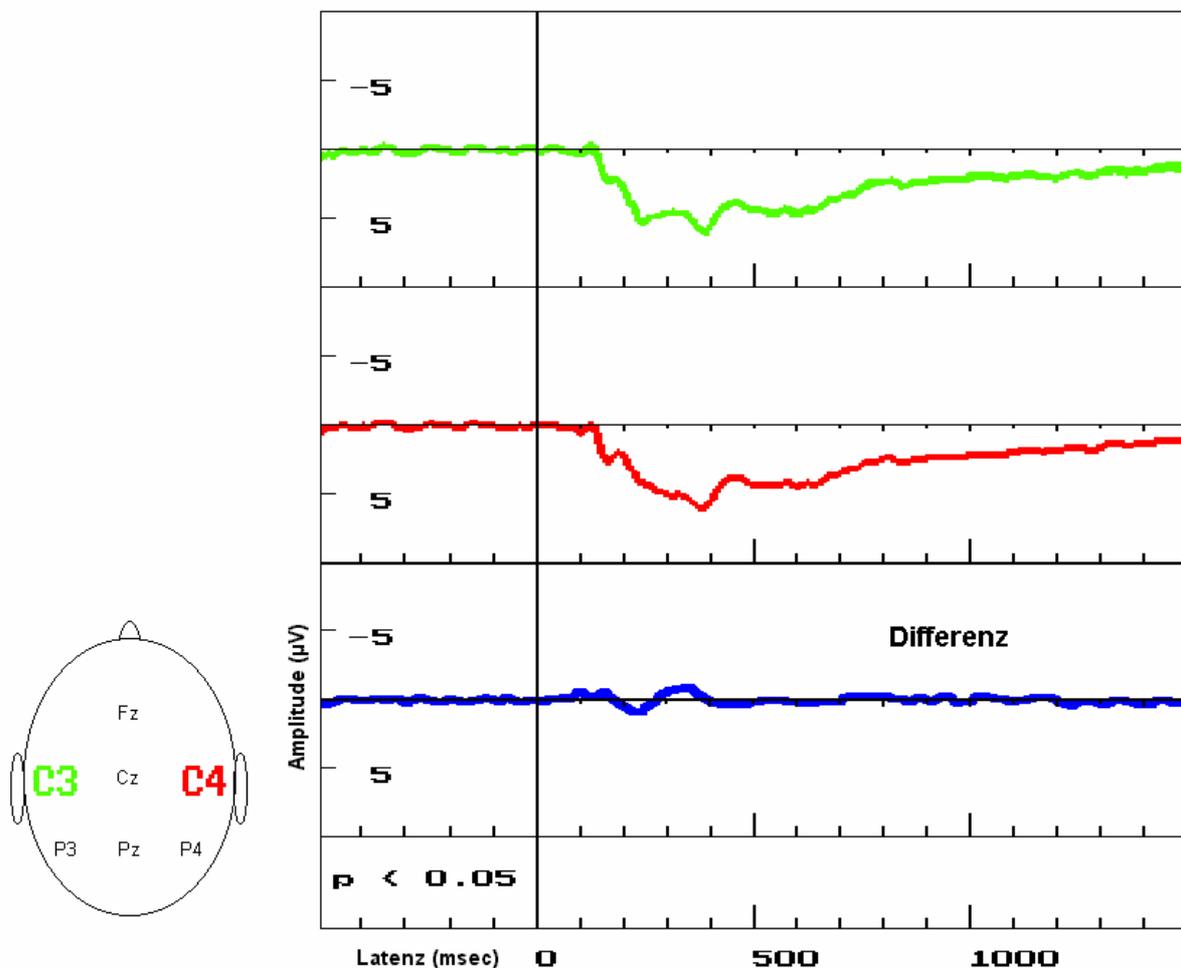


Abbildung 4.11: Lateralisierung Wörter: Centrale Ableitungen

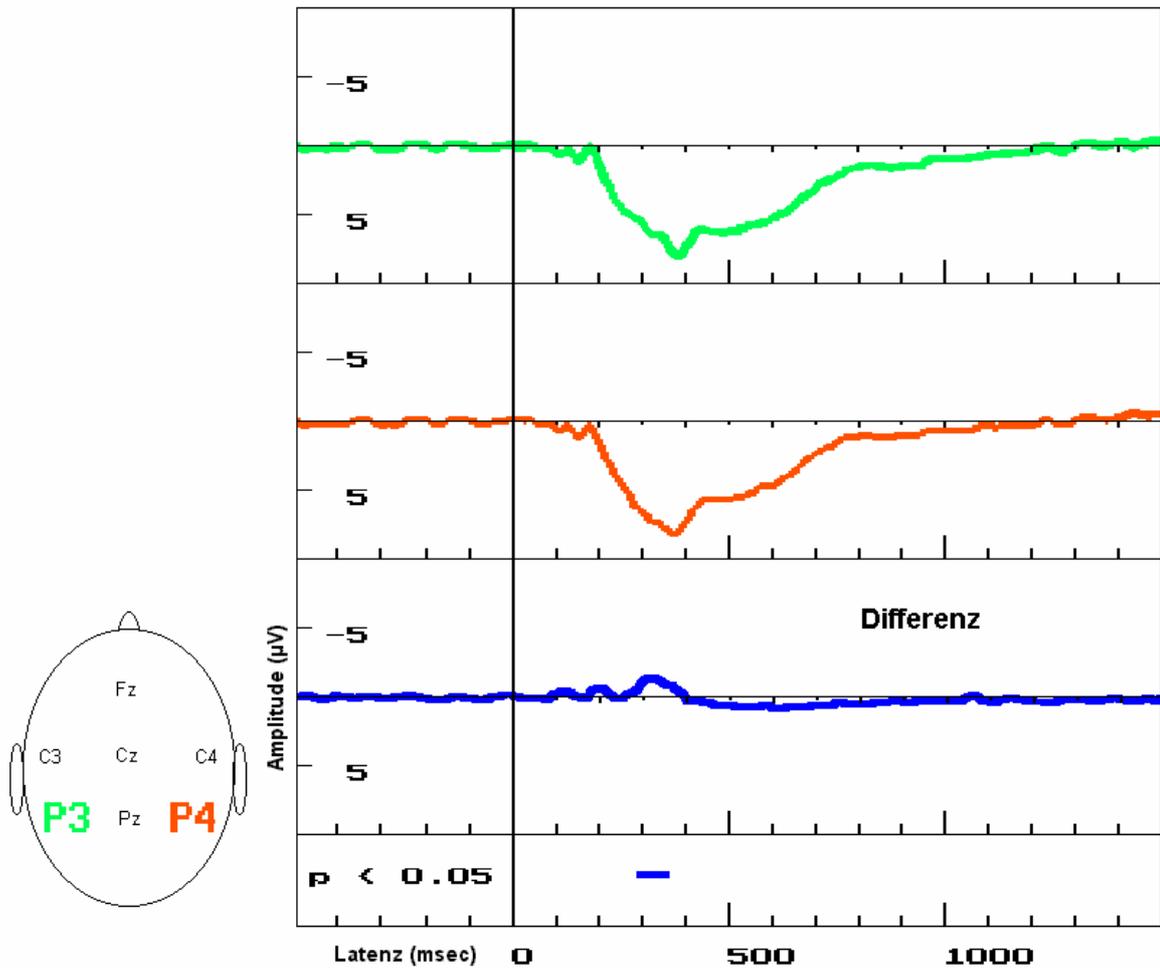


Abbildung 4.12: Lateralisierung Wörter: Parietale Ableitungen

Der Seitenvergleich der parietalen Ableitorte für die Wörter-Kurven ist in **Abbildung 4.12** dargestellt. Auch hier verläuft die Differenzkurve recht flach. Von etwa 280 bis 370 Millisekunden wird sie jedoch signifikant negativ (**P-360-Komponente**), was hier einer **kurzstreckigen signifikanten Lateralisierung nach rechts** entspricht. Anschließend verläuft die Kurve bis etwa 800 Millisekunden flach im leicht positiven Bereich (**P-510-Komponente**), was man als **Lateralisierungstendenz nach links** interpretieren könnte, um anschließend im Nullniveauniveau weiter zu laufen.

4.3.3 Zusammenfassung: EKP-Kurven Wörter

Wie in den Piktogramme-Kurven zeigen sich auch in allen Wörter-Kurven deutliche **P-360-Komponenten**. Die **P-220-Komponenten** in den frontocentralen Ableitungen und die **P-510-Komponenten** sind dagegen in den Wörter-Kurven weniger markant ausgeprägt, als in den Piktogramme-Kurven. Die frontocentralen Wörter-Kurven bilden eine kleine plateauartige **P-150-Komponente** während des 'P-220-Abstiegs' aus, die in den Piktogramme-Ableitungen nicht vorkommt.

Zwischen der **P-360-Komponente** und der **P-510-Komponente** ist auch in allen Wörter-Kurven eine deutliche **N-450-Komponente** eingeschoben; in den frontocentralen Kurven befindet sich zwischen der **P-220-Komponente** und der **P-360-Komponente** jedoch anstelle der in den Piktogramme-Kurven zu findenden **N-270-Komponente** eine **N-340-Komponente**, die flacher und später ausgeprägt wird als ihr Piktogramme-Pendant.

Im Zeitabschnitt nach 750 msec verlaufen auch alle Wörter-EKPs relativ flach im positiven Bereich. Die Amplituden dieser **Späten Positiven Komponente** nehmen auch für Wörter von frontal nach parietal hin ab und die Amplituden der **P-360-** und **P-510-Komponente** nehmen von frontal nach parietal hin zu.

Für die Wörter-Kurven kann in der **P-360-Komponente parietal eine signifikante Lateralisierung nach rechts** nachgewiesen werden.

Außerdem zeigen sich die folgenden **nicht-signifikanten Lateralisierungstendenzen**:

Lateralisierungstendenz: Ableitorte:	Nach LINKS	Nach RECHTS
CENTRAL	P-220-Komponente	P-360-Komponente
PARIETAL	P-510-Komponente	P-360-Komponente* *(signifikant)

4.4 Graphischer Kurvenvergleich: Piktogramme - Wörter

4.4.1 Frontocentrale Ableitorte

Nach der ausführlichen Einzel-Betrachtung der Piktogramme-EKPs und der Wörter-EKPs kommen wir nun zum direkten Vergleich dieser beiden Gruppen. Dazu sind in **Abbildung 4.13** die Potentialkurven der frontocentralen Ableitungen beider Untersuchungsbedingungen sowie die Differenzkurven und die Signifikanzbalken in einem gemeinsamen System zusammengefasst.

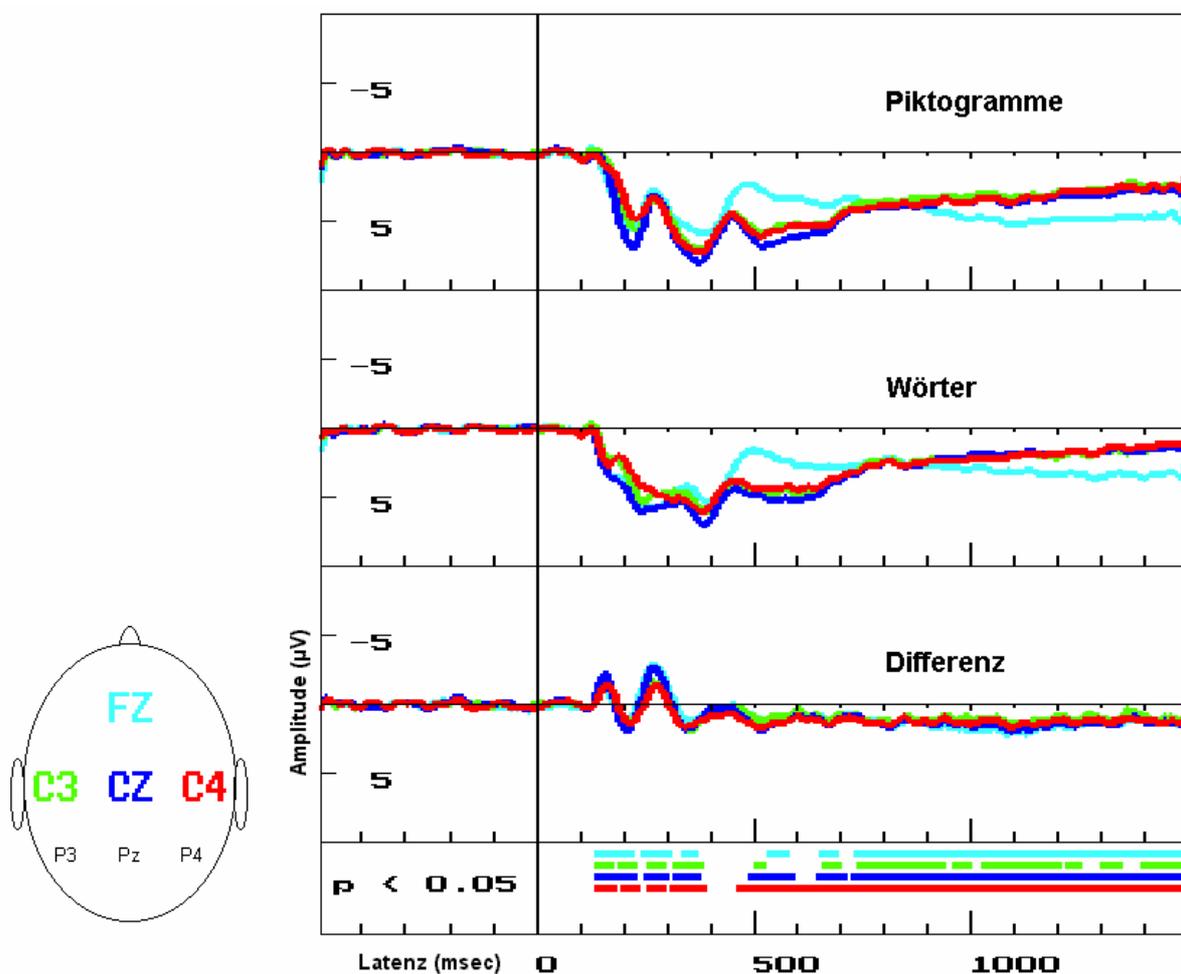


Abbildung 4.13: Vergleich Piktogramme – Wörter: Frontocentrale Ableitungen

Auf den ersten Blick scheinen sich die **Piktogramme-EKPs** von den **Wörter-EKPs** nur zwischen 200 und 400 msec nennenswert zu unterscheiden und ansonsten recht ähnlich zu verlaufen:

Unter beiden Untersuchungsbedingungen beginnen die positiven Auslenkungen etwa bei 130 ms und erreichen ihr Maximum etwa zwischen 360 bis 400 msec (**P360-Komponente**). Die Piktogramme-EKPs haben bis dahin bereits eine deutlich abgrenzbare **P-220-Komponente** ausgeprägt, die in den Wörter-Kurven nur angedeutet erscheint, sowie ein relatives Zwischenminimum bei etwa 270 msec (**N-270-Komponente**), das in den Wörter-Kurven erst bei etwa 340 msec erreicht wird (**N-340-Komponente**).

Im Anschluss an die **P-360-Komponente** verhalten sich Piktogramme- und Wörter-Kurven morphologisch sehr ähnlich: Bei etwa 450 msec konvergieren alle centralen Ableitungen in einem weiteren Zwischenminimum (**N-450-Komponente**) und Fz löst sich von ihnen, um eine eigene Figur zu beschreiben: Ein Zwischenminimum bei etwa 480 msec mit anschließendem rampenartigen Abstieg und einem nach 1000 msec sehr flachem Verlauf. Dabei kreuzen beide Fz-Kurven die aufsteigenden centralen Kurven bei etwa 800 msec.

Die centralen Kurven nehmen nach dem Zwischenminimum bei 450 msec auch weiterhin einen sehr ähnlichen Verlauf: Eine wannen- (Piktogramme) bzw. bogenförmige (Wörter) Positivierung (**P-510-Komponente**), die dann ab etwa 720 (Piktogramme) bzw. 820 msec (Wörter) in eine flach ansteigende Rampe übergeht, die durchgehend im positiven Bereich bleibt (**Späte Positive Komponente**).

Die **Differenzkurven** verlaufen bis 130 msec in der Nulllinie. Es schließt sich ein Sinus-ähnlicher Kurvenverlauf an, beginnend mit einer Negativierung, die ihre größte Auslenkung bei etwa 150 msec (**ND-160-Komponente**) zeigt. Ab 180 msec folgt eine Positivierung mit Maximum bei etwa 210 msec (**PD-210-Komponente**), ab 240 msec wieder eine Negativierung, die ihre größte Auslenkung etwa bei 270 msec findet (**ND-270-Komponente**). Die sich ab etwa 310 msec anschließende Positivierung hat ihr Maximum bei etwa 350 msec (**PD-350-Komponente**) und pendelt ab etwa 390 msec wieder in die Nulllinie zurück. Ab etwa 460 msec zeigen die frontocentralen Differenzkurven erneut eine positive Auslenkung, die bei etwa 510 msec ihr Maximum erreicht (**PD-510-Komponente**), anschließend kurz zurück pendelt, um dann bis zum Ende der Messzeit etwa konstant zu bleiben (**PD-Spät-**

Komponente). Alle genannten Auslenkungen werden in allen Ableitorten signifikant. Die medianen Ableitungen Fz und Cz zeigen deutlich größere Auslenkungen als die lateralen Ableitungen C3 und C4. Bezüglich ihres zeitlichen Ablaufes verlaufen die lateralen und die medianen Kurven jedoch fast deckungsgleich.

Im Hinblick auf die großen morphologischen Gemeinsamkeiten der Original-Grandaverages sind diese ausgeprägten signifikanten Abweichungen der Differenzkurven ein eher überraschendes Ergebnis. Die **Zusammenhänge zwischen Original- und Differenzkurvenverläufen** seien deshalb etwas genauer betrachtet:

Die erste Negativierung der Differenzkurven zwischen 130 und 180 msec (**ND-160-Komponente**) entspricht der steiler und stärker einsetzenden Positivierung der Wörter-Kurven im Vergleich zu den Piktogramme-Kurven in diesem Bereich. In den Wörter-Kurven erscheint hier eine angedeutete, in C4 klar abgrenzbare **P-150-Komponente**, die in den Piktogramme-Kurven fehlt.

Die anschließende Positivierung der Differenzkurven (**PD-210-Komponente**) fällt ziemlich genau mit der **P-220-Komponente** zusammen, die in den Piktogramme-EKPs deutlich ausgeprägt, in den Wörter-Kurven jedoch nur leicht angedeutet erscheint.

Die zweite Negativierung der Differenzkurven (**ND-270-Komponente**) entsteht durch das bei 270 msec ausgeprägte relative Zwischenminimum (**N-270-Komponente**) der Piktogramme-Kurven, das in den Wörter-EKPs dort noch nicht ausgeprägt ist, sondern erst bei 340 msec erreicht wird und dann auch deutlich flacher ausfällt (**N-340-Komponente**).

In die sich anschließende zweite Positivierung der Differenzkurven (**PD-350-Komponente**) geht sowohl die **N-340-Komponente** in den Wörter-Ableitungen ein, dem in den Piktogramme-EKPs die bei 340 msec schon fast maximal ausgebildete **P-360-Komponente** gegenübersteht, als auch die insgesamt stärkere Positivierung dieser Komponente in den Piktogramme-Kurven. Ein dritter Aspekt ist, dass die Wörter-Kurven ihr **P360-Maximum** erst später, etwa bei 380 msec erreichen, so dass sie damit schon wieder mit dem rückläufigen Schenkel der Piktogramme-Kurven zusammenfallen.

Es folgt eine Rückkehr der Differenzkurven zur Nulllinie, die bis etwa 450 msec anhält. **Im Bereich der N-450-Komponente sind Piktogramme- und Wörter-Kurven also gleich stark ausgeprägt.**

Eine deutliche Positivierung der Differenzkurven (**PD-510-Komponente**) ergibt sich wieder, wo die „Wannenstruktur“ der Piktogramme-Kurven mit der „Bogenstruktur“ der Wörter-Kurven zusammentrifft (**P-510-Komponente**): Gerade im Bereich der „Ecken“ sind die Piktogramme-Kurven signifikant positiver als die „abgerundeten“ Wörter-Kurven.

Diese signifikant stärkere Positivierung der Piktogramme-EKP's hält sich jedoch durchgehend bis zum Ende der Messzeit, obwohl sich die Kurven im Zeitabschnitt nach 750 msec hinsichtlich der Morphologie nicht mehr nennenswert unterscheiden (**Späte Positive Komponente**). Dort laufen die Piktogramme- und die Wörter-Kurven praktisch parallel im Abstand von etwa 1 bis 1,5 μV (**PD-Spät-Komponente**).

4.4.2 Parietale Ableitorte

Der graphische Piktogramme-Wörter-Vergleich der parietalen Ableitungen findet sich in **Abbildung 4.14**. Auch hier imponieren zunächst eher die Gemeinsamkeiten als die Unterschiede: Unter beiden Untersuchungsbedingungen streben die Kurven nach kleineren Auslenkungen zwischen 100 und 200 msec recht schnell ihrer größten Positivierung bei etwa 370 bis 380 msec entgegen (**P-360-Komponente**), wobei die lateralen Piktogramme-Ableitungen eine **P-120-** und eine **N-180-Komponente** ausbilden, was bei den Wörter-Kurven nicht der Fall ist. In der medianen Ableitung Pz sind diese beiden Komponenten weder bei Piktogrammen noch bei Wörtern zu finden. Stattdessen beginnt hier unter beiden Untersuchungsbedingungen die positive Auslenkung früher als in den lateralen Ableitungen. Auch die Amplitude ist in Pz größer.

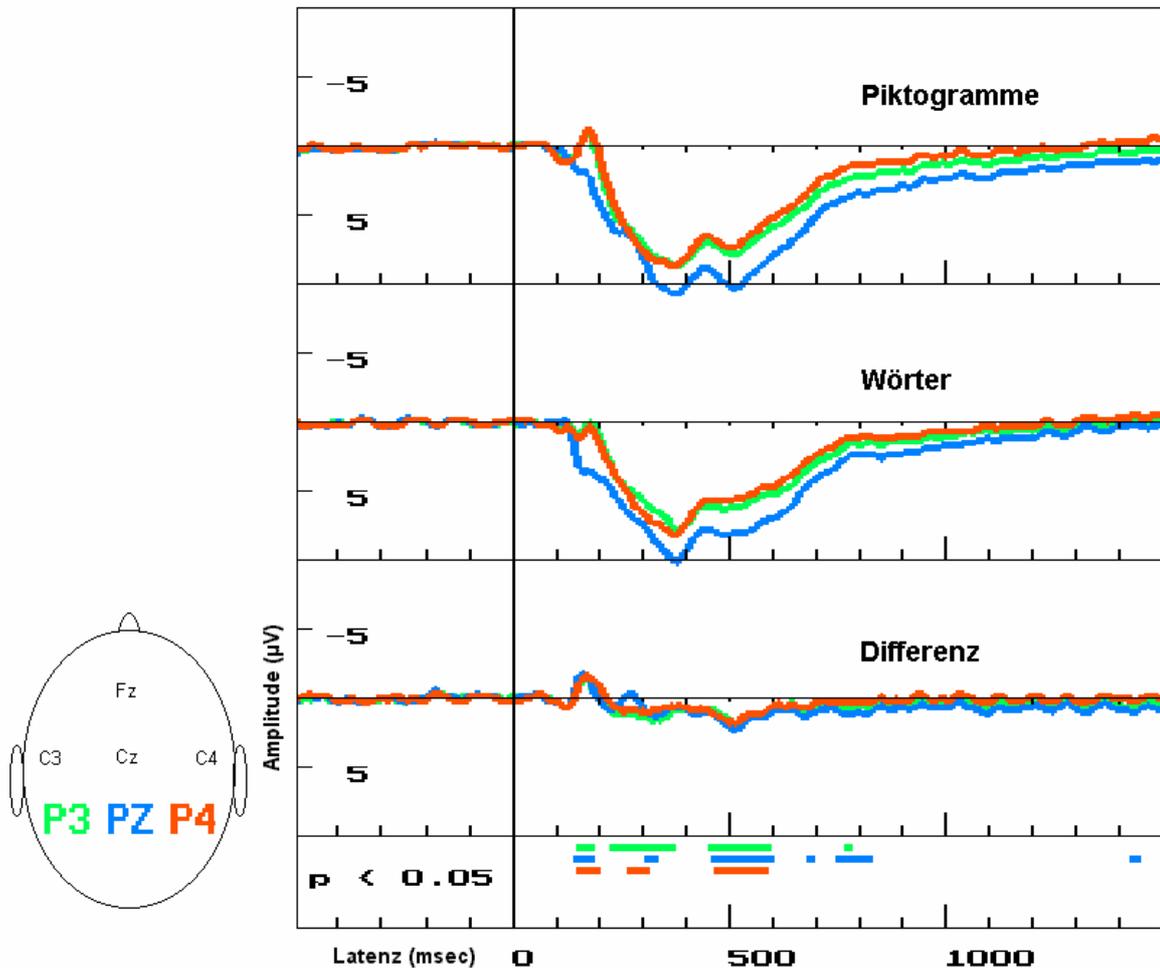


Abbildung 4.14: Vergleich Piktogramme – Wörter: Parietale Ableitungen

Für beide Stimuluskategorien zeigen die parietalen Kurven bei etwa 450 msec ein Zwischenminimum (**N-450-Komponente**). Darauf folgt in beiden Fällen eine **P-510-Komponente**, die allerdings in den Piktogramme-Kurven deutlicher ausgeprägt ist als in den Wörter-Kurven. Ab etwa 750 msec streben bei Piktogrammen wie bei Wörtern die Ableitungen im positiven Bereich sehr flach der Nulllinie entgegen (**Späte Positive Komponente**).

Die **Differenzkurven** verlaufen bis etwa 100 msec in der Nulllinie. Nach einer kurzen nicht-signifikanten Positivierung zeigen sie von 130 bis etwa 200 msec eine Negativierung, die bei etwa 150 msec ihre größte Auslenkung (etwa 2 μV) erfährt und in allen drei Ableitungen

signifikant wird (**ND-160-Komponente**). Anschließend zeigen die Differenzkurven dann – bis auf einen kurzen Pz-Schlenker zur Nulllinie bei etwa 270 msec - einen flachen positiven Verlauf bis etwa 450 msec. Dabei wird P3 von 220 bis 380 msec signifikant, P4 von 260 bis 310 msec und Pz von 300 bis 330 msec (**PD-350-Komponente**). Bis etwa 450 msec sind anschließend alle Differenzen nicht-signifikant, obwohl die Kurven durchgehend flach positiv bleiben. Von 450 bis knapp 600 msec zeigen die Differenzkurven eine stärkere positive Auslenkung, die ihr Maximum bei etwa 510 msec hat und in allen Ableitungen über den gesamten Bereich signifikant wird (**PD-510-Komponente**). Nach 600 msec liegen die Differenzkurven von P3 und P4 fast ständig im Nulllinienniveau, die von Pz parallel dazu im leicht positiven Bereich. P3 wird zwischen 760 und 780 msec noch einmal kurz signifikant. Pz wird signifikant von 680 bis 700 msec, von 740 bis 830 msec und von 1420 bis 1450 msec.

Auch für die parietalen Ableitungen erscheint es sinnvoll, die **Zusammenhänge zwischen Original- und Differenzkurven** näher zu betrachten. Auf Gemeinsamkeiten und Unterschiede zu den frontocentralen Kurven gehe ich dabei explizit ein:

Der kurzen nicht-signifikanten Positivierung in den Differenzkurven bei etwa 120 msec entspricht am ehesten die **P-120-Komponente** der Piktogramme-Ableitungen, die in den Wörter-Kurven so nicht ausgeprägt ist. Die anschließende signifikante Negativierung der Differenzkurven (**ND-160-Komponente**) fällt größtenteils mit der ebenfalls in der Piktogramme-Kurven ausgebildeten **N-180-Komponente** zusammen, die in den Wörter-Kurven bestenfalls angedeutet ist.

Die **ND-160-Komponente** in den Differenzkurven beginnt jedoch früher als die **N-180-Komponente** in den Piktogramme-Kurven und ist auch in Pz ausgeprägt, obwohl in der Piktogramme-Pz-Kurve keinerlei **N-180-Komponente** sichtbar ist. Bemerkenswert in diesem Zusammenhang ist auch, dass diese **ND-160-Komponente** auch in den frontocentralen Differenzkurven ähnlich stark ausgebildet ist, obwohl dort in keiner Piktogramme-Ableitung eine Negativierung bei 180 msec ausgeprägt ist. In den Wörter-Kurven findet sich dagegen frontocentral eine angedeutete **P-150-Komponente**. Die **ND-160-Komponente** tritt also in den Differenzkurven aller Ableitorte (frontocentral und parietal) auf, sie wird sogar in allen Ableitungen signifikant, scheint aber an verschiedenen Ableitorten mit verschiedenen

Originalkurven-Komponenten zu korrelieren, wobei sich die medianen Ableitungen (Fz, Cz und Pz) einer solchen Zuordnung sowieso weitgehend entziehen.

Auf diese **ND-160-Komponente** folgt in den parietalen Differenzkurven dann eine flache Positivierung (**PD-350-Komponente**). Hier sind die Piktogramme-Kurven also signifikant positiver als die Wörter-Kurven. Interessant ist, dass dies – mit Ausnahme von P3 – nicht für das Maximum der **P-360-Komponente** der Original-Kurven selbst gilt, sondern für den „Weg“ dorthin. Man kann also sagen, dass die Piktogramme-Kurven hier **nicht stärker positiv sondern nur früher** positiv werden, was sich jedoch mit dem direkten Punkt-zu-Punkt-Vergleich des BLAIR-KARNISKI-Tests alleine nicht differenzieren lässt. Dazu braucht man den Blick auf die morphologischen Zusammenhänge oder geeignete Parameter, die auch diese Aspekte miterfassen können¹⁰. Auch die frontocentralen Differenzkurven zeigen die größte Positivierung der **PD-350-Komponente** unmittelbar vor dem Erreichen der Maxima der **P-360-Komponente** in den Original-Kurven.

Der anschließende Abschnitt bis 450 msec zeigt weder in den parietalen noch in den frontocentralen Differenzkurven eine Signifikanz. **Die N-450-Komponente der Original-EKPs** zeigt also in allen Ableitorten unabhängig davon, ob Wörter oder Piktogramme perzipiert werden, annähernd **die gleiche Amplitude und die gleiche Latenz**.

Von etwa 460 bis 590 msec werden alle parietalen Differenzkurven signifikant positiv, wobei sie ihre größte Auslenkung bei 510 msec haben (**PD-510-Komponente**). In den Original-Kurven steht dem eine deutlich stärker ausgeprägte **P-510-Komponente** in den Piktogramme-EKPs im Vergleich zu den Wörter-EKPs gegenüber. In den frontocentralen Differenzkurven zeigt sich die **PD-510-Komponente** ebenfalls und wird auch in allen Ableitungen zumindest kurzzeitig signifikant.

In der folgenden Zeit der **Späten Positiven Komponente** unterscheiden sich die parietalen EKPs nicht so stark wie die frontocentralen Kurven, deren Differenz ja fast durchgehend signifikant ist (**PD-Spät-Komponente**). Nur die Pz-Kurve ist in diesem Zeitraum für

¹⁰ (vgl. auch die Kapitel 4.5.3, sowie 5.2.1 und 5.2.2)

Piktogramme wiederholt signifikant positiver als für Wörter, wenn auch nur jeweils für recht kurze Zeitabschnitte.

4.4.3 Zusammenfassung: Graphischer Vergleich Piktogramme – Wörter

Die **Differenzkurven** sowohl der frontocentralen als auch der parietalen Ableitungen bilden eine signifikante **ND-160-Komponente** aus, während der sämtliche **Wörter-Kurven signifikant positiver** werden als die Piktogramme-Kurven. In C3 und C4 fällt diese am ehesten mit der **P-150-Komponente** der Wörter-Kurven zusammen, in P3 und P4 mit der **N-180-Komponente** der Piktogramme-Kurven. In den medianen Ableitungen ist die **ND-160-Komponente** dagegen ohne eindeutig abgrenzbares Korrelat in den Original-EKPs.

In den frontocentralen Ableitungen bilden die Differenzkurven außerdem eine **ND-270-Komponente** aus, die v.a. durch das in den Wörter-Kurven später und flacher verlaufende Zwischenminimum (**N-340-Komponente**) im Vergleich zu den Piktogramme-Kurven (**N-270-Komponente**) zustande kommt.

Alle anderen Differenzkurven-Komponenten (**PD-210-, PD-350-, PD-510- und PD-Spät-Komponente**) weisen den **Piktogramme-Kurven größere Auslenkungen** zu als den Wörter-Kurven, wobei frontocentral alle diese Komponenten signifikant werden, parietal dagegen v.a. die **PD-350-Komponente** und die **PD-510-Komponente**. Die leichten Latenz-Verschiebungen zwischen den Komponenten der Originalkurven und denen der Differenzkurven (**PD-210-** versus **P-220-Komponente**, sowie **PD-350-** versus **P-360-Komponente**) zeigen an, dass die größten Unterschiede sich jeweils unmittelbar vor dem Erreichen des Maximums der Original-Ableitungen befinden.

Die **N-450-Komponente in den Original-Kurven** findet in allen frontocentralen und parietalen Ableitungen **zeitgleich** und für Wörter und Piktogramme annähernd **amplitudengleich** statt. Die Differenzkurven bilden deshalb hier keine eigenständige Komponente aus.

4.5 Numerischer Kurvenvergleich: Piktogramme – Wörter

4.5.1 Einführung

Als erste Abbildung in jedem der folgenden EKP-Komponenten-Kapitel wird eine Übersicht über die EKP-Kurven aller Ableitorte wiedergegeben, in der die Kurvenabschnitte markiert sind, die den jeweiligen Parameterberechnungen zugrunde liegen. Hintergrund dafür ist die in den Kapiteln 5.2.1 und 5.2.2 ausführlich diskutierte Tatsache, dass nur durch den Rückbezug der Ergebnisse der Parameter-Berechnungen auf die Originaldaten deren Bedeutung richtig einzuschätzen ist (vgl. auch BORTZ & DÖRING, 2002; BECK-BORNHOLDT & DUBBEN, 2002).

Die Werte der Kurvenparameter werden anschließend in Fehlerbalkendiagrammen dargestellt, die die 95%-Konfidenzintervalle der Parametermittelwerte anzeigen. Die Werte werden nach Ableitorten gruppiert dargestellt, so dass für jeden Ableitort ein direkter Vergleich zwischen den Stimuluskategorien möglich wird¹¹. In den zugeordneten Kopfdiagrammen sind hier die Signifikanzstärken kodiert. Gelb steht dabei für signifikante Unterschiede ($p \leq 0,05$), Rot für hoch signifikante Unterschiede ($p \leq 0,01$). Im Fehlerbalkendiagramm selbst sind die jeweiligen Balkenpaare durch eine verbindende Klammer mit einem gelben, bzw. zwei roten Sternchen markiert.

¹¹ Für diese Art der Darstellung haben ich mich auch deshalb entschieden, weil sie die interindividuelle Variabilität der Originalkurven (z.B. die Latenzvariation) widerspiegelt und damit einen wichtigen Aspekt sichtbar macht, der die Berechnung der Parameter mit begründet, weil er durch den BLAIR-KARNISKI-Test nur unzureichend zur Darstellung kommt (vgl. Kapitel 5.2.2, sowie HEINZ, 1998). Kritisiert wird diese Darstellungsweise jedoch von ALTMAN (2002a), weil aus dem Überlappen der Konfidenzintervalle leicht der Fehlschluss gezogen werden kann, es liege kein signifikanter Unterschied vor. (Werden die **Differenzen** als Konfidenzintervall dargestellt, was der Autor statt dessen vorschlägt, ist eine solche Interpretation bezüglich des Nullwertes nämlich möglich: Liegt dieser im 95%-Konfidenzintervall, so ist eine Signifikanz ($p \leq 0,05$) ausgeschlossen: vgl. auch ALTMAN et al., 2002). Um in meinen Abbildungen diesen Fehlschluss auszuschließen, habe ich die (hoch-)signifikanten Wertepaare in der oben beschriebenen Weise mit einer Klammer markiert und im Kopfdiagramm farblich kodiert.

4.5.2 Die P-220-Komponente

Das Zeitintervall, das der Parametrisierung der **P-220-Komponente** zugrunde liegt, reicht von 150 bis 270 Millisekunden. Damit ist es begrenzt von der **P-150-Komponente** der frontocentralen Wörter-Kurven einerseits und von der **N-270-Komponente** der Piktogramme-Kurven andererseits (**Abbildung 4.15**).

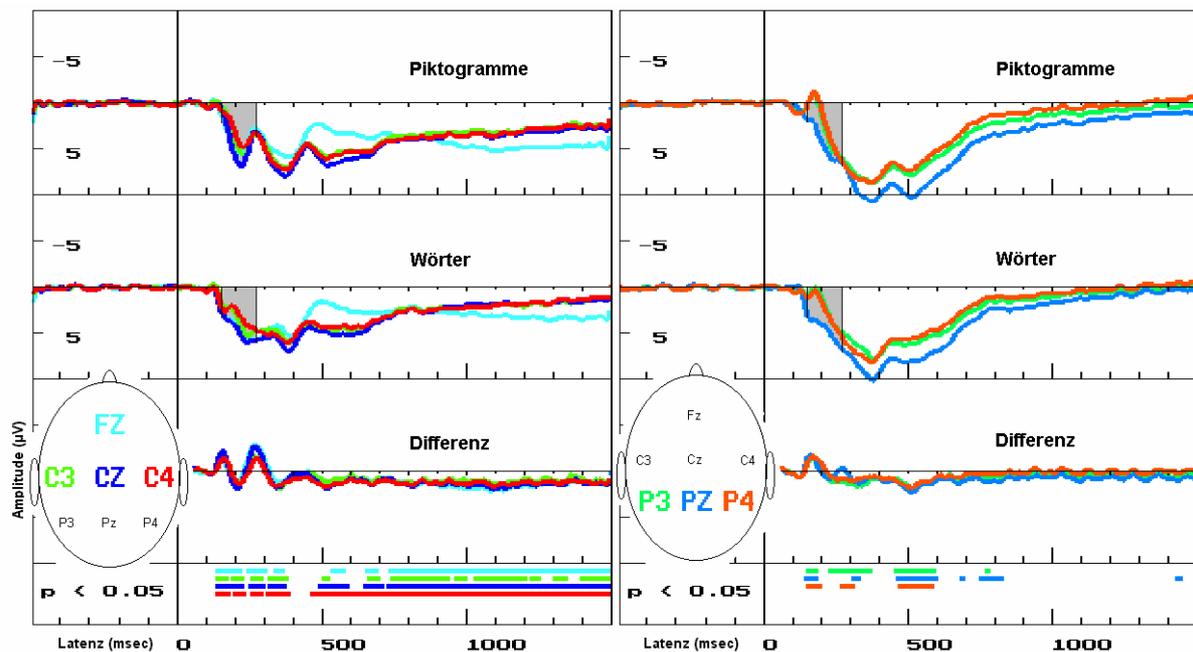


Abbildung 4.15: Kurvenübersicht: Zeitintervall zur Berechnung der P-220-Parameter (grau unterlegt)

4.5.2.1 Maxima

Betrachtet man die Amplituden der Maxima der **P-220-Komponente** in **Abbildung 4.16**, so stellt man überrascht fest, dass die Amplituden für Piktogramme in den frontocentralen Ableitungen kleiner sind als die für Wörter, wenn auch nicht signifikant. Es überrascht deshalb, weil im graphischen Direktvergleich der Kurven (**Abbildung 4.15**) im Zeitabschnitt, in den die Maxima der Grandaverage-Kurven fallen, in den Differenzkurven eine deutliche Positivierung zu sehen ist, die sogar signifikant ist. Dies würde eine signifikant größere **P-220-Komponente** für Piktogramme bedeuten, wie in Kapitel 4.4.1 bereits ausgeführt wurde.

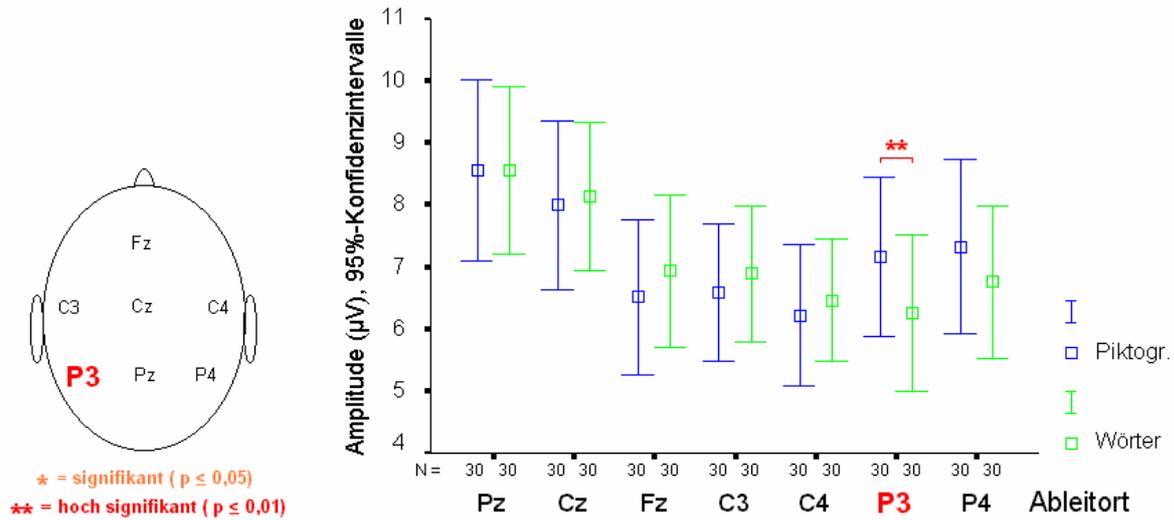


Abbildung 4.16: Amplituden der Maxima der P-220-Komponente

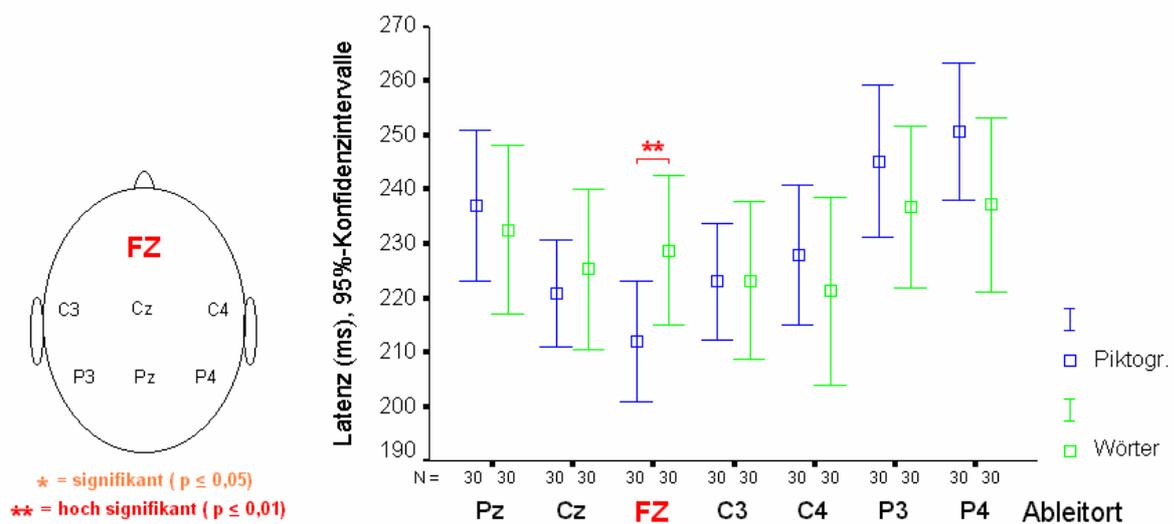


Abbildung 4.17: Latenzen der Maxima der P-220-Komponente

Schaut man dagegen in **Abbildung 4.17**, wo der numerische Parametervergleich die Latenzen der Maxima der Average-EKP ansiedelt, stellt man fest, dass diese etwa mit den Nulldurchgängen der Differenzkurven zusammenfallen. Die durch die parametrische Betrachtung präzisierte Aussage zu den EKP-Kurven im Direktvergleich muss also lauten: Die frontocentralen Piktogramme-EKPs verlaufen im Bereich der **P-220-Komponente** bis kurz vor Erreichen der Maxima signifikant positiver als die Wörter-EKPs. Die Amplituden der Maxima unterscheiden sich im frontocentralen Bereich jedoch nicht signifikant. Für Fz könnten die Signifikanzen im Direktvergleich der Kurven auch auf folgenden Befund zurückzuführen sein: Bei etwa gleicher Amplitude werden die Maxima der Wörter-Kurven in Fz hoch signifikant später erreicht als die der Piktogramme-Kurven.

Betrachtet man die parietalen Ableitungen, so findet man nur in den lateralen Positionen nennenswerte Unterschiede. Die Piktogramme-Amplituden erscheinen hier deutlich größer als die Wörter-Amplituden. In P3 wird dieser Unterschied sogar hoch signifikant. Ein Blick in die Latenzen der Maxima (**Abbildung 4.17**) zeigt, dass diese sich nicht etwa an der äußersten Grenze des Zeitintervalls befinden, wie man es bei den stetig absteigenden Linien der Grandaverages (**Abbildung 4.15**) vermuten würde, sondern etwas davor. Dies ist erklärbar durch die große interindividuelle Schwankungsbreite der EKP-Averages.

So kommt es auch zu dem Phänomen, dass die Maxima der Wörter-Averages, deren Grandaverages flacher verlaufen, im Durchschnitt früher erreicht werden, als die Maxima der Piktogramme-Averages, deren Grandaverages steiler verlaufen. Diese Unterschiede werden jedoch hier nicht signifikant.

4.5.2.2 Flächeninhalte

Die Flächeninhalte der **P-220-Komponente** unterscheiden sich an keinem Ableitort signifikant zwischen Wörtern und Piktogrammen. In **Abbildung 4.18** sieht man jedoch deutlich, dass die Flächen der **P-220-Komponente** unabhängig von der Stimuluskategorie in den medianen Ableitorten größer sind als in den lateralen Orten.

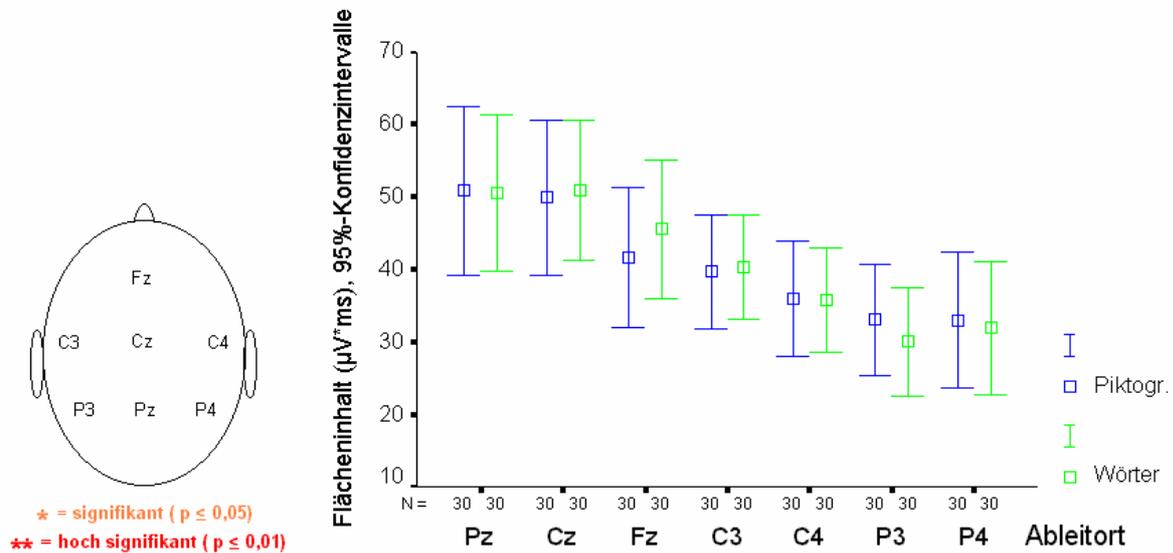


Abbildung 4.18: Flächeninhalte der P-220-Komponente

4.5.2.3 Flächenschwerpunkte

Bezüglich der Flächenschwerpunkte zeigen sich in den **Abbildungen 4.19** und **4.20** die gleichen Unterschiede zwischen Piktogrammen und Wörtern, die schon bei den Maxima gesehen wurden: Die Amplituden und die Latenzen der lateralen parietalen Ableitungen sind für Piktogramme größer als für Wörter. In P3 wird dieser Unterschied bezüglich der Amplituden der Flächenschwerpunkte hoch signifikant, in P4 bezüglich der Latenzen. In Fz ist die Wörter-Latenz hoch-signifikant größer als die Piktogramme-Latenz bei vernachlässigbar unterschiedlichen Amplituden.

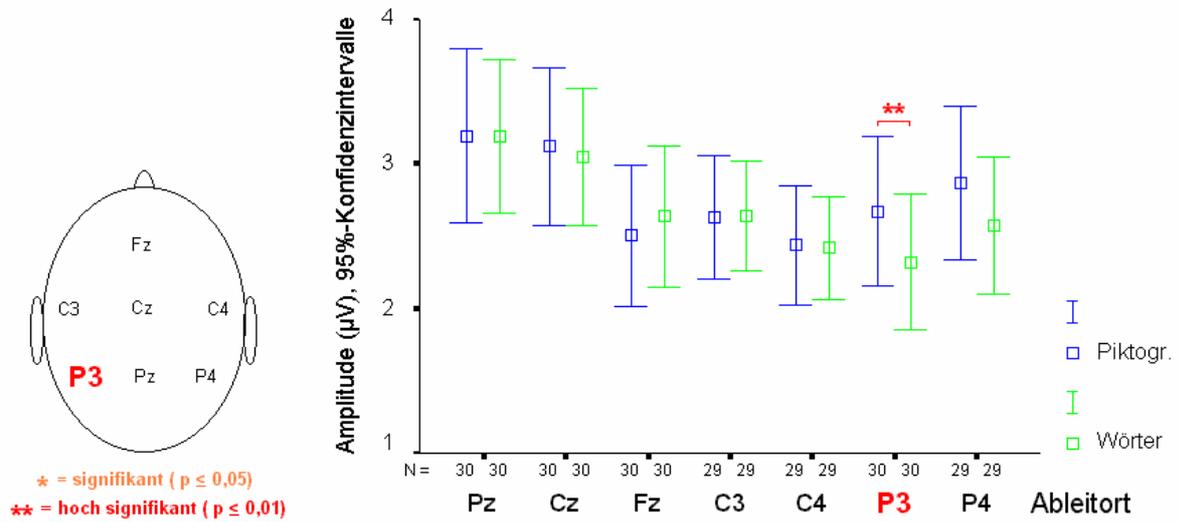


Abbildung 4.19: Amplituden der Flächenschwerpunkte der P-220-Komponente

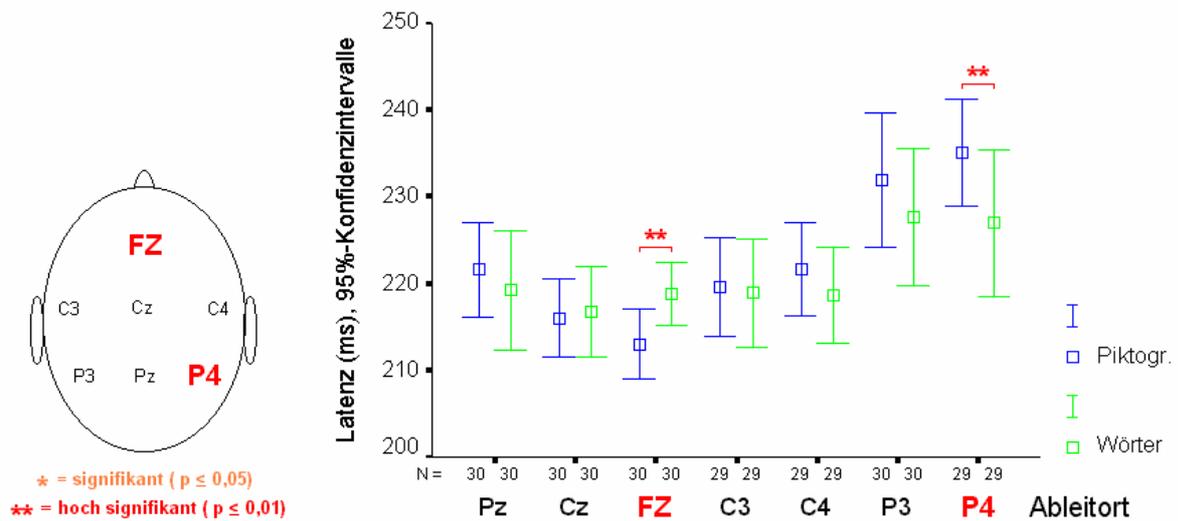


Abbildung 4.20: Latenzen der Flächenschwerpunkte der P-220-Komponente

4.5.3 Die P-360-Komponente

Das Zeitintervall der **P-360-Komponente** reicht von der **N-270-Komponente** bis zur **N-450-Komponente** und umfasst in allen Ableitungen die größten Positivierungen der gesamten aufgezeichneten Messzeit. In den frontocentralen Wörter-Kurven ist auch die **N-340-Komponente** mit eingeschlossen (**Abbildung 4.21**).

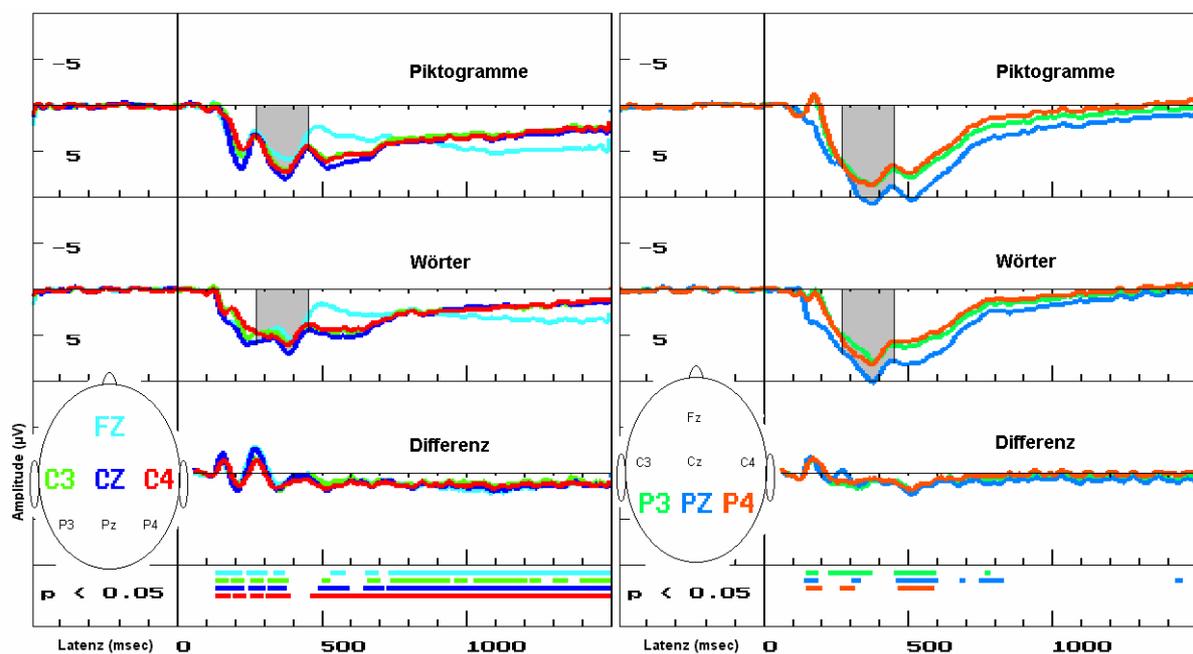


Abbildung 4.21: Kurvenübersicht: Zeitintervall zur Berechnung der P-360-Parameter (grau unterlegt)

4.5.3.1 Maxima

Wenn man in **Abbildung 4.22** die ersten drei Ableitorte anschaut, fällt auf, dass die Amplituden in der Medianebene von frontal nach parietal deutlich zunehmen. Auch in den lateralen parietalen Ableitungen sind die Amplituden größer als in den lateralen centralen Ableitorten. Nennenswerte Seitenunterschiede zeigen sich nicht. Die größten Amplituden prägt die **P-360-Komponente** in Pz aus, die kleinsten in Fz.

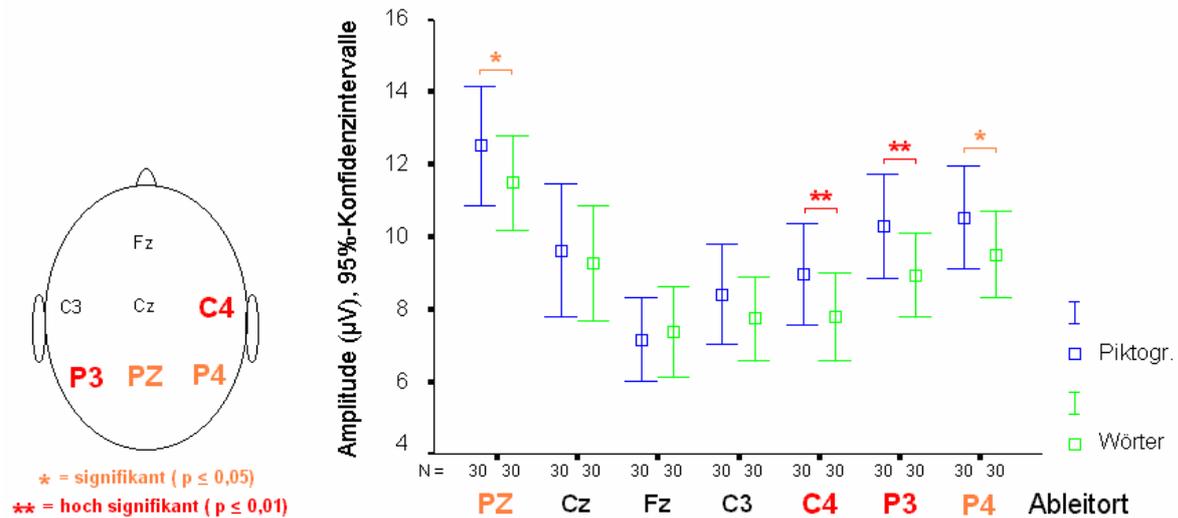


Abbildung 4.22: Amplituden der Maxima der P-360-Komponente

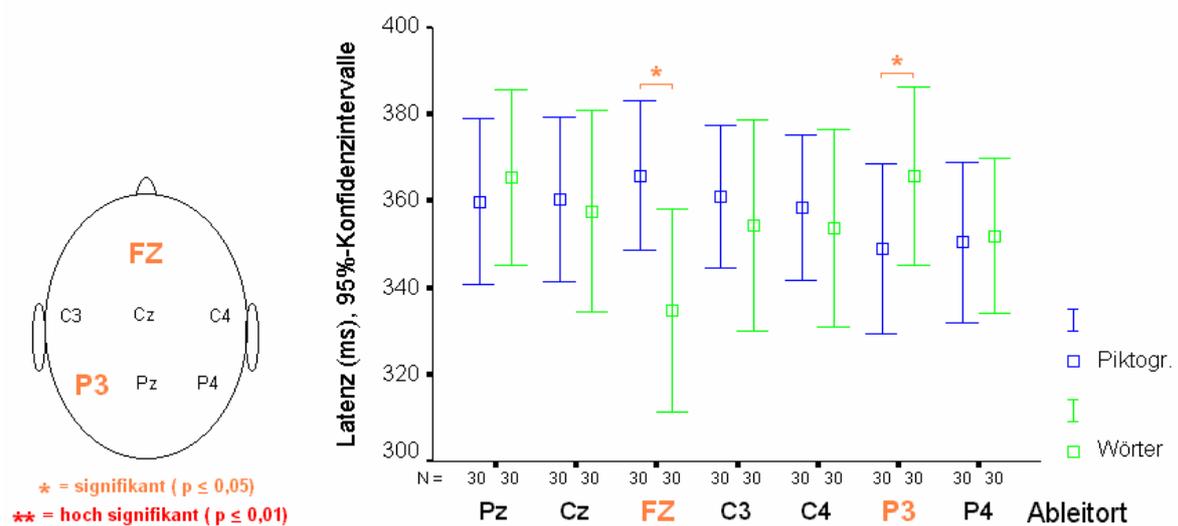


Abbildung 4.23: Latenzen der Maxima der P-360-Komponente

Betrachtet man die Unterschiede zwischen den Stimuluskategorien, so stellt man fest, dass auch diese von frontal nach parietal hin zunehmen. In den parietalen Ableitorten sind sie

durchgehend signifikant, links lateral sogar hoch signifikant. In Cz unterscheiden sie sich kaum, in C3 nicht signifikant und in C4 hoch signifikant. Überall sind die Piktogramme-Amplituden größer als die Wörter-Amplituden (außer in Fz, wo jedoch kein signifikanter Unterschied besteht).

Die Latenzen der Maxima der **P-360-Komponente** unterscheiden sich wenig, weder hinsichtlich der Ableitorte, noch bezüglich der Stimuluskategorien (**Abbildung 4.23**). Ausnahmen bilden Fz und P3, in denen signifikante Latenzunterschiede auftreten. In der frontalen Elektrodenposition werden die Maxima der Wörter-Kurven etwa 30 Millisekunden früher erreicht als die der Piktogramme-Kurven. Links parietal ist es umgekehrt. Hier sind die Piktogramme „schneller“. Der durchschnittliche Unterschied beträgt hier etwa 20 Millisekunden.

4.5.3.2 Flächeninhalte

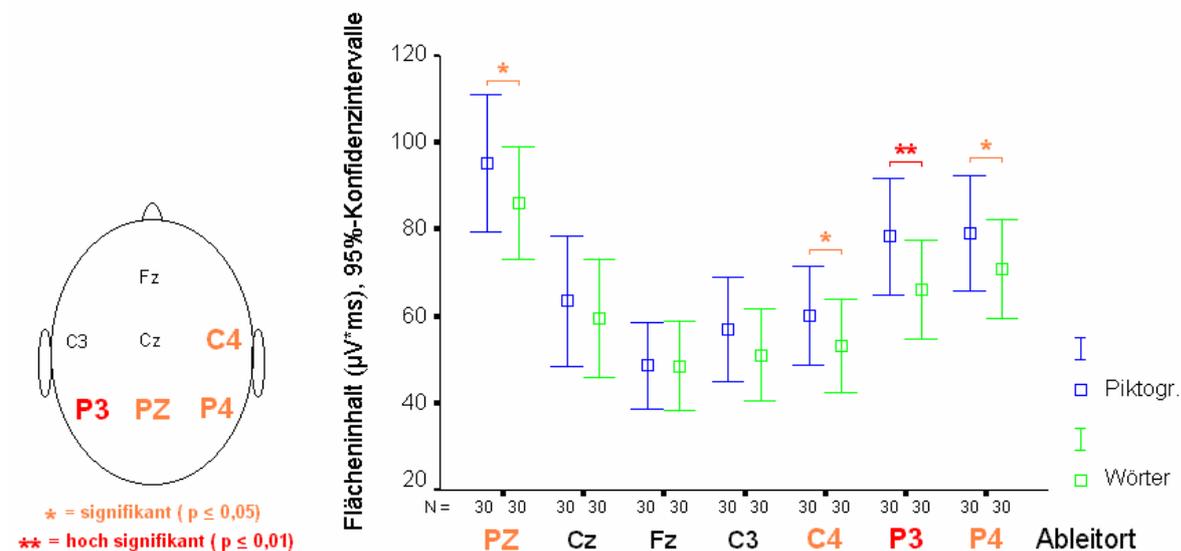


Abbildung 4.24: Flächeninhalte der P-360-Komponente

Das Fehlerbalkendiagramm der **P-360-Flächen** in **Abbildung 4.24** bietet ein ähnliches Bild, wie das der Amplituden der **P-360-Maxima**: Zunahme der Werte von frontal nach parietal, sowie Zunahme der Unterschiede zwischen den Stimuluskategorien, wobei die Piktogramme

immer die größeren Werte ausprägen. Signifikanzen finden sich in allen parietalen Ableitungen und in C4. In P3 werden die Unterschiede sogar hoch signifikant.

4.5.3.3 Flächenschwerpunkte

Ganz ähnlich zeigen sich die Amplituden der Flächenschwerpunkte. Wie bei den Maxima-Amplituden bilden die Piktogramme-Kurven in C4 und P3 hoch-signifikant und in Pz signifikant größere Werte aus als die Wörter-Kurven. Jedoch werden hier die Unterschiede auch in C3 signifikant, was dort nicht der Fall ist. Dafür fehlt hier in P4 die Signifikanz. (Abbildung 4.25)

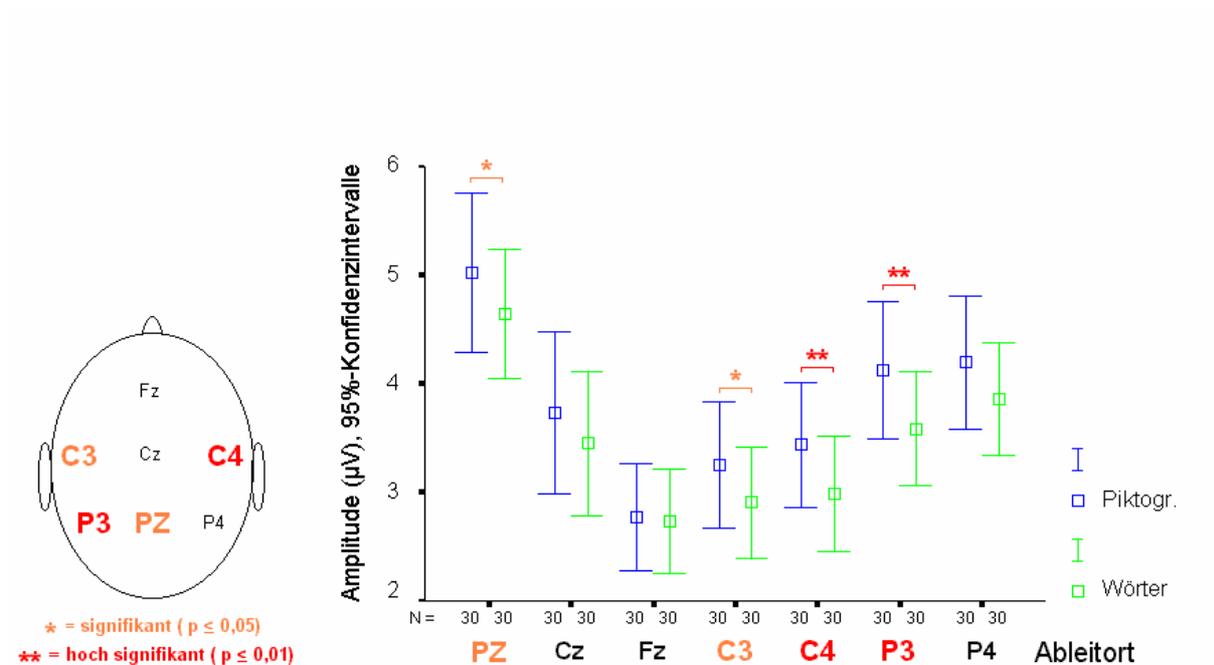


Abbildung 4.25: Amplituden der Flächenschwerpunkte der P-360-Komponente

Die Streuung der Latenzen der Flächenschwerpunkte ist naturgemäß geringer als die der Maxima. Dennoch finden sich hier zwei Elektrodenpositionen mit hoch-signifikanten Unterschieden: In Fz liegen die Piktogramme-Schwerpunkte etwa 8 Millisekunden vor denen der Wörter. In C4 beträgt die durchschnittliche Differenz etwa 5 Millisekunden (Abbildung 4.26).

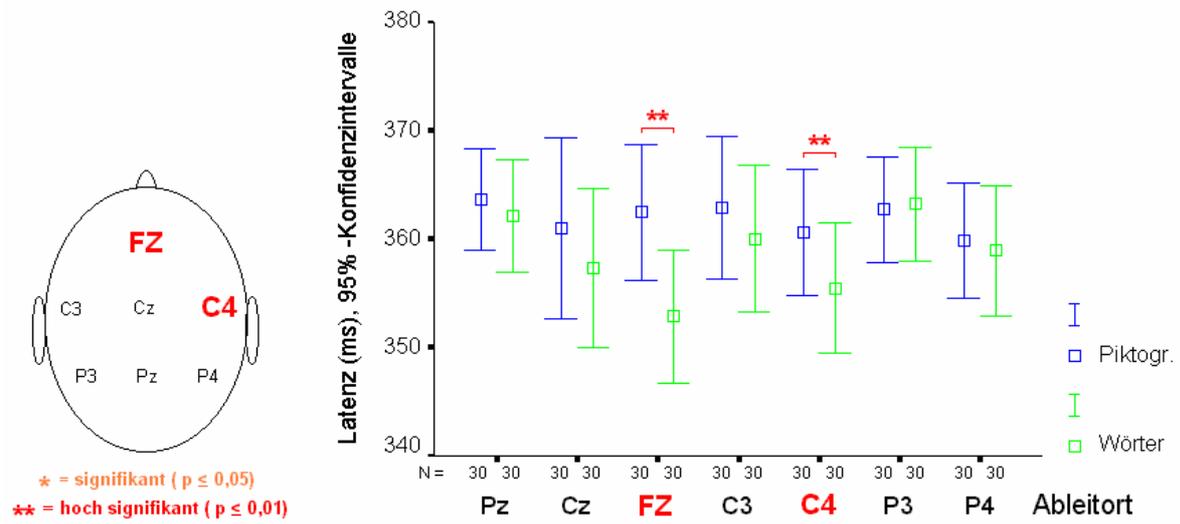


Abbildung 4.26: Latenzen der Flächenschwerpunkte der P-360-Komponente

4.5.4 Die P-510-Komponente

Das Zeitintervall der **P-510-Komponente** beginnt bei 450 Millisekunden und endet bei 750 Millisekunden. So liegen die Grenzen jeweils am Beginn und am Ende der „Wannenstruktur“ bei den Piktogrammen (vgl. Kapitel 4.2.1) und der „Bogenstruktur“ bei den Wörtern (vgl. Kapitel 4.3.1). Außerdem fallen die Intervallgrenzen mit der **N-450-Komponente** einerseits zusammen und mit dem Übergang der „steilen“ parietalen in die „flachen“ parietalen Kurvenabschnitte, bzw. der Konvergenz und anschließenden Kreuzung der frontalen mit den centralen Kurven andererseits (**Abbildung 4.27**).

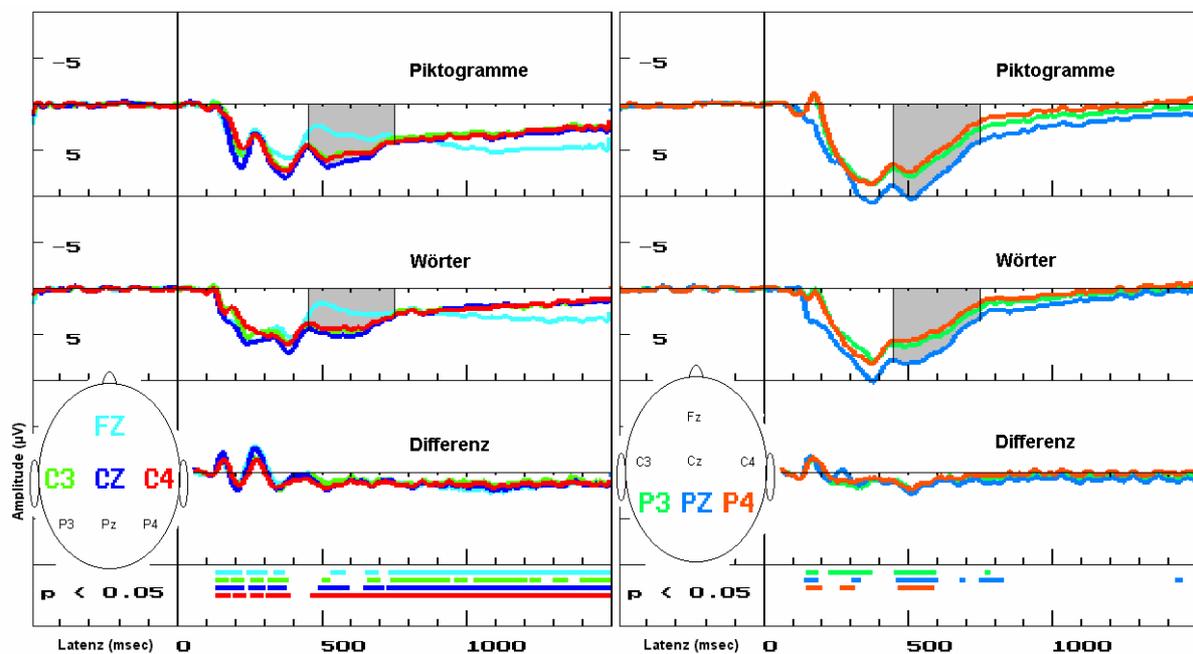


Abbildung 4.27: Kurvenübersicht: Zeitintervall zur Berechnung der P-510-Parameter (grau unterlegt)

4.5.4.1 Maxima

Die Amplitudenmaxima der **P-510-Komponente** in **Abbildung 4.28** zeigen auf den ersten Blick das gleiche topographische Muster, wie die der **P-220-** und der **P-360-Komponente**: Die Amplituden sowie die Unterschiede zwischen den Stimuluskategorien werden von frontal

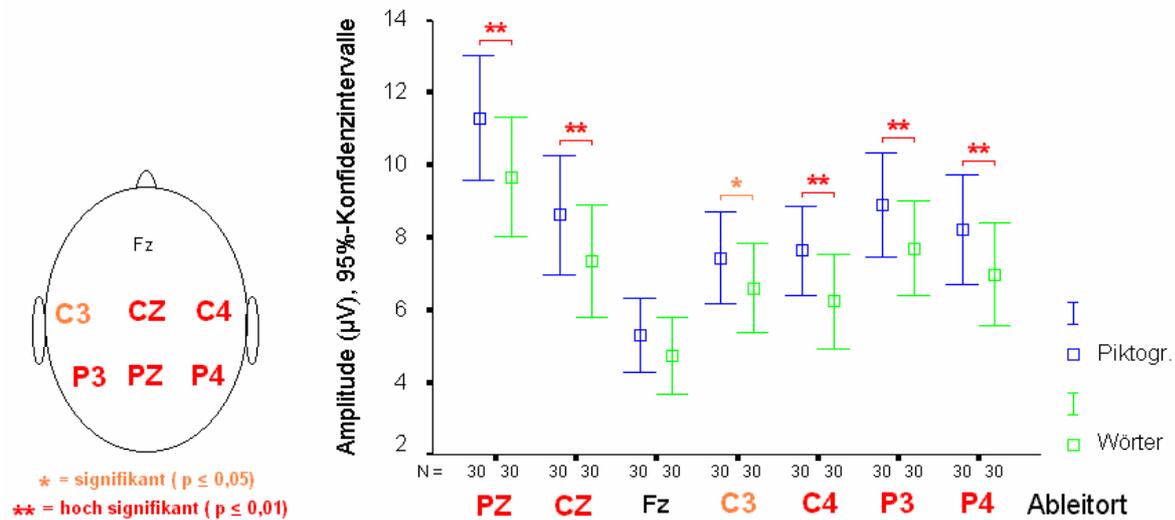


Abbildung 4.28: Amplituden der Maxima der P-510-Komponente

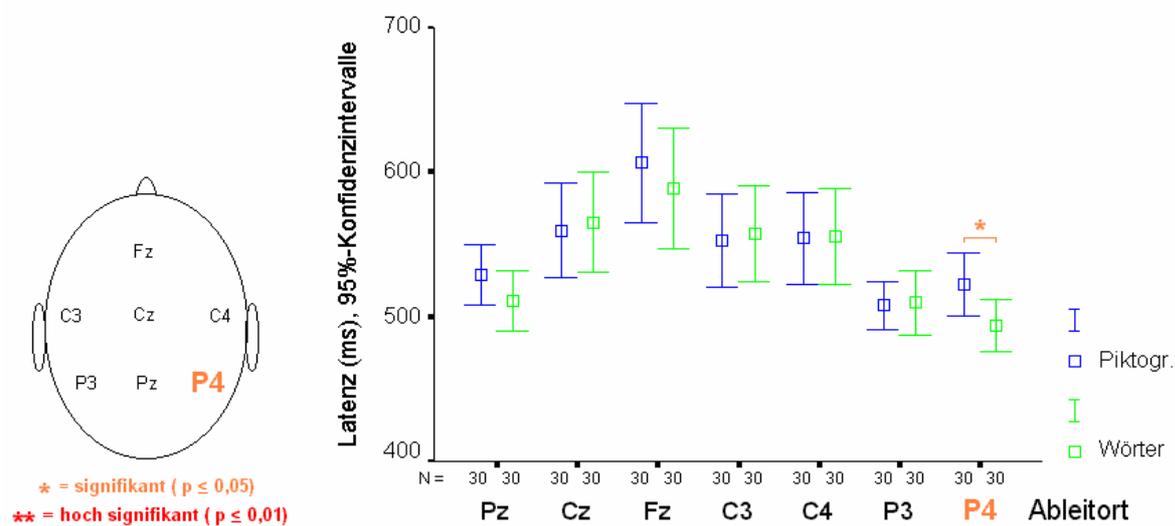


Abbildung 4.29: Latenzen der Maxima der P-510-Komponente

nach parietal hin größer und überall, wo sich Piktogramme und Wörter unterscheiden, prägen die Piktogramme größere Werte aus. Das topographische Gebiet, wo die Maxima der

Piktogramme-Kurven signifikant größer sind als die der Wörter-Kurven hat sich in der **P-510-Komponente** jedoch deutlich ausgeweitet und umfasst hier alle centralen und alle parietalen Ableitorte. Bis auf C3 werden die Unterschiede überall sogar hoch-signifikant.

In **Abbildung 4.29** sind die Latenzen der Maxima dargestellt. Hier sieht man, dass es auch bezüglich der Latenz einen fronto-centro-parietalen Gradienten gibt: die parietalen Ableitungen erreichen nicht nur ein durchschnittlich höheres Maximum, sie erreichen es auch schneller als die centralen Ableitungen, die ihrerseits „schneller und größer“ sind als Fz. Die Unterschiede zwischen den Stimuluskategorien sind hier uneinheitlich. In P4 können wir eine Signifikanz beobachten. Die Wörter-Maxima werden hier durchschnittlich etwa 30 Millisekunden früher erreicht als die Piktogramme-Maxima.

4.5.4.2 Flächeninhalte

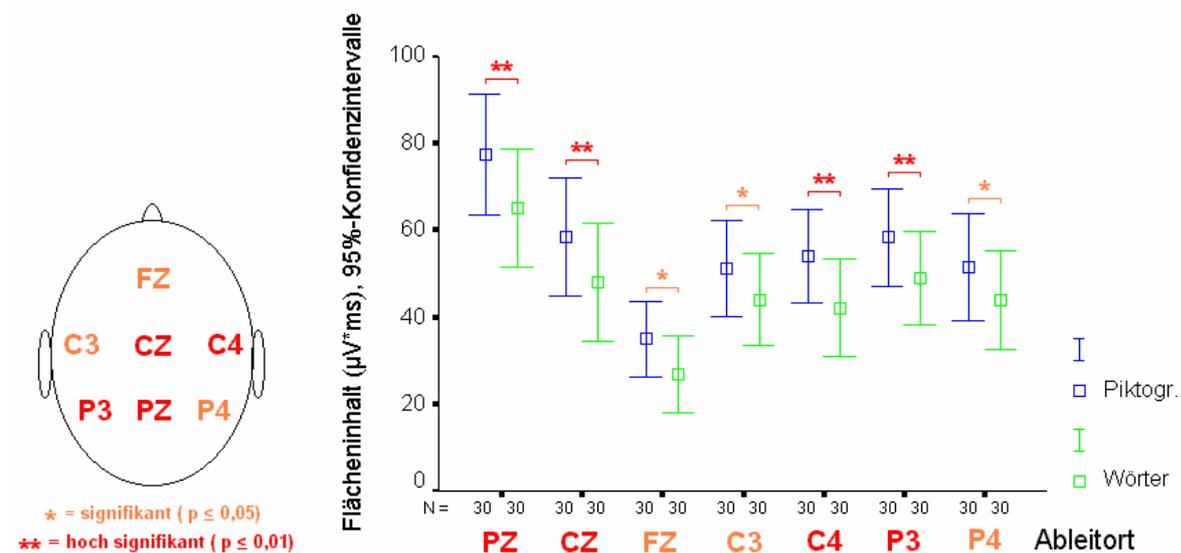


Abbildung 4.30: Flächeninhalte der P-510-Komponente

Ganz ähnlich wie bei den Maxima-Amplituden sieht es bei den Flächeninhalten der **P-510-Komponente** in **Abbildung 4.30** aus. Hier unterscheiden sich sogar in Fz die Piktogramme signifikant von den Wörtern. P4 wird jedoch auch „nur“ signifikant.

4.5.4.3 Flächenschwerpunkte

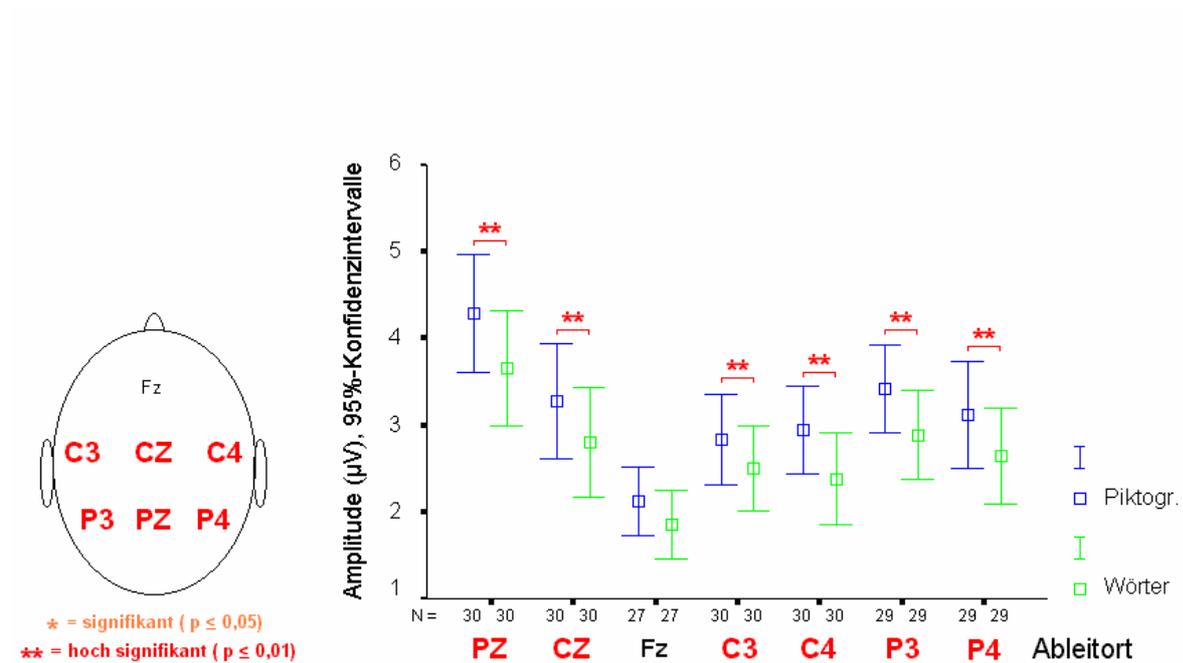


Abbildung 4.31: Amplituden der Flächenschwerpunkte der P-510-Komponente

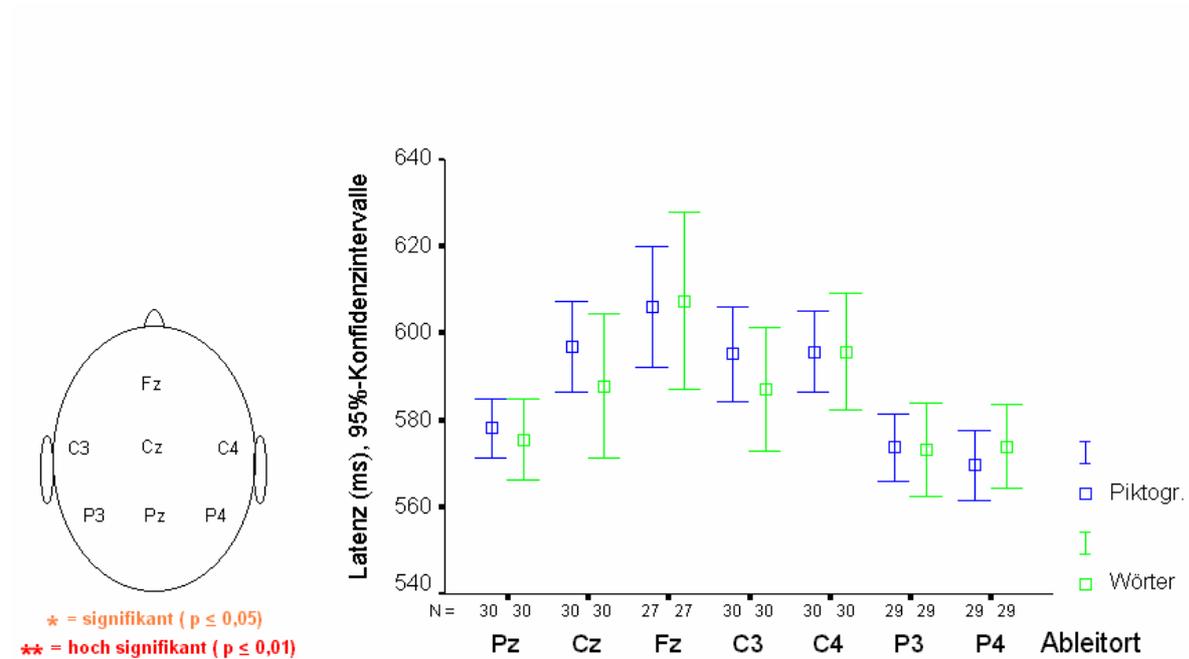


Abbildung 4.32: Latenzen der Flächenschwerpunkte der P-510-Komponente

Auch die Amplituden der Flächenschwerpunkte bieten ein sehr ähnliches Bild (**Abbildung 4.31**): Hier sind in alle centralen und parietalen Ableitungen die Piktogramme-Werte hochsignifikant größer als die Wörter-Werte.

Auch bezüglich der Latenzen (**Abbildung 4.32**) ähneln die Flächenschwerpunkte den Maxima. Zu Signifikanzen kommt es hier jedoch nicht.

4.5.5 Die Späte Positive Komponente

Die **Späte Positive Komponente** unserer Ableitungen umfasst den Abschnitt von 750 Millisekunden bis zu Ende der aufgezeichneten Zeit bei 1500 Millisekunden (**Abbildung 4.29**).

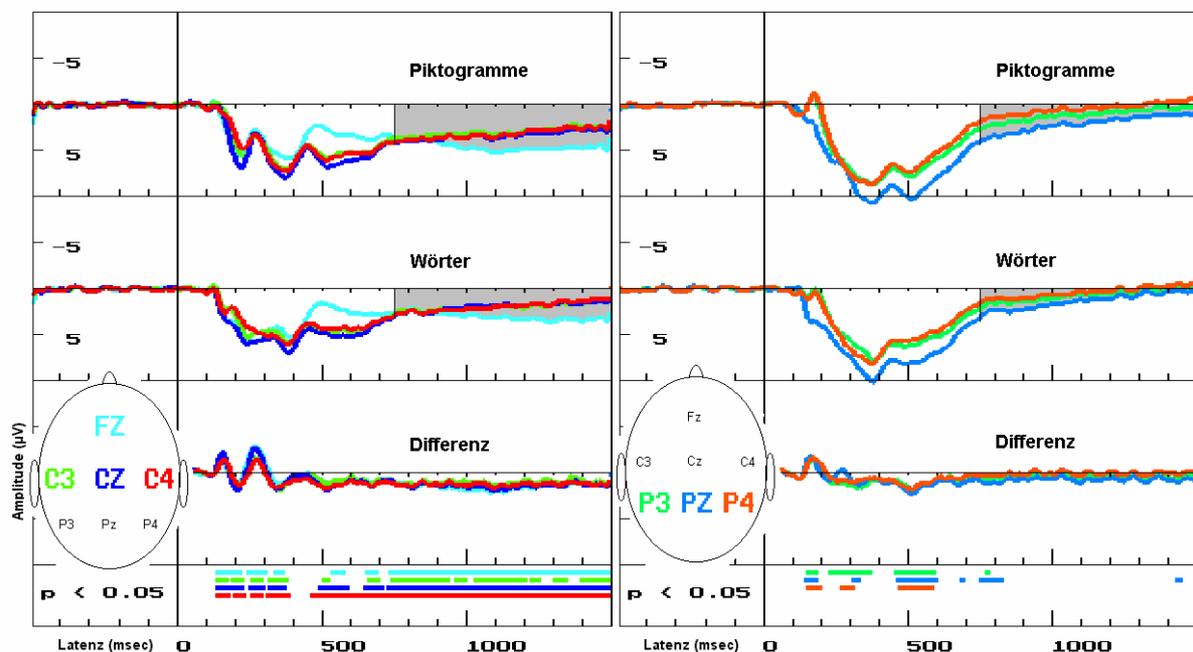


Abbildung 4.33: Kurvenübersicht: Zeitintervall zur Berechnung der Parameter der Späten Positiven Komponente (grau unterlegt)

Es handelt sich in allen Ableitungen um einen sehr flach verlaufenden Kurvenabschnitt, wobei sich hier der oben beschriebene „fronto-centro-parietale Gradient“ umgekehrt zu haben scheint: Die parietalen Kurven kehren nach ihrer großen Positivierung in sehr flachem Verlauf zur Nulllinie zurück, die centralen Kurven bewegen sich ebenfalls auf die Nulllinie zu, bleiben jedoch im deutlich positiven Bereich während Fz sich im positiven Bereich weiter von der Nulllinie entfernt. Würde man alle Kurven in einem Diagramm übereinander projizieren, könnte man bei etwa 750 Millisekunden einen „universellen Kreuzungsbereich“ finden: Die parietalen Kurven würden dort die centralen Kurven und Fz von „positiver“ nach „weniger positiv“ kreuzen, die frontale Kurve würde dagegen die centralen und die parietalen Kurven in entgegengesetzter Richtung kreuzen.

4.5.5.1 Maxima

In den Amplituden der Maxima spiegeln sich diese Zusammenhänge wieder (**Abbildung 4.34**): Fz erreicht die höchsten Werte, es folgen die centralen und schließlich die parietalen Ableitorte, wobei hier die medianen Orte positiver sind als die lateralen.

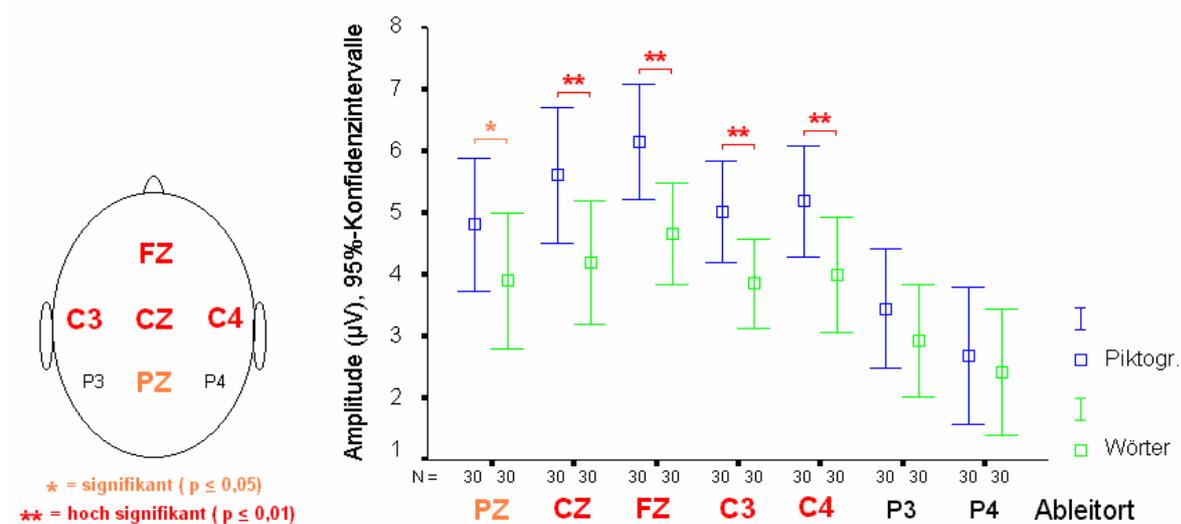


Abbildung 4.34: Amplituden der Maxima der Späten Positiven Komponente

Wie schon bei den anderen Komponenten gesehen, prägen auch hier die Orte mit den größten Amplituden die stärksten Unterschiede zwischen den Stimuluskategorien aus, wobei die Piktogramme die größeren Werte induzieren. Hoch signifikant werden diese hier im gesamten frontocentralen Bereich, signifikant auch in Pz.

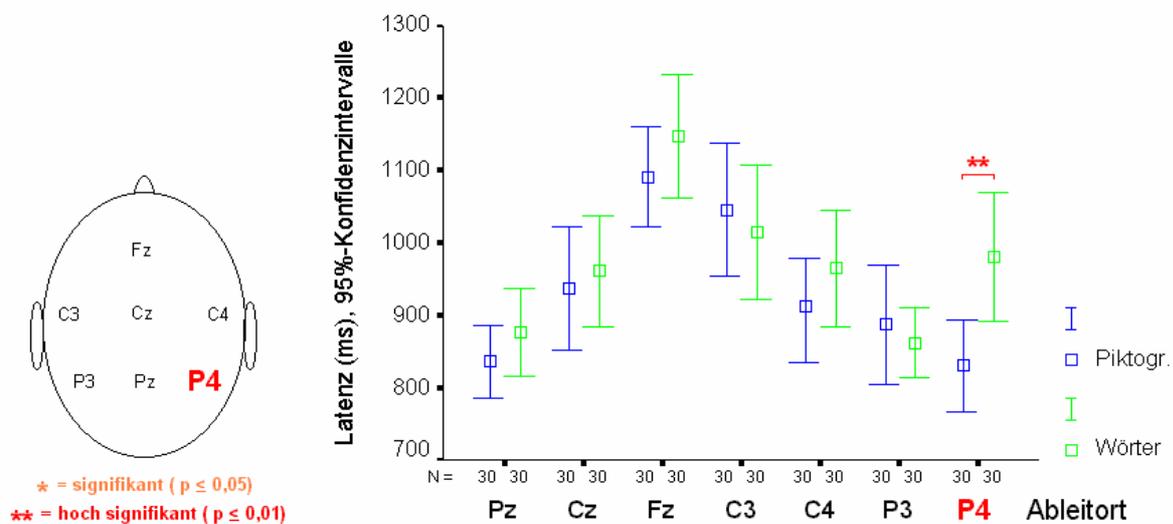


Abbildung 4.35: Latenzen der Maxima der Späten Positiven Komponente

In den Latenzen der Maxima in **Abbildung 4.35** kann man ebenfalls die oben beschriebenen Zusammenhänge wiederfinden: Fz bewegt sich zunächst weiter weg von der Nulllinie, die EKP-Maxima werden spät erreicht. Die centralen Ableitungen bewegen sich flach auf die Nulllinie zu, so dass ihre Maxima im früheren und mittleren Bereich liegen, während die parietalen Kurven, die sich am stärksten auf die Nulllinie zu bewegen, ihre Maxima noch früher erreichen. Die Wörter-Maxima in P4 werden durchschnittlich hoch-signifikant später erreicht als die Maxima der Piktogramme-Kurven dort, was beim Betrachten der Grandaverage-Kurven eher überrascht, jedoch durch die großen interindividuellen Unterschiede und den flachen Kurvenverlauf in diesem Abschnitt gut erklärt werden kann.

4.5.5.2 Flächeninhalte

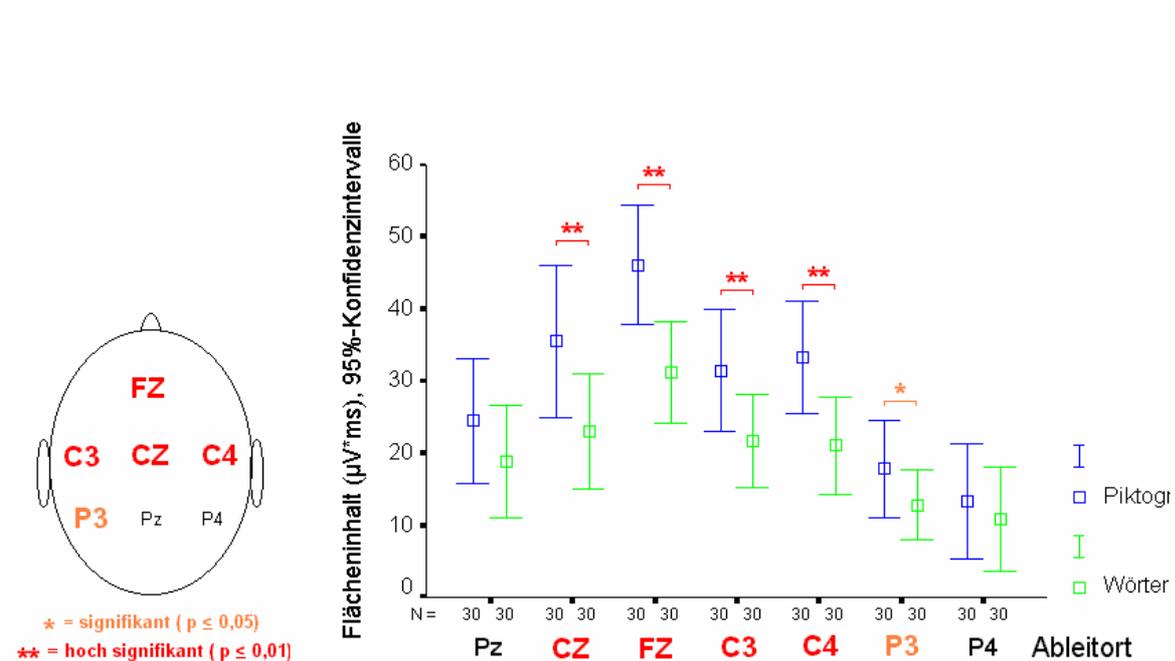


Abbildung 4.36: Flächeninhalte der Späten Positiven Komponente

Wie zu erwarten, spiegeln die Flächenparameter in diesem flachen Kurvenabschnitt sehr deutlich die Charakteristika der einzelnen Ableitungen wieder (**Abbildung 4.36**): Fz erzielt die höchsten Werte, gefolgt von den centralen und den parietalen Orten. Auch hier sind tendenziell die medianen Werte höher als die lateralen, und hohe Werte fallen mit großen Unterschieden hinsichtlich der Stimuluskategorien zusammen. Auch hier prägen die Piktogramme immer die größeren Werte aus. Hoch-signifikant werden diese Unterschiede wieder im gesamten frontocentralen Bereich, in P3 werden sie signifikant.

4.5.5.3 Flächenschwerpunkte

Wie in **Abbildung 4.37** zu sehen ist, entspricht das Verteilungsmuster der Amplituden der Flächenschwerpunkte im Bereich der **Späten Positiven Komponente** exakt dem der Flächeninhalte. Das Verteilungsmuster der Latenzen (**Abbildung 4.38**) entspricht etwa dem der Latenzen der Maxima, jedoch zeigen sich hier nirgendwo signifikante Unterschiede zwischen den Stimuluskategorien.

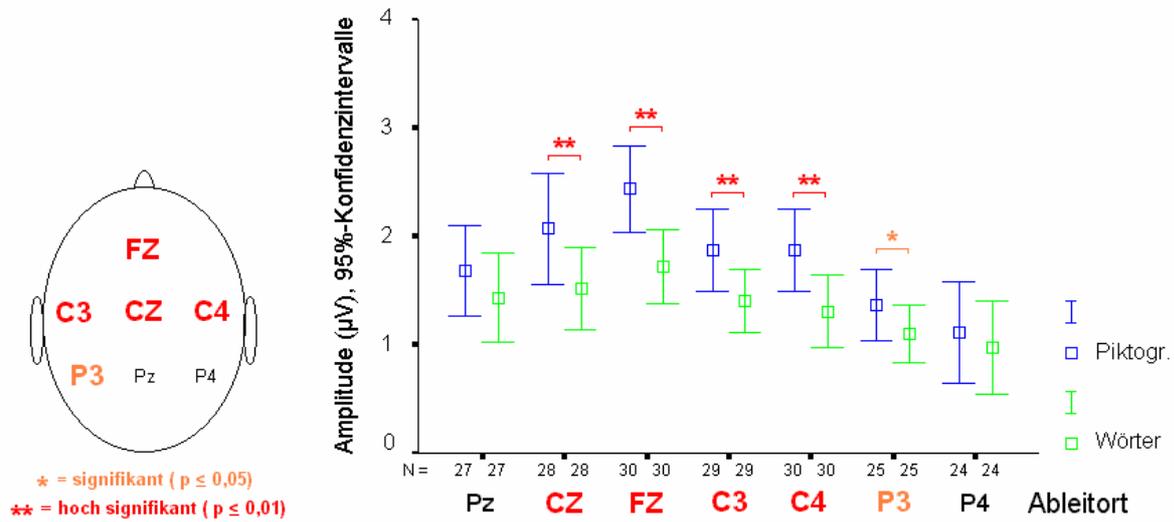


Abbildung 4.37: Amplituden der Flächenschwerpunkte der Späten Positiven Komponente

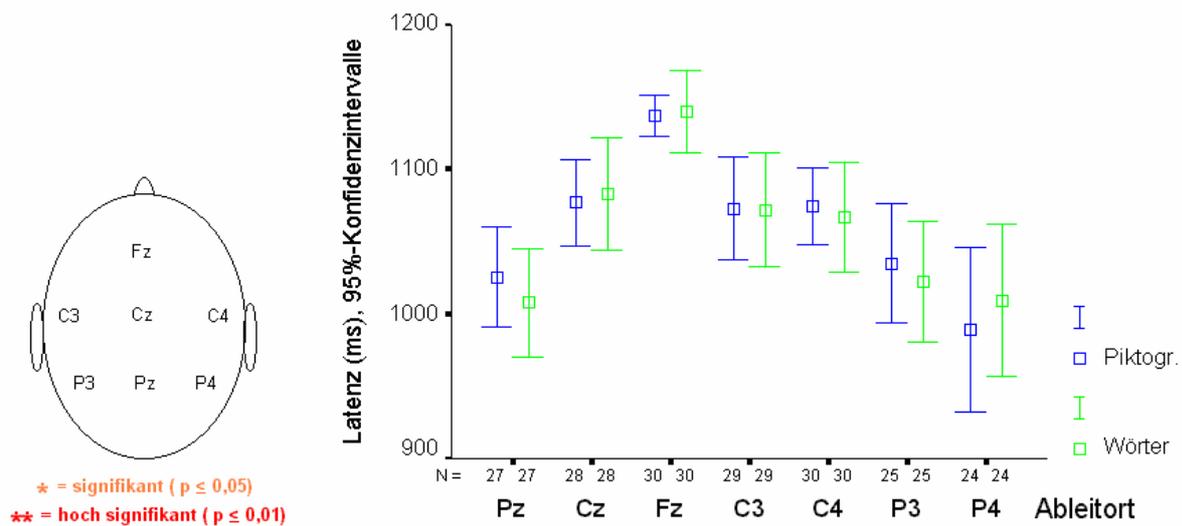


Abbildung 4.38: Latenzen der Flächenschwerpunkte der Späten Positiven Komponente

4.5.6 Zusammenfassung: Numerischer Vergleich Piktogramme - Wörter

In diesem Kapitel soll der **zeitliche Verlauf** und die **topographische Verteilung** der Piktogramme-Wörter-Unterschiede in übersichtlichen Diagrammen zusammenfassend dargestellt werden. Für jeden der untersuchten Parameter sind zu diesem Zweck in einer gemeinsamen Abbildung die Kopfdiagramme der untersuchten Kurvenabschnitte in ihrer natürlichen zeitlichen Abfolge aneinander gereiht. Die farbliche Kodierung gibt dabei die Signifikanzniveaus der Piktogramme-Wörter-Unterschiede an¹².

4.5.6.1 Amplituden- und Flächen-Parameter

Bei allen Piktogramme-Wörter-Unterschieden in den Amplituden- und Flächenparametern sind immer die Werte der Piktogramme größer als die der Wörter. Die Abbildungen können also als räumlich-zeitliche Karten der **stärkeren Positivierung der Piktogramme-Kurven gegenüber den Wörter-Kurven** gelesen werden.

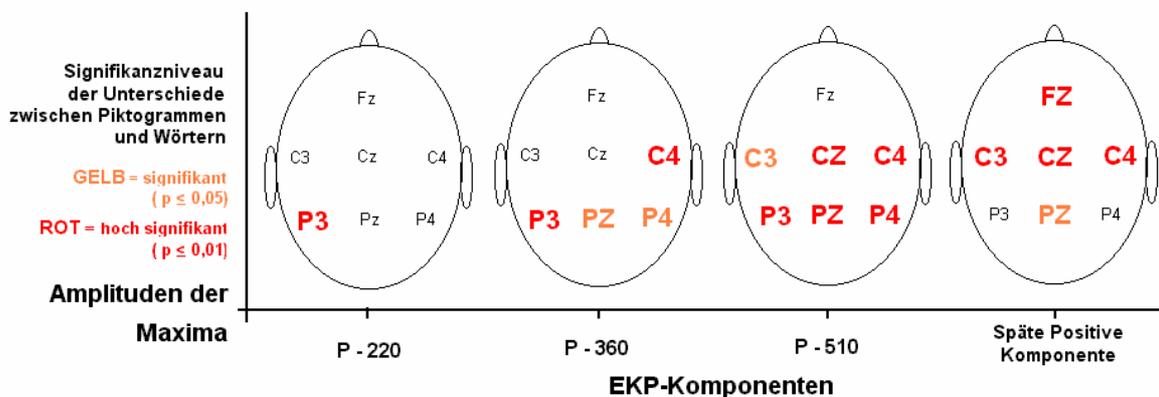


Abbildung 4.39: Bei allen hier dargestellten Parameterunterschieden erreichen die Piktogramme-Kurven höhere Werte als die Wörter-Kurven.

¹² Die Abbildungen geben also an, **wann** (EKP-Komponente) sich die Piktogramme-Parameter **wo** (Ableitort) **mit welcher Wahrscheinlichkeit** (Signifikanzniveau) von den Wörter-Parametern **überzufällig unterscheiden**. Dabei kann man davon ausgehen, dass sich in mindestens **99 von 100** der **rot** markierten Positionen tatsächlich die Piktogramme-Werte systematisch von den Wörter-Werten ($p \leq 0,01$) unterscheiden; in den **gelb** markierten Positionen sind es mindestens **95 von 100** ($p \leq 0,05$), vgl. BLAND, 1996; GLANTZ, 1998.

In **Abbildung 4.39** sind die Unterschiede zwischen den Stimuluskategorien in den Amplituden der Maxima dargestellt. In der **P-220-Komponente** beginnt die stärkere Piktogramme-Positivierung links parietal ($p \leq 0,01$), breitet sich dann in der **P-360-Komponente** nach rechts central aus ($p \leq 0,01$), wobei auch die gesamte restliche Parietal-Region signifikant wird. Im Kurvenabschnitt der **P-510-Komponente** ist dann die stärkere Positivierung der Piktogramme im gesamten centroparietalen Bereich signifikant (C3) oder hoch-signifikant (alle anderen centroparietalen Ableitorte), um sich dann während der **Späten Positiven Komponente** nach frontocentral zu verschieben ($p \leq 0,01$). Nur in Pz bleibt der Unterschied zwischen den Stimulationskategorien signifikant.

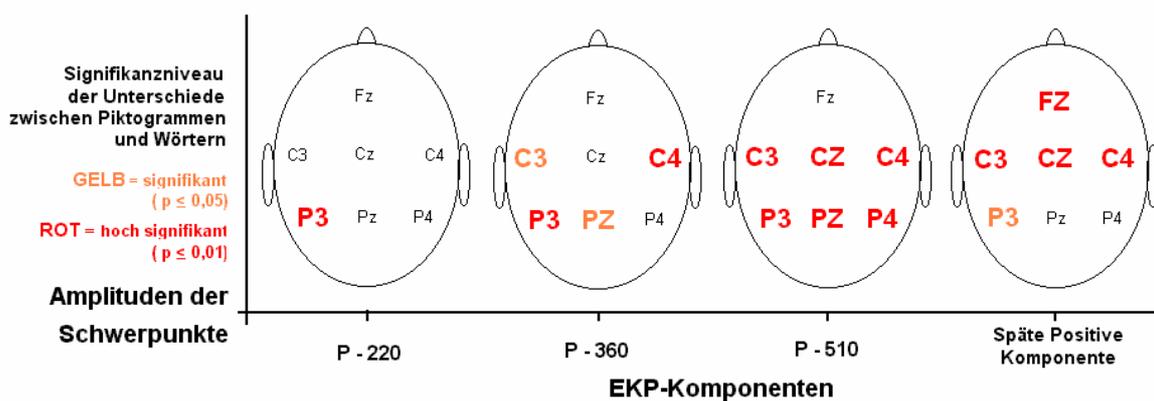


Abbildung 4.40: Bei allen hier dargestellten Parameterunterschieden erreichen die Piktogramme-Kurven höhere Werte als die Wörter-Kurven.

Ganz ähnlich stellen sich die räumlich-zeitlichen Zusammenhänge für die Amplituden der Schwerpunkte dar (**Abbildung 4.40**): Auch hier beginnen die Unterschiede in der **P-220-Komponente** hoch-signifikant in P3, um sich dann in der **P-360-Komponente** - ebenfalls hoch-signifikant - nach C4 auszudehnen. Gleichzeitig werden in den direkten Nachbarableitungen zur linken parietalen Position auch signifikante Unterschiede sichtbar. Während der **P-510-Komponente** ist dann die stärkere Piktogramme-Positivierung in der gesamten centroparietalen Region hoch-signifikant. Im nachfolgenden Kurvenabschnitt der **Späten Positiven Komponente** wandert sie dann in die frontocentrale Region ($p \leq 0,01$), wobei die Unterschiede in den parietalen Ableitorten wieder auf nicht-signifikantes Niveau absinken (außer in P3).

In den Flächeninhalten (**Abbildung 4.41**) zeigen sich zunächst keine signifikanten Unterschiede bezüglich der Stimuluskategorien (**P-220-Komponente**). Erst während der **P-360-Komponente** stellt sich die stärkere Ausprägung der Piktogramme-Flächen hochsignifikant links parietal und signifikant in den anderen parietalen Positionen, sowie in C4 dar. Diese Parameter-Unterschiede breiten sich dann – wie auch bei den oben beschriebenen Amplituden-Parametern – während der **P-510-Komponente** weiter auf den gesamten centroparietalen Bereich aus, hier sogar Fz mit einschließend ($p \leq 0,05$). Ein hochsignifikantes Band zeigt sich von links-parietal über median-centroparietal bis rechts-central. Während der **Späten Positiven Komponente** verschieben sich dann auch die Flächen-Unterschiede nach frontocentral ($p \leq 0,01$), mit einem Verblässen der Signifikanzen parietal (außer P3).

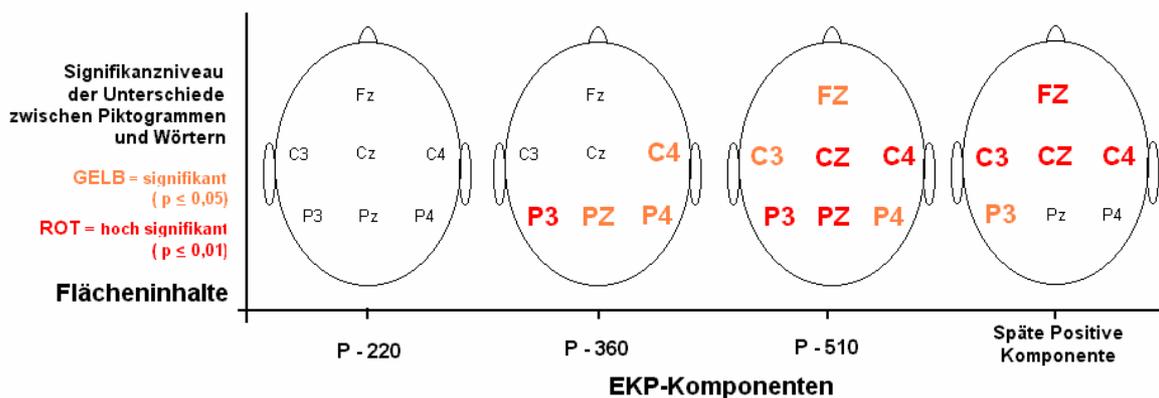


Abbildung 4.41: Bei allen hier dargestellten Parameterunterschieden erreichen die Piktogramme-Kurven höhere Werte als die Wörter-Kurven.

4.5.6.2 Latenz-Parameter

Im Gegensatz zu den Amplituden- und Flächen-Parametern im vorigen Kapitel sind die Piktogramme-Werte der Latenz-Parameter nicht immer größer als die Werte der Wörter-Kurven. Die **Abbildungen 4.42** und **4.43** können deshalb nur angeben, dass in bestimmten Positionen Unterschiede zwischen Piktogrammen und Wörtern anzunehmen sind, nicht jedoch welche Stimuluskategorie die größeren Werte ausprägt.

In **Fz** werden sowohl die Maxima (**Abbildung 4.42**) als auch die Schwerpunkte (**Abbildung 4.43**) der **P-220-Komponente** durchschnittlich hoch-signifikant **später in der Wörter-Kurven erreicht** als in den Piktogramme-Kurven. Während der **P-360-Komponente** ist es dagegen genau umgekehrt (mit $p \leq 0,05$ für die Maxima-Latenzen), d.h. sowohl die Maxima als auch die Schwerpunkte werden **in den Piktogramme-Kurven später** erreicht als in den Wörter-Kurven.

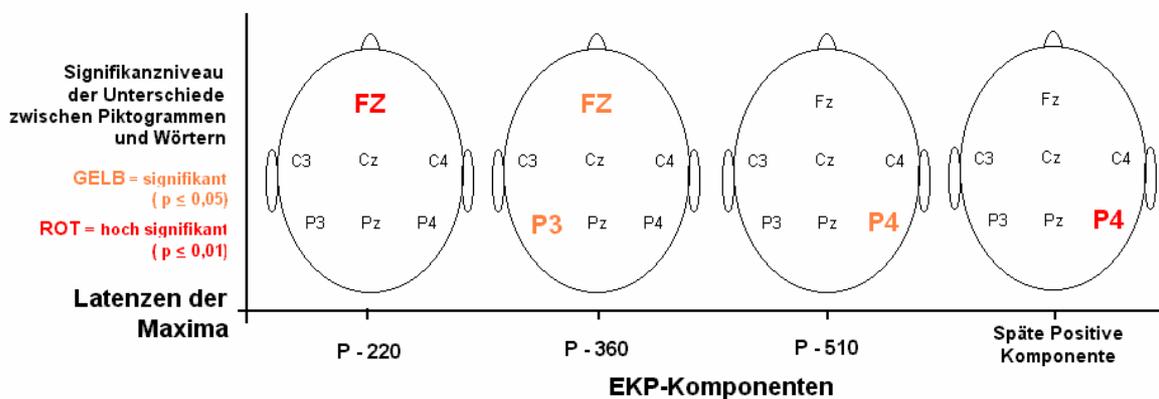


Abbildung 4.42: Die Wörter-Latenzen in Fz sind in P-220 größer als die dortigen Piktogramme-Latenzen. Bei allen anderen hier dargestellten Parameterunterschieden verhält es sich umgekehrt.

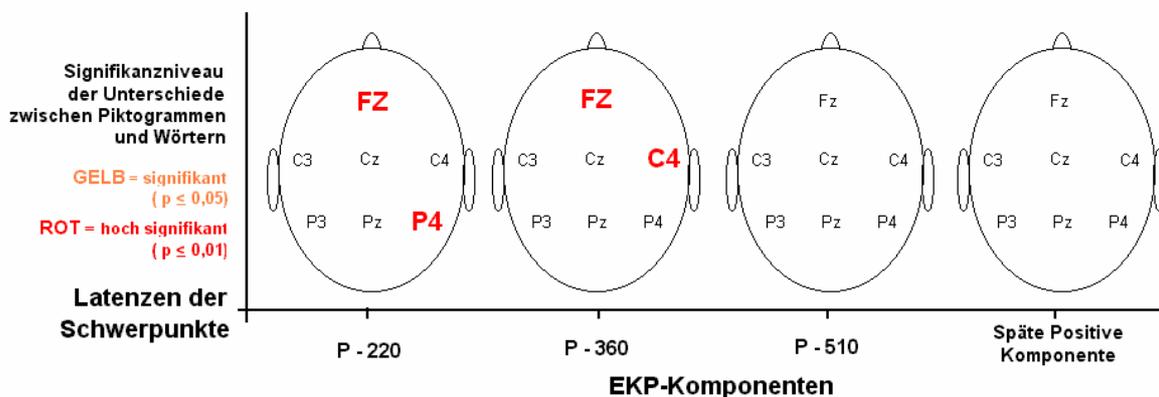


Abbildung 4.43: Die Wörter-Latenzen in Fz sind in P-220 größer als die dortigen Piktogramme-Latenzen. Bei allen anderen hier dargestellten Parameterunterschieden verhält es sich umgekehrt.

In **allen anderen markierten Positionen** werden die Parameter **ebenfalls in den Piktogramme-Kurven später** erreicht als in den Wörter-Kurven. Die Signifikanzen treten jedoch nur vereinzelt und ohne erkennbaren Zusammenhang auf, so dass ein weiteres Herausarbeiten räumlich-zeitlicher Muster hier nicht sinnvoll erscheint.

4.5.6.3 Zusammenfassung: Zeitlich-topographische Parameterübersicht

Bei allen **AMPLITUDEN- UND FLÄCHENPARAMETERN** sind immer **die Werte der Piktogramme größer als die der Wörter**:

- Für die **P-220-Komponente** ist die stärkere Positivierung der Piktogramme-Kurven gegenüber den Wörter-Kurven **punktuell in P3** hoch signifikant (nur Maxima und Schwerpunkte).
- Für die **P-360-Komponente** zeigen alle Amplituden- und Flächenparametern eine **beginnende parietale Generalisierung** der stärkeren Piktogramme-Positivierung, die teilweise auch auf die **lateralen centralen** Ableitungen (rechts stärker als links) übergreift.
- Für die **P-510-Komponente** erreicht die stärkere Positivierung der Piktogramme-EKPs **im gesamtem centroparietalen Bereich generalisiert** (hoch-)signifikante Werte.
- In der **Späten Positiven Komponente** wandert die generalisierte stärkere Piktogramme-Positivierung in den **frontocentralen Bereich**.

Bei den **LATENZ-PARAMETERN** sind die Werte der Wörter-Kurven in der **P-220-Komponente** größer (in **Fz** für Maxima und Schwerpunkte hoch signifikant). Alle anderen signifikanten Unterschiede zeigen **größere Piktogramme-Latenzen**, die jedoch bis auf **Fz** in der **P-360-Komponente** niemals Maxima und Schwerpunkte gleichzeitig betreffen und auch **sonst kein interpretierbares Muster** ausprägen.

4.6 Elektroofokulogramme

Neben den Ereigniskorrelierten Potentialen wurde bei jedem Probanden auch ein **vertikales Elektroofokulogramm** am rechten Auge abgeleitet. Auf Einzelsignalebene konnten so artefaktkontaminierte Potentialkurven ausgeschlossen werden und damit eine Verfälschung der ausgewerteten Ereigniskorrelierten Potentiale durch überlagernde „Fremdpotentiale“ minimiert werden. Ausschlusskriterium waren EOG-Artefakte mit einer Amplitude von mehr als 50 μV , sowie alle in den Potentialkurven sichtbaren Muskel- oder Bewegungsartefakte.

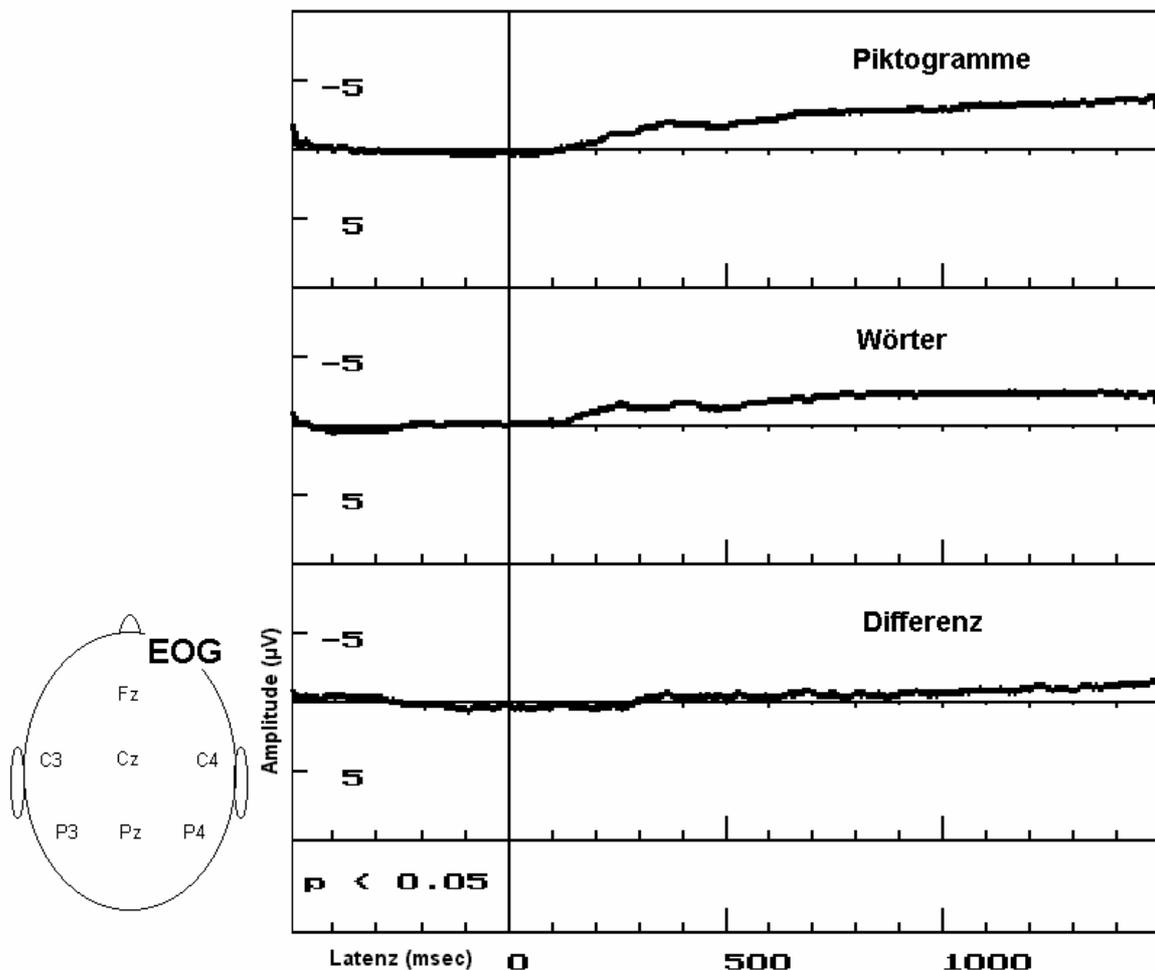


Abbildung 4.44: Elektroofokulogramm: Vergleich Piktogramme – Wörter

Abbildung 4.44 zeigt die Grandaverages der EOG-Ableitungen derjenigen Einzelmessungen, die schließlich in die Berechnung der EKP aufgenommen wurden. Die größeren Artefakte, die zum Ausschluss aus der EKP-Berechnung führten sind also auch hier nicht mit eingerechnet.

Die **Piktogramme-Kurve** zeigt eine flach ansteigende Negativierung über den gesamten Post-Trigger-Messbereich. Ein erstes Extremum wird bei etwa 350 ms erreicht, danach flacht die Kurve bei 500 ms etwas ab um dann bis zum Ende der Messzeit weiter stetig negativer zu werden. Bei 1500 ms beträgt ihre Potential etwa $-3 \mu\text{V}$.

Die **Wörter-Kurve** zeigt ebenfalls einen flachen Verlauf im negativen Bereich. Von 0 bis 800 ms steigt sie von der Baseline auf etwa $-2,5 \mu\text{V}$ an. Dabei bildet sie bei 300 ms und bei 500 ms jeweils eine flache Senke. Im späten Bereich nach 800 ms bleibt die Kurve konstant bei etwa $-2 \mu\text{V}$.

Die **Differenzkurve** verläuft folglich fast im Nulllinienniveau. In der zweiten Hälfte des Post-Trigger-Verlaufs zeigt sie eine leichte Negativierung bis etwa $-1 \mu\text{V}$. Die Differenz wird jedoch an keiner Stelle signifikant.

Damit kann eine systematische Verfälschung des Vergleichs der Piktogramme-Kurven mit den Wörter-Kurven durch okuläre oder sonstige Artefakte sehr unwahrscheinlich gemacht werden.

4.7 Begleitevaluation

Die Begleitevaluation dieser Studie bestand aus einer standardisierten Probandenbefragung mit Hilfe von **visuellen Analogskalen (VAS)**. Gefragt wurde nach der kognitiven und der konzentrativen Beanspruchung während der Untersuchung. Die Fragen waren wie folgt formuliert:

1. „Wie schwierig fanden Sie die Aufgabe?“

2. „Wie schwierig fanden Sie es, bis zum Schluss konzentriert zu bleiben?“

Die Endpunkte der visuellen Analogskalen waren jeweils „gar nicht schwierig“ (0 cm) und „sehr schwierig“ (10 cm). **Abbildung 4.45** zeigt die Häufigkeitsverteilung der Antworten auf die erste Frage, die Aufschluss über die kognitive Beanspruchung geben soll.

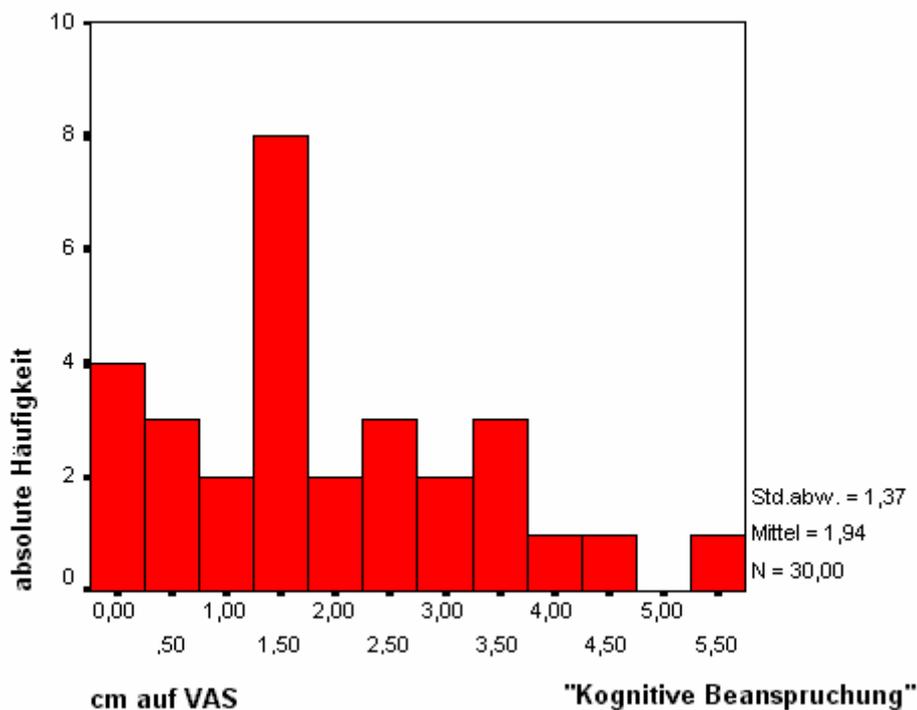


Abbildung 4.45: Häufigkeitsverteilung der Antworten auf der visuellen Analogskala (0-10 cm) bei der Frage nach der „Schwierigkeit der Aufgabe“

Die Antworten streuen von 0,1 bis 5,6. Der Median liegt bei 1,7. Der Mittelwert beträgt 1,94 und die Standardabweichung 1,37. Die Schwierigkeit der Aufgabe wurde also als eher leicht empfunden, die kognitive Beanspruchung war damit eher niedrig.

Die Häufigkeitsverteilung der Antworten auf die Frage nach der konzentrativen Beanspruchung ist in **Abbildung 4.46** dargestellt.

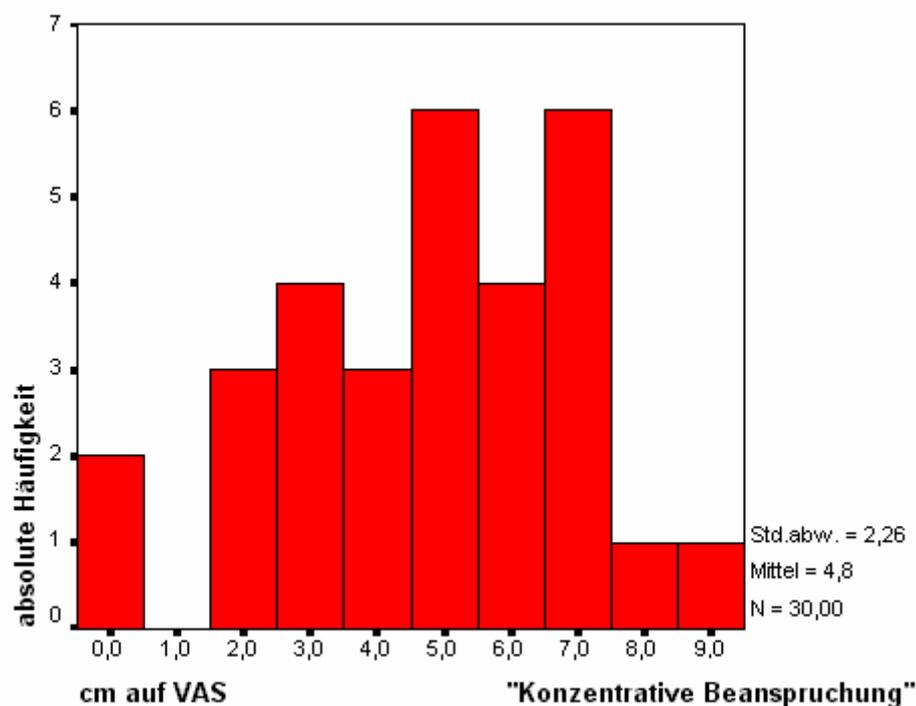


Abbildung 4.46: Häufigkeitsverteilung der Antworten auf der visuellen Analogskala (0-10 cm) bei der Frage nach der „Schwierigkeit, bis zum Schluss konzentriert zu bleiben“

Hier reichen die Antwortwerte von 0,0 bis 8,9. Der Median liegt bei 5,1. Der Mittelwert beträgt hier 4,8, die Standardabweichung 2,26. Die konzentration Beanspruchung wurde also als deutlich höher eingestuft als die kognitive Beanspruchung, wobei die meisten Probanden sie etwa „mittelschwerig“ fanden.

Abbildung 4.47 zeigt die Mittelwerte der Antworten auf die beiden Fragen im Vergleich. Dargestellt sind auch die 95% - Konfidenzintervalle der Mittelwerte.

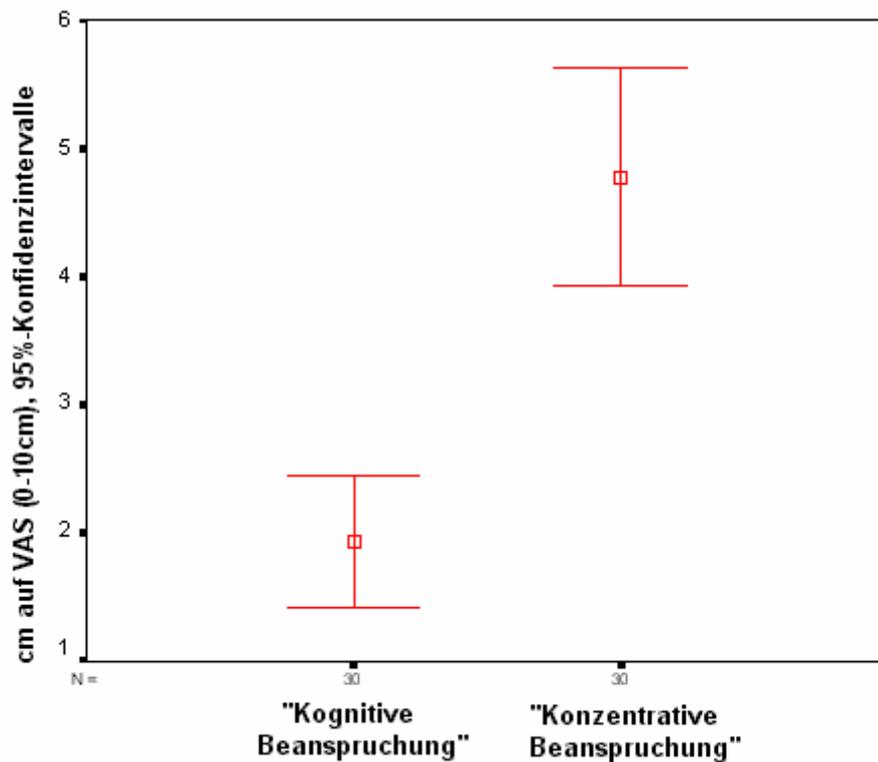


Abbildung 4.47: Vergleich der Mittelwerte der Antworten auf die beiden Fragen

Die für „kognitive Beanspruchung“ angegebenen Werte liegen im Mittel hoch signifikant niedriger als die für „konzentrierte Beanspruchung“ ($p \leq 0,01$ im Wilcoxon-Test für unverbundene Stichproben). Wenn man davon ausgeht, dass den VAS-Antworten zu beiden Fragen eine ähnliche „innere Skalierung“ zugrunde liegt (vgl. MYLES et al., 2000; GALLAGHER et al., 2002), könnte man daraus folgern, dass die Probanden die Schwierigkeit, die Rechenaufgabe zu lösen, mit großer Wahrscheinlichkeit im Mittel tatsächlich als geringer empfanden, als die Schwierigkeit, bis zum Ende der Untersuchung konzentriert zu bleiben.

5 Diskussion

5.1 Methodische Qualität und Praktikabilität des Settings

5.1.1 Beschaffenheit der Probandengruppe

Für die Auswahl der einzelnen Probanden und die Zusammensetzung der Probandengruppe war v.a. ihre geplante Funktion als Referenzgruppe „junger, psychiatrisch gesunder Erwachsener“ für den Vergleich mit möglichst vielen Alters- und Erkrankungsgruppen maßgebend. Aus dieser Funktion ergeben sich zwei Anforderungen, die sich teilweise widersprechen: Einerseits ist eine möglichst große Homogenität der Gruppe wünschenswert, damit die interindividuelle Variabilität der gemessenen EKP-Kurven nicht unnötig vergrößert wird (PICTON et al., 2000). Andererseits erfordert eine solche Referenzgruppenfunktion auch eine gewisse „Repräsentativität“ bezüglich der Grundgesamtheit, die sie vertreten soll (vgl. BORTZ & DÖRING, 2002). Es war deshalb unser Bestreben, mit Augenmaß einen Mittelweg zu finden, der die Gruppe einerseits möglichst „repräsentativ“ sein lässt, andererseits ihre Homogenität nicht unbedacht gefährdet.

Das Ergebnis war eine Gruppe mit 30 in die Auswertung eingehenden Probanden: 15 Frauen und 15 Männer, alle rechtshändig und im Besitz der Hochschlureife, alle zwischen 20 und 29 Jahre alt, alle mit leerer psychiatrisch-neurologischer Anamnese und alle ohne aktuellen Einfluss psychotroper Substanzen oder besonderer Stresssituationen, alle mit normaler Sehstärke (ggf. durch Brille oder Kontaktlinsen korrigiert), alle zum Zeitpunkt der Untersuchung gut ausgeschlafen und nicht übermüdet.

Die von uns untersuchte Probandengruppe ist mit 30 Personen relativ groß. Die in der Literatur berichteten Gruppengrößen sind häufig erheblich kleiner. HEINZ & EMSER verglichen 1987 z.B. die durch kompetitive visuelle Stimulation hervorgerufenen P-300-Komponenten von 12 schizophrenen Patienten mit denen von 10 gesunden Probanden (HEINZ & EMSER, 1987), HERMANN et al. berichteten 1999 über Ereigniskorrelierte Potentiale, die sie bei sechs Frauen und vier Männern bei einer visuellen Klassifikationsaufgabe maßen (HERMANN et al., 1999). Der Vorteil solch kleiner Gruppen ist häufig die größere Homogenität, ihr Nachteil die verringerte Verallgemeinerbarkeit im

Vergleich zu größeren Gruppen (PICTON et al., 2000). Für unsere Zwecke überwog nach unserer Einschätzung der Vorteil einer größeren und dadurch „repräsentativeren“ Gruppe.

Aus dem gleichen Grunde schlossen wir Frauen und Männer ein. Um einen geschlechterabhängigen Störfaktor auszuschließen bezogen wir Frauen und Männer in gleicher Anzahl ein (vgl. PICTON et al., 2000) und achteten darauf, dass sich auch die Altersstrukturen zwischen den Geschlechtern nicht wesentlich unterscheiden. Da bekannt ist, dass viele EKP-Komponenten sich mit dem Alter verändern (z.B. TAYLOR, 1993; TAYLOR & POURCELOT, 1995; FJELL & WALHOVD, 2003), legten wir auch hier Wert auf die Kontrolle dieser möglichen Störgröße. In der Leitlinie der SOCIETY FOR PSYCHOPHYSIOLOGICAL RESEARCH von 2000 wird die „normal adult age range“ für EKP-Untersuchungen die Altersspanne vom 18. bis zum 40. Lebensjahr angegeben (PICTON et al., 2000). Da es aber auch innerhalb dieser Altersspanne signifikante altersabhängige EKP-Differenzen geben kann, weisen die Autoren dieser Leitlinie auf die Möglichkeit hin, bei großen Altersdifferenzen und großer interindividueller Variabilität auch innerhalb dieser Altersspanne das Alter der Probanden als Kovariate zu behandeln oder eine Altersstratifizierung der Gruppen vorzunehmen (PICTON et al., 2000).

Die für die vorliegende Arbeit untersuchten Frauen und Männer waren alle zwischen 20 und 29 Jahre alt. Dabei betrug das durchschnittliche Alter der Frauen 23,9 Jahre (Standardabweichung 2,0 Jahre) und das durchschnittliche Alter der Männer 24,3 Jahre (Standardabweichung 2,8 Jahre). Damit lagen alle Probanden nicht nur innerhalb der empfohlenen Altersspanne, sondern diese Altersverteilung ist auch so homogen, dass eine gesonderte Altersstratifizierung nicht sinnvoll erschien. Andererseits stellt die Gruppe der untersuchten Probanden mit dieser Altersstruktur und Geschlechterverteilung trotzdem eine recht breite Repräsentation der Grundgesamtheit „junge, psychiatrisch gesunde Erwachsene“ dar.

Im Hinblick auf die untersuchten kognitiven Vorgänge kann davon ausgegangen werden, dass auch der „Trainingszustand“ im Umgang mit bedeutungstragenden Zeichen (z.B. Schriftzeichen oder Piktogramme) eine wichtige Einflussgröße darstellt (PICTON et al., 2000). Aus diesem Grunde haben wir auf ein Mindestmaß einheitlicher Schulbildung geachtet

und nur Probanden mit Hochschulreife in die Untersuchung eingeschlossen (mindestens 11 Jahre allgemeinbildender Unterricht).

Ein weiterer Faktor, der die Ereigniskorrelierten Potentiale beeinflussen kann ist die Händigkeit. Der konkrete Einfluss der Händigkeit auf die EKP-Kurven ist bei der von uns verwendeten Aufgabestellung schwer abzuschätzen, da bei sprachbezogenen Aufgabenstellung sowohl von Unterschieden in den EKP-Kurven in Abhängigkeit von der Händigkeit berichtet wurde (BRUNSWICK & RIPPON, 1994), als auch von wiederholt nachgewiesenen diesbezüglichen „Null-Effekten“ (RUGG, 1985; BARRETT & RUGG, 1989). Aus diesem Grunde haben wir uns dafür entschieden, nur Probanden in die Untersuchung einzuschließen, die sich mit dem Edinburgh Inventory (OLDFIELD, 1971) eindeutig als „Rechtshänder“ erwiesen, d.h. mindestens acht der zehn Items mit „rechts“ beantworteten. Neben einer besseren Homogenität der untersuchten Gruppe ist somit auch gewährleistet, dass die so gebildete Probandengruppe auch als Referenzgruppe für Untersuchungen zum Einfluss der Händigkeit zu Verfügung steht.

5.1.2 Auswahl und Präsentation der Stimuli

Als visuelle Stimuli wurden 54 Piktogramme, 54 Wörter und 54 Zahlen gezeigt. Die Piktogramme und die Wörter bildeten dabei die für die Untersuchung relevanten Reize. Die Zahlen waren für die Probanden die Zielreize. Sie dienten v.a. dazu, über eine an sie gekoppelte Kopfrechenaufgabe die Aufmerksamkeit der Probanden aufrecht zu erhalten.

Die 54 Begriffe, die inhaltlich kongruent sowohl von den Wörtern als auch von den Piktogrammen dargestellt wurden, waren so ausgewählt, dass sie zählbare, leicht darstellbare konkrete Dinge aus dem von Kindern und Erwachsenen geteilten alltäglichen Erfahrungsbereich benannten. Eine inhaltliche oder emotionale Schwerpunktbildung wurde vermieden. Die Begriffe wurden so ausgesucht, dass die Wörter keine Fremdwörter waren und nicht mehr als zwei Silben hatten. Dadurch ist gewährleistet, dass die Untersuchung auch tatsächlich auch bei Kindern und psychiatrisch Erkrankten durchgeführt werden kann.

Die verwendeten Piktogramme und Wörter wurden von den Mitgliedern unserer Arbeitsgruppe durch Augenscheinvalidierung auf inhaltliche Kongruenz überprüft. Das Konzept der Augenscheinvalidierung wird v.a. bei psychologischem Stimulusmaterial angewendet, das einfache sensorische, motorische oder kognitive Vorgänge betrifft, und das so „augenscheinlich“ die interessierenden Merkmale repräsentiert, dass es keiner Validierung an einem „Außenkriterium“ bedarf. Die Augenscheinvalidität wird im Unterschied zu quantitativen testpsychologischen Außenkriteriums-Validierungen nicht numerisch bestimmt, sondern ist ein (intersubjektiv bestimmtes) qualitatives Merkmal (BORTZ & DÖRING, 2002).

Durch die so validierte inhaltliche Kongruenz der gezeigten Piktogramme und Wörter können inhaltliche Unterschiede als relevante systematische Fehlerquelle beim Vergleich der EKP von Piktogrammen und Wörtern mit großer Wahrscheinlichkeit ausgeschlossen werden. Die gefundenen EKP-Unterschiede können deshalb als durch die Art der Begriffspräsentation bedingt angesehen werden.

Die Präsentation der Stimuli erfolgte in vier Blöcken à 81 Reize in pseudorandomisierter Reihenfolge. In jedem Block wurden 27 Wörter, 27 Piktogramme und 27 Zahlen gezeigt. Dabei entsprachen der dritte dem ersten und der vierte dem zweiten Block, jeweils in umgekehrter Reihenfolge. Die einzelnen Blöcke waren so aufgebaut, dass jeder Begriff in jeden Block genau einmal vorkam: entweder als Wort oder als Piktogramm. Diejenigen Begriffe, die in den Blöcken eins und drei als Wörter gezeigt wurden, erschienen in den Blöcken zwei und vier als Piktogramme und umgekehrt.

Durch diesen Aufbau betrug die Auftretenswahrscheinlichkeit des Zielreizes „Zahl“ genau wie die der Nicht-Zielreize „Wort“ und „Piktogramm“ jeweils 33,3 %. Für die Bewertung der gemessenen Ereigniskorrelierten Potentiale ist diese Wahrscheinlichkeitsverteilung von entscheidender Bedeutung. Insbesondere die P-300-Komponente (sowohl die P3b für Zielreize, als auch die P3a für Nicht-Zielreize) wird mit abnehmender Auftretenswahrscheinlichkeit größer. Die deutlichsten P-300-Komponenten erhält man im Oddball-Paradigma bei Wahrscheinlichkeitsverhältnissen zwischen Ziel- und Nichtzielreiz von 10 % zu 90 %. Unterscheiden sich die Auftretenswahrscheinlichkeiten weniger als 20 % zu 80 % ist mit niedrigeren P-300-Amplituden zu rechnen (DUNCAN-JOHNSON &

DONCHIN, 1977; SQUIRES et al., 1977). Wichtig für unser Setting war deshalb v.a., dass die Auftretenswahrscheinlichkeiten zwischen Piktogrammen und Wörtern sich nicht unterschieden, damit nicht durch wahrscheinlichkeitsassoziierte P-300-Differenzen Piktogramme-Wörter-Differenzen vorgetäuscht werden (vgl. auch Kapitel 5.3).

Die technische Ausführung der Stimuluspräsentation ist im Methodenteil (Kapitel 3.2) ausführlich beschrieben. Zur Qualität der Ereigniskorrelierten Potentiale sind hier jedoch noch folgende Aspekte zu erwähnen: Neben der Reihenfolge der Reize waren auch die Interstimulusintervalle pseudorandomisiert und schwankten zwischen 3 und 6 Sekunden. Durch dieses Vorgehen wurden mögliche überlagernde Bereitschaftspotentiale verhindert (vgl. COOPER et al., 1984; HEINZ, 1998). Dadurch, dass die Stimuli mindestens 1,5 Sekunden auf dem Bildschirm verblieben, waren auch On/Off-Effekte praktisch ausgeschlossen (HEINZ, 1991).

5.1.3 Berechnung der Ereigniskorrelierten Potentiale

Die Ableitungen der EEG- und EOG-Signale erfolgte nach internationalen Standards. In Kapitel 3.4 sind die Details bezüglich der technischen Durchführung der Messungen, der Elektrodenpositionen, der Signalverstärkung und -filterung sowie der Digitalisierung und Speicherung der Messdaten aufgeführt. Die anschließende digitale Filterung, die Artefaktbereinigung und schließlich die Berechnung der Ereigniskorrelierten Potentiale sind in Kapitel 3.5 ausführlich dargestellt.

Bei der Berechnung der Ereigniskorrelierten Potentiale (Averages) tauchte die Frage auf, ob es angemessen ist, die Einzelableitungen (single sweeps) aller vier Blöcke gemeinsam zu mitteln, oder ob dies nach Blöcken getrennt geschehen sollte. Für die erste Lösung sprach v.a. die dann erheblich größere Anzahl an zur Verfügung stehenden Einzelableitungen und damit deutlich bessere und aussagekräftigere Datenqualität (größerer Signal-Rausch-Abstand), für

die zweite Lösung sprach eine möglicherweise „ergiebige“ Ausdifferenzierung in *geprimete*¹³ und nicht-*geprimete* Ableitungen.

Ein wichtiger Aspekt, der ein echtes „Priming“ durch den ersten Block („Erstreize“) in Frage stellte, war der folgende: Die gezeigten Piktogramme und Wörter stammen ausdrücklich aus dem alltäglichen Erfahrungsraum von Kindern und Erwachsenen, so dass von einem unsystematischen „Vor-Priming“ zum Zeitpunkt der Untersuchung und der Präsentation der „Erstreize“ ausgegangen werden muss. Die Alltagsnähe der Begriffe impliziert automatisch eine häufige und oft beiläufige Aktivierung ihrer Repräsentationen im impliziten Gedächtnis. Dies geschieht auch im Alltag in verschiedener Form (Wort/Bild) und in verschiedenem Modus (akustisch/visuell) (vgl. z.B. HOLCOMB & ANDERSON, 1993 und CONNOLLY et al., 1995)

Ein weiterer Punkt, der gegen eine Differenzierung der Ableitungen nach Blöcken sprach, ist die Tatsache, dass Priming-Effekte abhängig sind vom zeitlichen Abstand zwischen Erst- („Prime“) und Folgereiz („Target“): Variiert dieser, variiert auch der in den Ereigniskorrelierten Potentialen nachweisbare Effekt (z.B. CONDRA Y et al., 2003). Durch die pseudorandomisierte Anordnung der Stimuli und die Begriffswiederholung erst im jeweils folgenden Block ist der zeitliche Abstand von Erst- und Folgereiz in unserem Setting relativ groß und unterliegt zudem einer großen und unsystematischen Schwankung.

Gegen eine blöckeweise Differenzierung sprach außerdem, dass die Art der EKP-Veränderungen zwischen Erst- („Prime“) und Folgereiz („Target“) v.a. mit der Aufgabenstellung zusammenhängen. Die Art und das Ausmaß der Priming-bedingten EKP-Veränderungen (z.B. ob sie eher die N-400- oder die P-300-Komponente betreffen) hängt neben der Art der Stimuli v.a. mit den an sie geknüpften Aufgaben zusammen (vgl. ÜBERALL et al., 1993; CONNOLLY et al., 1995; HENSON, 2003). In dem von uns verwandten Setting sind jedoch sowohl Wörter als auch Piktogramme Nicht-Zielreize, an die

¹³ Unter **Priming** versteht man eine „facilitation in performance“ durch Informationen, die vom impliziten Gedächtnis bereitgestellt werden, nachdem sie kurz zuvor perzipiert wurden („implicit memory retrieval“, BUCKNER & KOUTSTAAL, 1998), vgl. auch Kapitel 2.1.2.6

keinerlei kognitive Aufgabe geknüpft ist. Zwischen den Blöcken eventuell gemessene EKP-Unterschiede wären dadurch praktisch nicht zu interpretieren.

Für eine Mittelung über alle Blöcke sprach dagegen mit großem Gewicht das folgende Argument: Die Aussagekraft der EKP-Kurven ist v.a. von der Anzahl der Einzelableitungen (N) abhängig. Das EKP-Signal wird im Verhältnis zum Hintergrundrauschen um den Faktor \sqrt{N} größer (COOPER, 1984). Differenzen zwischen den Stimuluskategorien sind nur verlässlich nachweisbar, wenn die EKP-Signal-Differenzen größer sind als das Rauschen (PICTON et al., 2000). Dieser Aspekt wird noch bedeutsamer, wenn man die Stellung dieser Arbeit im Kontext des Gesamtprojektes unserer Arbeitsgruppe sieht: Bei Kindern und bei psychiatrischen Patienten muss man aus verschiedenen Gründen ohnehin mit einer deutlich niedrigeren Anzahl brauchbarer single sweeps rechnen. Für die Kinder- und Patientengruppen wäre eine blockweise Auswertung deshalb praktisch ausgeschlossen. Neben einer völlig unklaren Interpretation eventueller EKP-Differenzen zwischen den einzelnen Blöcken, sprachen also v.a. die angestrebte bessere Datenqualität und die angestrebte Vergleichbarkeit mit den anderen Probanden/Patienten-Gruppen für die blockübergreifende Auswertung meiner Ableitungen.

5.1.4 Beanspruchung der Probanden

Die Aufgabe, die den Probanden gestellt wurde, war, zu entscheiden, ob die gezeigten Zahlen durch drei teilbar sind oder nicht. Die Probanden wurden mit Hilfe eines Merkblattes auf standardisierte Weise instruiert. Ihre Entscheidung ("teilbar"/"nicht teilbar") sollten sie jeweils mit einem Mausklick anzeigen. Piktogramme und Wörter wurden als bedeutungslose Ablenkreize dargestellt. Durch diese Aufgabenstellung wurden die Zahlen zu Zielreizen und Piktogramme und Wörter zu Nicht-Zielreizen. Bevor die Probanden die Rechenaufgabe erledigen konnten, mussten sie bei jedem Stimulus zunächst entscheiden, ob es sich überhaupt um eine Zahl handelt. Der einzig festgelegte kognitive Prozess bei Wörtern und Bildern war also, festzustellen, dass es sich nicht um eine Zahl handelt. Dadurch war gewährleistet, dass Wörter und Bilder aufmerksam perzipiert wurden.

Die weitere kognitive Verarbeitung war in unserem Setting bewusst nicht festgelegt, denn wir wollten das messen, was automatisch abläuft, wenn sich die Probanden aufmerksam, aber ohne besondere Absicht, mit einfachen, alltäglichen Begriffen konfrontiert sehen. Um dabei sowohl das bildbezogene als auch das wortbezogene Repräsentationssystem direkt anzusprechen wählten wir als visuelle Begriffsrepräsentationen Piktogramme und Wörter. Um eine breite klinische Anwendung zu ermöglichen, wurden konkrete, emotional nicht zu stark aufgeladene, im alltäglichen Erfahrungsraum von Kindern wie Erwachsenen vorkommende Begriffe ausgewählt.

Um auch ein empirisches Maß für die Praktikabilität dieser Untersuchung zu haben, führten wir eine Begleitevaluation durch, die mit Hilfe visueller Analogskalen (VAS) die subjektiv empfundene Belastung bzw. Beanspruchung der Probanden standardisiert und quantifizierend erfragte. Visuelle Analogskalen sind bewährte Instrumente der Quantifizierung qualitativer Information. Besonders gut untersucht sind ihre Validität und Reliabilität im Bereich der Schmerztherapie (MYLES et al., 2000; GALLAGHER et al., 2002), sie werden aber inzwischen in vielen Bereichen der klinischen Medizin eingesetzt, z.B. zur Quantifizierung von Luftnot (LANSING et al., 2003) oder präoperativer Angst (KINDLER et al., 2000).

Für die Übertragbarkeit des Untersuchungssettings auf Kinder und psychiatrische Patienten erschienen uns v.a. die kognitive und die konzentrierte Beanspruchung der Probanden von Wichtigkeit zu sein. Entsprechend waren die Fragen, die wir ihnen stellten:

1. „Wie schwierig fanden Sie die Aufgabe?“
2. „Wie schwierig fand Sie es, bis zum Schluss konzentriert zu bleiben?“

Die Endpunkte der visuellen Analogskalen waren jeweils "gar nicht schwierig" (0 cm) und "sehr schwierig" (10 cm).

Die kognitive Beanspruchung wurde mit einem Mittelwert von 1,94 und einer Standardabweichung von 1,37 hoch signifikant niedriger eingeschätzt als die konzentrierte Beanspruchung mit einem Mittelwert von 4,8 und einer Standardabweichung von 2,26.

Wenn auch die VAS für die von uns gemessenen Größen nicht validiert und auf Reliabilität geprüft ist, erscheinen doch die folgenden Aussagen vertretbar zu sein: Die Probanden fanden

die Kopfrechenaufgabe relativ leicht. Dagegen fanden sie es deutlich schwieriger, bis zum Ende der Untersuchung konzentriert zu bleiben. Dies fanden sie immerhin „mittelschwierig“.

Nach meiner Einschätzung ist dies ein recht ermutigender Befund im Hinblick auf die geplante Ausweitung der Untersuchung auf Kinder und psychiatrische Patienten. Er zeigt aber auch die möglichen Gefahren auf und legt es nahe, über mögliche Modifikationen nachzudenken, die einer weniger leistungsfähigen Probanden- oder Patientengruppe gerecht werden, ohne die Vergleichbarkeit der Ergebnisse preiszugeben.

5.1.5 Flexibilität des Settings

Die SOCIETY FOR PSYCHOPHYSIOLOGICAL RESEARCH empfiehlt in ihrer Methoden-Leitlinie, das Stimulusmaterial und die Aufgabenstellungen in allen Aspekten an die untersuchte Zielgruppe anzupassen (PICTON et al., 2000). Sie empfiehlt außerdem, Verhaltensparameter und/oder Performanz-Maße der untersuchten Probanden oder Patienten mit zu erheben, um so die gemessenen Ereigniskorrelierten Potentiale besser interpretieren zu können. Bei der vergleichenden Untersuchung verschiedener Gruppen überlassen es die Leitlinienautoren jedoch der Entscheidung des einzelnen Forschers, ob die Aufgabenstellung bei allen untersuchten Gruppen exakt gleich gelassen wird, oder ob sie der Performanz (Leistungsfähigkeit) der jeweiligen Gruppe angepasst wird, so dass die „relative Beanspruchung“ zwischen den Gruppen in etwa gleich bleibt (PICTON et al., 2000).

Ein interessantes Beispiel ist in diesem Zusammenhang die 1995 von CONNOLLY et al. veröffentlichte Untersuchung zum „Cross-Modal“- und „Cross-Form-Priming“ bezüglich passiv rezipierter Wörter. Zunächst wurden alle Probanden bezüglich ihres Vokabular-Levels psychometrisch getestet, anschließend wurden ihnen inhaltlich kongruente und inkongruente Wort/Bild-Paare vorgelegt. Sowohl die „Phonological Mismatch Negativity“ als auch die N-400-Komponente waren deutlich und reliabel größer bei semantischer Inkongruenz. Dieser Effekt war jedoch nur nachweisbar bis zu dem Vokabular-Level, für den der jeweilige Proband vorher positiv getestet worden war (CONNOLLY et al., 1995).

Dieses Beispiel zeigt deutlich, wie wichtig es ist, die Leistungsfähigkeit der Probanden mit in die Interpretation der EKP-Befunde einzubeziehen. In unserem Setting ist die „Cut-off-Linie“ bezüglich des für die jeweilige Probanden-/Patientengruppe angemessenen Schwierigkeitsniveaus jedoch nicht so einfach zu ziehen, wie in der zitierten Untersuchung von CONNOLLY et al. (1995).

Wird die konzentrierte oder kognitive Beanspruchung zu hoch gewählt, z.B. bei Kindern mit ADHS oder bei schizophrenen Patienten, kann es in unserer Untersuchung passieren, dass alle Messdaten eines Patienten unbrauchbar werden, weil die Untersuchung früher als geplant abgebrochen werden muss.

Welche Möglichkeiten bieten sich also, das Setting so zu verändern, dass die Anforderungen an Konzentration und/oder Kognition niedriger sind als im hier vorgestellten Kontroll-Setting, der zu beobachtende neuropsychologische Prozess jedoch unverändert bleibt?

Der Kern des Settings – Bindung einer Aufgabe an die Zahlen und aufmerksame aber passive Perzeption der Piktogramme und der Wörter – sollte meines Erachtens auf jeden Fall unverändert bleiben. Was man jedoch sicherlich gut verändern kann, ist die Art der Aufgabe, die an die Zahlen geknüpft ist, sowie ggf. auch die Dauer der Untersuchung. Die Befragung der Probanden/Patienten mit Hilfe der visuellen Analogskala könnte dabei wertvolle Hinweise auf eine angemessene Adjustierung der Beanspruchung durch die Untersuchung liefern, wenn sie z.B. an einer kleineren Pilotgruppe aus Patienten mit der zu untersuchenden Störung angewandt wird.

Um den Schwierigkeitsgrad der Aufgabenstellung zu senken, könnte die Aufgabe z.B. darauf reduziert werden, festzustellen, ob eine Zahl „gerade“ oder „ungerade“ ist. Eine weitere Reduktion wäre das einfache „Quittieren“ des Zielreizes „Zahl“ per Mausklick, ohne eine Rechenaufgabe an sie zu binden.

Die Dauer der Untersuchung könnte z.B. dadurch verkürzt werden, dass anstelle von vier Blöcken nur zwei gezeigt werden. Eine andere Möglichkeit wäre die Reduktion der Stimuli pro Block, z.B. von 81 auf 60 oder gar 45. Wichtig scheint mir hierbei, dass das Verhältnis der Reize aus den einzelnen Stimuluskategorien zueinander nicht verändert wird. Vier

verkürzte Blöcke würde ich zwei vollständigen vorziehen, weil dadurch auch die Anzahl der gesehenen Wiederholungen pro Stimulus im Verhältnis zu der Referenzgruppe gleich bleibt.

Wird die Dauer der Untersuchung verkürzt, sinkt dadurch automatisch die Anzahl der brauchbaren Einzelableitungen. Da bei Patienten und Kindern eher auch mit einer höheren Artefaktrate gerechnet werden muss, ist der limitierende Faktor für die Abkürzung der Untersuchung die Anzahl der mit guter Wahrscheinlichkeit erreichbaren Einzelableitungen (N) pro Patient/Proband. Da das Signal-Geräusch-Verhältnis um den Faktor \sqrt{N} ansteigt, sollte eine gewisse Mindestanzahl von Einzelableitungen pro Stimuluskategorie und Patient/Proband nicht unterschritten werden (COOPER et al., 1984). In die vorliegende Untersuchung wurden nur diejenigen Probanden eingeschlossen, die nach Artefaktbereinigung noch mindestens 40 Einzelableitungen pro Stimuluskategorie und Ableitort aufwiesen. In der bereits mehrfach zitierten Leitlinie der SOCIETY FOR PSYCHOPHYSIOLOGICAL RESEARCH wird darauf hingewiesen, dass keine generalisierbare konkrete Mindestanzahl von Einzelableitungen gefordert werden kann, sondern dass diese sich immer aus den konkreten Bedingungen ergeben muss. Eine kleine EKP-Komponente, wie z.B. die N-100-Komponente benötigt zu ihrer klaren Darstellung deshalb mehr Einzelableitungen als eine deutlich ausgeprägte P-300-Komponente. Die Autoren weisen auch darauf hin, dass Kurvendifferenzen deutlich größer sein müssen als das Rauschen, um verlässlich nachgewiesen werden zu können (PICTON et al., 2000).

5.2 Bedeutung der verschiedenen Auswertungsverfahren

5.2.1 Graphische Kurvenauswertungen

5.2.1.1 Die morphologisch-deskriptive Kurvenanalyse

Die detaillierte Beschreibung und Analyse der EKP-Kurven in ihrem gesamten Verlauf ist bei einer **heuristisch-explorativen Fragestellung** wie der hier gegebenen die Basis für alle weitergehenden Untersuchungen. Nur durch eine genaue Erfassung der Potentialverläufe in den einzelnen Ableitungen können mögliche „ertragreiche“ EKP-Komponenten identifiziert werden, so dass sie einer gezielten Analyse, z.B. durch Parametrisierung, unterzogen werden können.

Außerdem kann nur über eine solchermaßen gezielte Auswahl der zu parametrisierenden Kurvenabschnitte eine willkürliche „Viel-Testerei“ verhindert werden, die letztlich mehr Probleme schafft als löst, z.B. indem sie viele falsch-positive Befunde produziert (vgl. BLAND, 1996; BECK-BORNHOLDT & DUBBEN, 2002). Die Autoren der aktuellen Methodenleitlinie der SOCIETY FOR PSYCHOPHYSIOLOGICAL RESEARCH schreiben dazu: *„Although true for all areas of research, loosely motivated „shots in the dark“ are particularly dangerous in studies in which data are abundant. The overwhelming amount of ERP data along the time and scalp-distribution dimensions can easily lead to incorrect post hoc conclusions based on trial-and-error analyses of multiple time epochs and electrode sites. Huge arrays of data make it easy to obtain “significant” results that are not justified in theory or reliable on replication.”* (PICTON et al., 2000).

Die morphologisch orientierte deskriptive Analyse der Gruppenpotentiale getrennt nach Stimulus-kategorie (Kapiteln 4.2 und 4.3) konnte wichtige Gemeinsamkeiten und Unterschiede zwischen den Stimulus-kategorien herausarbeiten:

- Sowohl in den Piktogramme-Kurven als auch in den Wörter-Kurven konnten für alle Ableitorte deutliche **P-360-Komponenten** mit anschließender **N-450-Komponente** und darauf folgender **P-510-Komponente** identifiziert werden.

- In den frontocentralen Ableitungen der Piktogramme-Kurven konnten **P-220-Komponenten** nachgewiesen werden, die in den entsprechenden Wörter-Kurven durch eine zusätzliche kleine **P-150-Komponente** eine deutlich andere Form hatten. Auch bezüglich des Zwischenminimums zwischen **P-220-Komponente** und **P-360-Komponente** konnten durch die deskriptive Kurvenanalyse deutliche Unterschiede identifiziert werden. Sowohl Amplitude als auch Latenz dieser negativen Komponente unterschieden sich so stark, dass ich mich hier zu einer differenzierten Benennung entschlossen habe: **N-270-Komponente** in den Piktogramme-Kurven und **N-340-Komponente** in den Wörter-Kurven.
- Weder **P-220-Komponente** noch **N-270- oder N-340-Komponenten** fanden sich dagegen in den parietalen Ableitungen beider Stimuluskategorien. In den lateralen parietalen Piktogramme-Kurven konnte eine kleine **N-180-Komponente** identifiziert werden, ansonsten bewegten sich alle parietalen Kurven relativ direkt auf ihr absolutes Maximum in der **P-360-Komponente** zu.
- Im Anschluss an die **P-510-Komponente** konnte in allen Ableitungen eine flach im positiven Bereich verlaufende **Späte Positive Komponente** identifiziert werden. Es konnte für beide Stimuluskategorien festgestellt werden, dass die **P-510-Komponente** von frontal nach parietal zunimmt, die **Späte Positive Komponente** dagegen von frontal nach parietal abnimmt.

Die so gefundenen EKP-Komponenten bildeten die Basis für alle weitergehenden numerischen Auswertungen: Sowohl die Entscheidung, welche Komponenten durch Parametrisierung weiter analysiert werden sollten, als auch die Entscheidung über die Zeitfenster, die diesen Parametrisierungen zugrunde gelegt werden sollten, wurden unter maßgeblicher Berücksichtigung der Ergebnisse der deskriptiven Analyse getroffen („Interne Validierung“, BORZ & DÖRING, 2002).

Im Rahmen des Gesamtprojektes unserer Arbeitsgruppe wird der deskriptiven Kurvenanalyse außerdem die Funktion zukommen, diejenigen EKP-Komponenten zu identifizieren, die sich zwischen der Referenzgruppe und der jeweils untersuchten Patientengruppe besonders ähneln oder unterscheiden, und **wie** sie sich ähneln oder unterscheiden.

Die morphologisch orientierte deskriptive Analyse der Kurven kann dann – wie auch in meiner Arbeit für den Vergleich Piktogramme-Wörter – für die Kurvenvergleiche nach BLAIR-KARNISKI als erklärendes Korrektiv dienen (vgl. die **ND-270-Komponente** in Kapitel 5.2.1.2) und gemeinsam mit den Ergebnissen des BLAIR-KARNISKI-Tests als Basis für die Auswahl geeigneter Kurvenabschnitte für eine Parametrisierung.

5.2.1.2 Die Kurvenvergleiche nach BLAIR und KARNISKI

Da die große „heuristische Offenheit“, die dem Gesamtkonzept unserer Arbeitsgruppe zugrunde liegt, unvermeidbar die systematische Gefahr birgt, ihre hohe Sensitivität („möglichst alle signifikanten Veränderungen erfassen“) mit einer niedrigen Spezifität (viele falsch-positive „Signifikanzen“) zu erkaufen, ist es wichtig, gerade diesbezüglich sehr kritisch zu sein. Neben einer sinnvollen Fundierung aller weiterführenden Untersuchungen in den Originaldaten, ist es deshalb besonders wichtig darauf zu achten, dass eine Alpha-Adjustierung gewährleistet werden kann und dass es nicht zu (verborgenem) multiplen Testen kommt („Statistische Validität“, COOK & CAMPBELL, 1979, zitiert nach BORZ & DÖRING, 2002; vgl. auch HEINZ, 1998; BECK-BORNHOLDT & DUBBEN, 2002).

Diesem Ziel dient auch der Permutationstest von BLAIR und KARNISKI (1993). Dabei handelt es sich um ein statistisches Testverfahren zum Vergleich von Potentialkurven aus psychophysiologischen Untersuchungen. Als Permutationstest erlaubt es den **direkten Punkt-zu-Punkt-Vergleich** kompletter Potentialkurven und ist dabei in der Lage, signifikante Unterschiede auch für sehr kurze Zeitintervalle bis hin zum einzelnen Kurvenpunkt zu ermitteln und das Signifikanzniveau exakt und im Rahmen der durch die Anzahl der Probanden vorgegebenen Grenzen beliebig festzulegen.

Beim BLAIR-KARNISKI-Test kommt es also nicht zu einer Alpha-Inflation durch multiples Testen, sondern der gewünschte Alpha-Wert (in unseren Berechnungen 5 %) kann exakt eingehalten werden.

Der Test stellt außerdem keine besonderen Anforderungen an die Datenverteilung und ist anwendbar für eine beliebige Anzahl von Probanden und verglichenen Wertepaaren¹⁴ (BLAIR UND KARNISKI, 1993).

Angewandt wurde der BLAIR-KARNISKI-Test einerseits - getrennt für Piktogramme und für Wörter - auf den Hemisphären-Vergleich der centralen und der parietalen Gruppenpotentiale. Andererseits wurde er zum direkten Vergleich der Piktogramme-Kurven mit den Wörterkurven eingesetzt.

Beim **Vergleich der beiden Hemisphären** mit Hilfe des BLAIR-KARNISKI-Testes konnten neben einigen längerstreckigen nicht-signifikanten Lateralisierungstendenzen zwei **kurzstreckige signifikante Lateralisierungen** gefunden werden:

- Eine im Bereich der **P-360-Komponente der parietalen Wörter-Kurven**: Hier erscheinen die Gruppenpotentiale über einen Zeitabschnitt von etwa 90 msec **rechts** signifikant **größer als links**.
- Die zweite eingebettet in den flachen Verlauf der **Späten Positiven Komponente der parietalen Piktogramme-Kurven**: Hier erscheinen die Gruppenpotentiale über einen Zeitabschnitt von etwa 40 msec **links** signifikant **größer als rechts**.

Beide Ergebnisse wirken zunächst überraschend, da sie der üblichen Zuordnung der Wort- und Bild-verarbeitenden Funktionen zu den Hemisphären (z.B. nach der Dual-Coding-Theorie: rechts Bildverarbeitung, links Wortverarbeitung, WEST et al., 2003) zu widersprechen scheinen. Im Kapitel 5.3 werde ich darauf noch einmal zurückkommen.

¹⁴ vgl. die mathematischen Hintergründe und den Aufbau des Testes in Kapitel 3.6

Beim **Vergleich der Stimuluskategorien** mit Hilfe des BLAIR-KARNISKI-Testes ergab sich folgendes Bild:

- In allen frontocentralen und parietalen Ableitungen fanden sich ausgeprägte signifikante Differenzen zwischen den Kurven der beiden Stimuluskategorien im Bereich der **P-360-** und der **P-510-Komponente**. Alle Kurven waren in diesen Abschnitten **signifikant positiver für Piktogramme als für Wörter**, so dass alle Differenzkurven eine **PD-350-** und eine **PD-510-Komponente** ausprägten. Die Länge der signifikanten Kurvenabschnitte differierte jedoch in den verschiedenen Ableitungen. Interessanterweise waren die Piktogramme-Wörter-Differenzen in der **P-360-Komponente** unmittelbar vor deren Maximum in den Originalkurven am größten, so dass die korrespondierende Differenzkurvenkomponente als **PD-350-Komponente** identifiziert wurde (vgl. auch die Entstehung der **ND-270-Komponente**).
- Für die **N-450-Komponente** konnte in allen Ableitungen eine fast vollständige **Amplituden- und Latenzgleichheit** zwischen den Stimuluskategorien nachgewiesen werden. Alle Differenzkurven kehrten aus ihrer **PD-350-Komponente** zwischen 400 und 450 msec fast vollständig zur Nulllinie zurück, bevor sie sich zur Bildung der nachfolgenden **PD-510-Komponente** wieder von ihr entfernten. In keiner der Ableitungen waren im Bereich der **N-450-Komponente** signifikante Unterschiede zwischen Piktogrammen und Wörtern nachzuweisen.
- Die morphologisch im Bereich der **P-220-Komponente** beschriebenen Differenzen zwischen Piktogrammen und Wörtern in den frontocentralen Ableitungen schlugen sich auch in den Differenzkurven nieder: Diese prägten eine **PD-210-Komponente** aus, womit auch hier die größten Unterschiede unmittelbar vor dem Erreichen des Maximums in den Originalkurven nachgewiesen wurden. Die **P-150-Komponente** der frontocentralen Wörter-Kurven sowie die **N-180-Komponente** der parietalen Piktogramme-Kurven führte in den frontocentralen **und** den parietalen Differenzkurven zur Ausprägung einer **ND-160-Komponente**.
- In den frontocentralen Kurven findet sich zwischen der **P-220-** und der **P-360-Komponente** ein Zwischenminimum, das für Piktogramme (**N-270-Komponente**) deutlich anders geformt ist, als für Wörter (**N-340-Komponente**). Diese

Vorinformation aus der morphologisch-deskriptiven Kurvenanalyse ist sehr bedeutsam für eine sachgerechte Interpretation der in den Differenzkurven zu findenden **ND-270-Komponente**, denn diese resultiert **nur teilweise** aus einer **weniger** stark ausgeprägten „N-Komponente“ in den Wörter-Kurven. Ebenso bedeutsam erscheint, dass sie sich die „N-Komponente“ der Wörter-Kurven **erst später (N-340!)** ausprägt als die der Piktogramme-Kurven (**N-270!**) (vgl. Kapitel 5.2.1.1). Dieser **Latenzunterschied** zwischen den beiden Zwischenminima hat übrigens auch noch einen Einfluss auf die **PD-350-Komponente**, deren Maximum möglicherweise nur aufgrund dieses Latenzunterschiedes vor dem der Originalkurven liegt (**P-360-Komponente**).

- Bezüglich der **Späten Positiven Komponente** konnte mit Hilfe des BLAIR-KARNISKI-Testes gezeigt werden, dass sie frontocentral nicht nur stärker ausgeprägt ist als parietal, sondern auch zwischen den Stimuluskategorien stärker verschieden: In den frontocentralen Differenzkurven findet sich eine durchgehend signifikante **PD-Spät-Komponente**, die in den parietalen Differenzkurven nur punktuell signifikant wird.

Für die folgenden EKP-Komponenten der Originalkurven konnten mittels BLAIR-KARNISKI-Test also signifikante Unterschiede zwischen den Stimuluskategorien nachgewiesen werden: **P-220-Komponente** (frontocentral) und **N-180-Komponente** (parietal), **N-270/340-Komponente**, **P-360-Komponente**, **P-510-Komponente** und **Späte Positive Komponente**. Für die **N-450-Komponente** konnte **keinerlei Unterschied** nachgewiesen werden.

5.2.2 Numerische Kurvenauswertungen

Neben den oben dargestellten Vorteilen hat das Testverfahren nach BLAIR und KARNISKI jedoch auch einen nicht unerheblichen Nachteil, den es mit den anderen Verfahren zum direkten Punkt-zu-Punkt-Vergleich von Potentialkurvengruppen teilt: Informationen zur Ausprägung der Latenzvariation innerhalb einer Probandengruppe stellen sich nur indirekt über eine Änderung der Amplitude des Grandaverage dar. Dabei geht eine stärkere Latenzvariation einer EKP-Komponente mit einer Abflachung und Verbreiterung dieser Komponente im Gruppenpotential einher, und ist deshalb nicht mehr direkt als Latenzvariation erkennbar (HEINZ, 1998).

Außerdem können kombinierte Amplitude-Latenz-Unterschiede aus den BLAIR-KARNISKI-Testergebnissen alleine nicht sinnvoll interpretiert werden (vgl. Kapitel 5.2.1.2).

Aus diesen Gründen ist es sinnvoll, zusätzlich Untersuchungen an ausgewählten Kurvenparametern durchzuführen, die direkt auf die Average-EKPs zurückgreifen und so auch einen direkten Rückschluss auf Latenzvariationen zulassen (COOPER et al., 1984; RUCHKIN, 1988).

Die Parametrisierung komplexer Kurvenverläufe hat außerdem das Ziel, bestimmte charakteristische Kurvenkomponenten mit Hilfe weniger Kennzahlen beschreibbar und vergleichbar zu machen. Dabei geht zwar unweigerlich Information verloren, da kein Parameter im Stande ist, alle im Potentialverlauf enthaltenen Informationen wiederzugeben (LUTZENBERGER et al., 1985; HEINZ, 1998). Andererseits lassen sich jedoch bestimmte Kurveigenschaften klarer darstellen und werden statistischen Vergleichen zugänglich (z.B. auch Latenzvariationen). Dies ist besonders dann von Vorteil, wenn EKP-Parameter mit Nicht-EKP-Parametern (z.B. Ergebnisse anderer Verfahren wie fMRI, PET oder klinischen Befunden) korreliert werden sollen (LUTZENBERGER et al., 1985; HEINZ, 1998).

Wenn die Art der Berechnung zwischen zwei hintereinander geschalteten Auswertungen unabhängig voneinander ist¹⁵ und wenn man die Positivität des einen Verfahrens als **Voraussetzung** für die Durchführung des anderen Verfahrens nimmt, kann die Berechnung von Parametern nach der Feststellung signifikanter Unterschiede durch den BLAIR-KARNISKI-Test ähnlich betrachtet werden, wie eine **geplante Stufendiagnostik** in der klinischen Medizin (vgl. BECK-BORNHOLDT & DUBBEN, 2002). Auch hier hat man es mit unsicheren Aussagen zu tun, bei denen der prädiktive Wert eines Tests maßgeblich von der Vortest-Wahrscheinlichkeit abhängt (BLAND, 1996, BUCHER, 2000b). Wenn diese **durch eine vorgeschaltete Maßnahme erhöht** werden kann, kann ein voher vielleicht indiskutabel unsicherer Test plötzlich eine diagnostisch **entscheidende** Bedeutung bekommen (ABHOLZ, 1998; DONNER-BANZHOFF, 1999; ALTMAN, 2002b; HOPSTAKEN et al., 2003). Dieser Zusammenhang birgt meines Erachtens ein noch völlig unterschätztes Potential für die Nutzbarmachung Ereigniskorrelierte Potentiale in der klinisch-psychiatrischen Diagnostik (vgl. Kapitel 5.4).

In dieser Arbeit wurden für jede numerisch untersuchte EKP-Komponente die folgenden Parameter bestimmt: Amplitude und Latenz des Maximums, Flächeninhalt, sowie Amplitude und Latenz des Flächenschwerpunktes. Ihre Stärken und Schwächen seien kurz beschrieben:

Die Bestimmung der **Maxima** von EPK-Komponenten ist ein geläufiges Verfahren, dass es ermöglicht, die "Kerninformationen" zu einer EKP-Komponente in einem einzigen Zahlenpaar darzustellen: **Amplitude und Latenz**. Probleme ergeben sich allerdings bei mehrgipfligen Kurvenverläufen (die auch in Abhängigkeit vom verwendeten Lowpass-Filter durch Verrauschung entstehen können) oder bei sehr flachen Kurven-Komponenten: Besonders die "wahre Latenz" einer EKP-Komponente wird in diesen Fällen häufig durch die Latenz des mathematischen Maximums schlecht dargestellt. Aus diesem Grunde ist es

¹⁵ Dafür spricht hier die grundlegende Verschiedenheit der Verfahren, dagegen spricht jedoch die identische Datenbasis: Noch sicherer wäre es also, die Untersuchung zwei mal pro Proband durchzuführen (z.B. an zwei aufeinanderfolgenden Tagen) und den BLAIR-KARNISKI-Test auf die ersten Messergebnisse anzuwenden, die Parametrisierungen dagegen auf den zweiten (vgl. BECK-BORNHOLDT & DUBBEN, 2002)

sinnvoll, zusätzlich Parameter zu berechnen, die bezüglich dieser Fehlermöglichkeiten "robuster" sind (vgl. HEINZ, 1998).

Hierzu eignen sich insbesondere **Flächenberechnungen**. Die "Gestalt" der Potentialauslenkung ist hier vollständig irrelevant: ob die Komponente eine flache oder steile Auslenkung besitzt, ein- oder mehrgipflig ist spielt keine Rolle. Auch die Verrauschung hat keinen störenden Einfluss. Andererseits geht bei diesem Parameter aber auch die in der Form der Auslenkung verborgene Information verloren (HEINZ, 1998). Bei festgelegten zeitlichen Grenzen der Flächen (wie in den hier vorgelegten Berechnungen) könnte man alternativ auch den **Amplitudendurchschnitt** eines Kurvenabschnittes berechnen, werden die Latenzgrenzen jedoch individuell aus den Kurven selbst gebildet (z.B. der Schnittpunkt der Kurve mit der Nulllinie) entfällt diese Möglichkeit (PICTON et al., 2000).

Die in der Form der Kurvenauslenkung verborgene Information kann bewahrt werden, wenn man die Verteilung der Fläche innerhalb des Zeitintervalls berücksichtigt. Eine Möglichkeit dazu bietet die Bestimmung des **Flächenschwerpunktes**. Wie das Maximum wird er durch einen **Amplituden- und einen Latenzwert** beschrieben und ist so in der Lage, in einem Zahlenpaar wesentliche Informationen über Ausprägung und Zeitpunkt einer EKP-Komponente zusammenzufassen (HEINZ, 1998).

Basierend auf den morphologisch-deskriptiven Kurvenanalysen und den Ergebnissen des BLAIR-KARNISKI-Tests wurden die folgenden EKP-Komponenten und Zeitintervalle für die Parametrisierung ausgesucht (**Tabelle 5.1**):

EKP-Komponente:	Zeitintervall:
P-220-Komponente	150 bis 270 ms
P-350-Komponente	270 bis 450 ms
P-510-Komponente	450 bis 750 ms
Späte Positive Komponente	750 bis 1500 ms

Tabelle 5.1: Untersuchte EKP-Komponenten mit zugehörigem Zeitintervall.

Auf die **Parametrisierung der negativen Komponenten** wurde bewusst verzichtet. Da es sich sowohl bei der **N-270/340-Komponente** als auch bei der **N-450-Komponente** um **relative** Negativierungen handelt, ist die Berechnung ihrer Parameter nicht nach den gleichen Algorithmen möglich wie die der positiven Komponenten. Denn obwohl sie „negative“ Komponente sind, liegen ihre Amplitudenwerte doch im positiven Bereich. Die gefundenen Werte wären durch den anderen Berechnungsalgorithmus auch nur eingeschränkt mit denen der P-Komponenten vergleichbar.

Es gibt nun verschiedene Techniken, mit dem Problem der „relativen Negativität“ umzugehen. Eine Möglichkeit besteht darin, einfach die **positive** Fläche unter der Kurve zu berechnen und „invers“ zu bewerten: Je „kleiner“ die Fläche, desto „größer“ die negative Komponente (z.B. WEST et al., 2003). Eine andere Möglichkeit besteht darin, die von der EKP-Kurve und einer Tangente durch die beiden benachbarten P-Maxima gebildete Fläche zu berechnen (z.B. SCHNEIDER, 1999). Dies käme unserer intuitiven Vorstellung von einer „negativen Komponente“ zwar näher, ist aber aus verschiedenen Gründen mit den andern Parametern auch nicht vergleichbar (vgl. die ausführliche Diskussion dieser Problematik in HEINZ, 1998).

Aus diesen Gründen wurde hier zunächst auf die Berechnung der Parameter für die negativen Komponenten verzichtet. Da in dieser Arbeit keine direkte Anwendung der Parameter erfolgt, sind die **N-270/340-Komponente** und die **N-450-Komponente** durch die umfassende deskriptive Analyse und den BLAIR-KARNISKI-Test ausreichend detailliert beschrieben. Sollten die Ergebnisse der geplanten störungsbezogenen Untersuchungen eine Relevanz der Parametrisierung der negativen Komponenten nahe legen, können die entsprechenden Parameter mit der dann gezielt auszuwählenden Methode adäquat aus den vorliegenden Daten berechnet werden.

Bei der **Parametrisierung der positiven Komponenten** wurden die Intervallgrenzen so gewählt, dass sie jeweils mit den morphologisch-deskriptiv bestimmten Komponentengrenzen zusammenfielen: **P-150-Komponente**, **N-270-Komponente**, **N-450-Komponente**, **Ende der Wannens-/Bogen-Struktur** und schließlich das **Ende der Messzeit**.

Generell konnte für die Flächen-Parameter die geringste, für die Maxima-Parameter dagegen die größte **Variationsbreite** festgestellt werden, sowohl für die **Latenz-** als auch für die **Amplituden-bezogenen Parameter** (Amplituden des Maximums und des Schwerpunktes, sowie der Flächeninhalt). Dies entspricht durchaus den Erwartungen aufgrund der oben angeführten Charakterisierungen der einzelnen Parameter.

Die Amplituden-bezogenen Parameter lieferten meist sehr ähnliche Ergebnisse bezüglich der Signifikanz einer EKP-Komponenten-Differenz, die Latenz-bezogenen Parameter stimmten dagegen diesbezüglich nur im Einzelfall überein. Diesen Befund könnte man als Argument für die Bestimmung der „robusteren“ Schwerpunkt-Parameter werten (vgl. HEINZ, 1998; PICTON et al., 2000).

Es konnten interessante Querverbindungen zu den Ergebnissen der deskriptiven Analyse und des BLAIR-KARNISKI-Tests aufgezeigt werden. Neben dem Vergleich zwischen den Stimuluskategorien konnten die Parameter-Diagramme auch die **topographischen Aspekte** gut verdeutlichen. So zeigten alle Amplituden-bezogenen Parameter der **P-360-** und der **P-510-Komponente** in den Konfidenzintervall-Diagrammen einen deutlichen Anstieg von frontal nach parietal, der auch schon in der deskriptiven Analyse aufgefallen war. Auch die dort bereits vorbeschriebene Abnahme der **Späten Positiven Komponente** von frontal nach parietal wurde in den entsprechenden Amplituden-bezogenen Parametern sehr augenfällig.

Die im BLAIR-KARNISKI-Test nachgewiesene kurzstreckige **Lateralisierung** nach rechts im Bereich der **P-360-Komponente** in den parietalen Kurven dagegen findet jedoch in den Konfidenzintervall-Diagrammen der Parameter kaum ein „adäquates“ Pendant.

In den **zusammenfassenden zeitlich-topographischen Übersichtsdiagrammen** (Kapitel 4.5.6) über die Signifikanzen in den verschiedenen Parametern konnte man sogar in der P-360-Komponente für C4 drei (hoch-)signifikante Amplituden-bezogene Ergebnisse sehen, während in C3 nur ein signifikantes Amplituden-bezogenes Ergebnis aufgeführt ist, was rechts einen **sicherer** nachgewiesenen Kurvenunterschied anzeigt als links. Der intuitiv nahe liegende Schluss, die Differenzen seien dort auch **größer**, wird durch die immerhin 90 msec anhaltende signifikante Lateralisierung der Wörterkurven nach rechts (!) schnell in Frage gestellt.

Betrachtet man dagegen noch mal die Original- und Differenzkurven der Lateralisierungsberechnungen für Piktogramme und Wörter im Vergleich (Kapitel 4.2.2 und 4.3.2), fällt auf, dass sowohl die parietalen Originalkurven als auch die Differenzkurven ganz ähnliche Formen ausprägen: Auch für die Piktogramme-Kurven ist eine **Lateralisierungstendenz** nach rechts feststellbar, die jedoch nicht signifikant wird.

Andererseits ist in diesen zeitlich-topographischen Übersichtsdiagrammen die Ausbreitung der **stärkeren Piktogramme-Positivierung** von **parietal** (und lateral-central) in der **P-360-Komponente** über eine komplett hoch-signifikante **centro-parietale Generalisierung** in der **P-510-Komponente** hin zu einer **frontocentralen Generalisierung** während der **Späten Positiven Komponente** sehr gut zu erkennen, die sich auch widerspruchsfrei an den Originalkurven und den BLAIR-KARNISKI-Ergebnissen validieren lässt.

Was ist aus diesen Überlegungen zu lernen?

1. Einerseits sicherlich, dass es wichtig ist, sich zu vergegenwärtigen, dass wir es im Umgang mit Signifikanzniveaus mit **Wahrscheinlichkeiten** zu tun haben, die zwar in komplexer Weise mit der **Größe der Differenzen in den Originalkurven** zusammenhängen, aus denen jedoch nicht direkt auf die Art und Größe der Kurvendifferenzen zurück geschlossen werden kann (GLANTZ, 1998).
2. Andererseits, wie wichtig es gerade deshalb ist, eine „**interne Validierung**“ (BORTZ & DÖRING, 2002) der Ergebnisse der verschiedenen Auswertungsverfahren untereinander und besonders **an den Originalkurven** vorzunehmen.
3. Dass wir dazu neigen, aus einem „nicht signifikanten“ Ergebnis zu schlussfolgern, dass keine systematische Differenz zwischen den Stimuluskategorien vorliegt. Dabei ist die **Gefahr eines Beta-Fehlers**, d.h. eine real existierende systematische Differenz nicht zu erkennen („falsch-negativer Befund“), vermutlich **deutlich größer** (vgl. GLANTZ, 1998; BECK-BORNHOLDT & DUBBEN, 2002), als der von uns so strikt beachtete Alpha-Fehler (\leq Signifikanzniveau für den kombinierten Vergleich jeder

einzelnen Komponente¹⁶). Bei der Beforschung Ereigniskorrelierter Potentiale ist die Berechnung der **Power** (= $1 - \beta$, GLANZ, 1998; DALY, 2002) noch nicht allgemein üblich. Die Leitlinie der SOCIETY FOR PSYCHOPHYSIOLOGICAL RESEARCH weist jedoch ausdrücklich darauf hin, dass aus dem Nichtvorliegen einer Signifikanz **nicht** auf das Nichtvorliegen einer systematischen Differenz in den EKP-Kurven geschlossen werden kann (PICTON et al., 2000).

4. Dass eine ergänzende Darstellungsweise hilfreich wäre, die **sowohl** das **Ausmaß** eines gefundenen Unterschieds **als auch** die **Wahrscheinlichkeit** seines nicht-zufälligen Charakters erfassbar macht. Die Differenzierung zwischen „signifikant“ und „hochsignifikant“ ist dafür, wie sich hier gezeigt hat, nur sehr eingeschränkt geeignet. Nach ALTMAN (2002a) und ALTMAN et al. (2002) bieten sich dafür die **Konfidenzintervalle der Differenzen** an. Um den Bezug zu den Originalkurven möglichst direkt zu halten, würde ich dies jedoch nur als **zusätzliche Option** in Betracht ziehen (vgl. auch Fußnote S.82).

Zu den Parametern kann man also zusammenfassend bemerken, dass sie gut geeignet sind, wichtige Aspekte aus den EKP-Kurven zu extrahieren und somit einer „Weiterverarbeitung“ zugänglich zu machen. Sie bedürfen jedoch auch der „internen Validierung“ und laufen bei isolierter Betrachtung Gefahr, ein verzerrtes Bild der zugrunde liegenden EKP-Kurven widerzuspiegeln.

¹⁶ „ \leq “, weil einerseits die Alpha-Adjustierung eingehalten wurde, andererseits durch die interne Validierung eine Art „Stufendiagnostik“ entsteht (vgl. ABHOLZ, 1998; ALTMAN, 2002b)

5.3 Neurophysiologie der Piktogramme-Wörter-Unterschiede

5.3.1 Biologische Grundlagen und klinische Relevanz

In den folgenden Kapiteln sollen die von mir gefundenen EKP-Komponenten mit den aus der grundlagenwissenschaftlich orientierten Literatur bekannten EKP-Komponenten verglichen und durch sie gedeutet werden.

Da das Interesse unserer Arbeitsgruppe an den EKP-Kurven kein primär grundlagenwissenschaftliches Interesse ist, sondern auf die Erschließung der Ereigniskorrelierten Potentiale als diagnostisches Instrument für die klinische Praxis abzielt (vgl. HEINZ, 1998), haben wir auch keine explizite auf spezielle EKP-Komponenten oder kognitive Teilleistungen bezogene Hypothese, die wir bestätigen oder verwerfen wollen¹⁷. Der von uns beobachtete neuropsychologische und neurophysiologische Prozess ist, in seine verschiedenen Aspekte „atomisiert“, bereits vielfach untersucht worden. Man muss davon ausgehen, dass die von mir gefundenen EKP-Komponenten Summationspotentiale zugrundeliegender „Elementarwellen“ sind, die teilweise bekannt sind, teilweise aber auch noch unbekannt sein mögen (NÄÄTÄNEN et al., 1986; OLBRICH, 1989; PICTON et al., 2000).

Daraus ergibt sich, dass die folgenden Zuordnungen der von uns gefundenen zu den in der Literatur beschriebenen EKP-Komponenten häufig **Plausibilitätsschlüsse** sind, die nicht immer den Rang empirisch abgesicherter Erkenntnisse besitzen. Trotzdem halte ich die Einordnung unserer EKP-Befunde in den grundlagenwissenschaftlichen Kontext für sinnvoll,

¹⁷ In diesem Punkt weichen wir deshalb auch explizit von der Leitlinie der SOCIETY FOR PSYCHOPHYSIOLOGICAL RESEARCH ab, die sich ausdrücklich auf grundlagenwissenschaftlich orientierte Kognitionsforschung mit EKPs bezieht (auch im Rahmen von Neurologie und Psychiatrie). Sie empfiehlt deshalb die explizite Prüfung einer genau definierten neurokognitiven Hypothese. Die Autoren der Leitlinie unterscheiden übrigens sehr differenziert (und explizit) zwischen „must“ und „should“: Ersteres halten sie für absolut unerlässlich, bei der zweiten Formulierung (die u.a. hier zur Anwendung kommt) sehen sie den abweichenden Forscher lediglich in einer Art „Begründungspflicht“. In unserem Fall ist die Begründung einfach: unsere Zielsetzung und die daraus resultierenden Fragestellungen! (vgl. PICTON et al., 2000).

denn sie führt einerseits zu einem besseren „Verständnis“ der von uns gemessenen Ereigniskorrelierten Potentiale. Andererseits werden durch diese Überlegungen auch die durch unsere Aufgabenstellung geforderten funktionellen Leistungen und die ihnen zugrunde liegenden neurophysiologischen Prozesse auf vertiefte Weise reflektiert.

5.3.2 Funktionelle Einteilung der neurophysiologischen Leistungen

Aus einer funktionellen Perspektive sind sowohl bei Piktogrammen als auch bei Wörtern die im Folgenden dargestellten Aspekte des neurophysiologischen Prozesses zu unterscheiden.

1. Zunächst wird von den Probanden wahrgenommen, dass da **überhaupt ein visueller Reiz** auf dem Bildschirm erscheint (**Orientierungsreaktion: N1, P1**); da sich weder die physikalischen Reizeigenschaften noch die Auftretenshäufigkeiten zwischen Piktogrammen und Wörtern systematisch unterscheiden, würde ein eventueller Unterschied hier auf eine stark gerichtete und selektive Aufmerksamkeitszuwendung zu einem Reizmodus hinweisen (HILLYARD et al., 1973; ALTENMÜLLER, 1996). Diese ist aber im Setting nicht vorgegeben und wäre damit erklärungsbedürftig.
2. Als nächstes steht für die Probanden die '**Entscheidung**' an, ob es sich um einen **Zielreiz** oder einen **Nicht-Zielreiz** handelt. Diese Unterscheidung ist die klassische Domäne der **P3** und des ihr häufig vorangehenden **P2-N2-Komplexes**. Sowohl Piktogramme als auch Wörter sind in unserem Setting, bezogen auf die Rechenaufgabe, **Nicht-Zielreize**. Eventuelle Unterschiede in Kurvenabschnitten, die die **Zielreiz/Nicht-Zielreiz**-Unterscheidung abbilden, wären folglich aus dem Setting selbst nicht unmittelbar verständlich. Auch ein solcher Befund wäre also erklärungsbedürftig.
3. An die Zielreiz/Nicht-Zielreiz-Entscheidung schließt sich bei Zahlen (Zielreize) eine Rechenaufgabe, bei Piktogrammen und Wörtern (Nicht-Zielreize) dagegen ein **nicht-vorgegebenes Weiterverarbeiten der Stimuli** an. In diese Phase des nicht-

vorgegebenen Weiterverarbeitens fallen auch alle auf **Sinn oder Bedeutung** bezogenen Verarbeitungsschritte, sowie alle **weitergehenden kognitiven Leistungen** (WEST et al., 2003). Da die inhaltliche Kongruenz zwischen Wörtern und Piktogrammen empirisch abgesichert wurde, wären eventuelle Unterschiede zwischen Piktogrammen und Wörtern in den entsprechenden Kurvenabschnitten (**N3, N4, P6, Späte Positive Komponente**) am ehesten abhängig von der Stimuluskategorie zu deuten.

Anhand dieser funktionellen Einteilung werde ich in den folgenden Kapiteln versuchen, mich der großen Fülle der in der Literatur berichteten Zusammenhänge zu nähern. Die Frage des Einflusses der Stimuluskategorie (**Piktogramme/Wörter**) auf diese funktionellen Prozesse ist dabei natürlich die für uns spannendste Frage.

5.3.3 Orientierungsreaktionen bei Piktogrammen und Wörtern

Die **erste Leistung**, die reine Wahrnehmung, dass ein visueller Stimulus erscheint, wird v.a. in den frühen, noch stark exogen mitbestimmten EKP-Anteilen kodiert (**P1** und **N1**). Besonders die **N1** wird als Korrelat einer grundlegenden Orientierungsreaktion angesehen (SOKOLOV, 1975; ALTENMÜLLER, 1996). In unseren Kurven finden sich in diesem Bereich **keine nennenswerten Unterschiede** zwischen Piktogrammen und Wörtern. Frontocentral zeigen sich für beide Reizmodi nur minimale Auslenkungen, parietal kann lateral eine kleine **P-120-Komponente** abgegrenzt werden, die in Pz jedoch fehlt.

5.3.4 P2 und N2 bei Piktogrammen und Wörtern

Die **P2** wird z.B. als **P165** dem (frontocentral betonten) **P165-N2b-P3a-Komplex** zugehörig angesehen (KOELEGA & VERBATEN, 1991). Sowohl die v.a. in unseren **Wörter**-Kurven gefundenen **P-150-Komponente** als auch die stärker in den **Piktogramme**-Kurven gefundene

P-220-Komponente sind ebenfalls in einen frontocentral betonten **Komplex mit N-200- und P-300-Komponenten** eingebunden, so dass eine Deutung als **P2** in beiden Fällen gerechtfertigt erscheint.

Die **N2** stellt sich je nach Auslösemodus unterschiedlich dar: Die sogenannte **Mismatch Negativity (MMN)**, auch als **N2a** bezeichnet, ist größer, wenn der Proband **nicht** auf die Reize achtet und wird deshalb als Ausdruck eines passiven Diskriminationsprozesses gesehen (SAMS et al., 1985; NÄÄTÄNEN, 1990; SAMS & NÄÄTÄNEN, 1991). Richtet der Proband dagegen seine Aufmerksamkeit auf den abweichenden Reiz, entsteht die **N2b**, deren Latenz positiv mit der Reaktionszeit korreliert. RITTER et al. (1984) und NÄÄTÄNEN (1986) sehen in dieser Komponente das Korrelat eines **aktiven Kategorisierungsprozesses**, der eine bewusste Reaktion auf den Reiz vorbereitet.

Da es sich sowohl bei **Piktogrammen** als auch bei **Wörtern** um **Nicht-Zielreize** handelt, liegt zunächst also eine Zuordnung der **N-270-Komponente (Piktogramme)** und der **N-340-Komponente (Wörter)** zur **Mismatch Negativity (N2a)** nahe. Nicht erklären kann eine solche Zuordnung hingegen, warum diese Komponente für Piktogramme so viel deutlicher ausgeprägt ist als für Wörter.

5.3.5 Gibt es eine für Piktogramme spezifische EKP-Komponente?

Eine Deutung der **N-270/N-340-Komponente** als **N300** wäre dagegen eine gute Erklärung für diese Beobachtung. Die **N-300-Komponente** gilt als **spezifisch für bedeutungstragende Bilder**. FEDERMEIER und KUTAS registrierten eine **N-300-Komponente**, wenn die Probanden am Ende eines Satzes anstelle eines Wortes ein semantisch erwartetes oder unerwartetes Bild sahen (FEDERMEIER & KUTAS, 2002).

Auch WEST und HOLCOMB fanden eine **N-300-Komponente** bei einer Aufgabe, die die inhaltliche Bedeutungserfassung der gezeigten Bilder erforderte (WEST & HOLCOMB, 2002). Beide Forscherteams berichten über eine frontocentrale Lokalisation der **N-300-Komponente** sowie von ihrer Abhängigkeit vom semantischen Kontext der Präsentation

(FEDERMEIER & KUTAS, 2002; WEST & HOLCOMB, 2002). Auch GUNTER und BACH fanden ein frontocentrales Verteilungsmuster der **N-300-Komponente** und deuteten diese als Korrelat eines Bilder-spezifischen Prozesses. Sie zeigten den Probanden bedeutungstragende und nicht-bedeutungstragende Handzeichen. Interessanter Weise evozierten die Handzeichen ohne definierte Bedeutung größere **N-300-Komponenten** als die Zeichen mit definierter Bedeutung (GUNTER & BACH, 2004). LEBIB et al. fanden umso größere **N-300-Komponenten** bei lippenlesenden Probanden, je größer die Diskrepanz zwischen gehörter und an den Lippen abgelesener Sprache war. Diese Beobachtung nannten sie den „N-400-like effect“ der N-300-Komponente (LEBIB et al., 2004). Auch HAMM et al. fanden **N-300-Komponenten** bei semantischen Diskrepanzen zwischen Wörtern und anschließend gezeigten Bildern (HAMM et al., 2004).

Sowohl die in unseren Wörter-Kurven sichtbare **N-340-Komponente**, als auch die stärker ausgeprägte **N-270-Komponente** der Piktogramme-Kurven sind frontocentral lokalisiert. Über eine Abhängigkeit vom semantischen Kontext können wir keine Aussage machen. Ein gewisses 'verstehendes Erfassen' des Reizmaterials ist jedoch zweifellos in unserem Setting eine Voraussetzung für die Unterscheidung von **Zielreiz** und **Nicht-Zielreiz** (zumindest was die Unterscheidung von Wörtern und Zahlen angeht). Als Erklärung dafür, dass in den Wörter-Kurven überhaupt eine **N-340-Komponente** auftaucht, kommt neben ihrer möglichen Deutung als **Mismatch-Negativity** v.a. die **hohe Imaginierbarkeit** der verwendeten **konkreten Begriffe** in Betracht (vgl. PAIVIO, 1971; 1986; 1991).

5.3.6 Sind Wörter und Piktogramme ‚echte‘ Nicht-Zielreize?

Die von uns sowohl für **Piktogramme** als auch für **Wörter** gefundene **P-360-Komponente** könnte einer **Nicht-Zielreiz**-korrelierten **P3a** entsprechen. Für diese Deutung spricht auch ihr Auftreten im Rahmen eines frontocentral betonten **P2-N2-P3-Komplexes**, der dann z.B. als **P165-N2b-P3a-Komplex** zu deuten wäre (NÄÄTÄNEN 1990; KOELEGA & VERBATEN, 1991). Die Latenz der klassischen **P3a** liegt meist zwischen 250 und 350 msec (SQUIRES et al., 1975; vgl. auch OLBRICH, 1989), die **P-360-Komponente** läge damit also quasi am „hinteren Limit“.

Gegen eine ausschließliche Deutung der **P-360-Komponente** als **P3a** spricht jedoch, dass die **P3a** meistens frontocentral stärker ausgeprägt wird als parietal (vgl. SQUIRES et al., 1975; COMERCHERO & POLICH, 1999). Die von uns gefundene **P-360-Komponente** weist dagegen - ebenso wie die nachfolgende **P-510-Komponente** - eine eher parietal-betonte Potentialverteilung auf. Dieses Verteilungsmuster ist als typisch für die an einen **Zielreiz** gekoppelte **P3b** beschrieben worden (OLBRICH, 1989; POLICH & COMERCHERO, 2003). Für eine solche Deutung spricht auch, dass sowohl die **P-360-** als auch die **P-510-Komponente** ihre größte Ausprägung in der Medianlinie (Pz) erfahren. Diese beiden Komponenten zusammen könnten also möglicherweise gemeinsam als Ausprägung einer **P3b** verstanden werden. Die Latenzen beider Komponenten liegen außerdem in dem für die **P3b** bei jungen gesunden Erwachsenen berichteten Bereich (zwischen etwa 340 und 700 msec, ALTENMÜLLER, 1996; etwas früher bei FJELL & WALHOVD, 2003).

OLBRICH (1989) berichtet von einem Experiment, in dem den Probanden in häufiger Wiederholung zwei verschiedene Tonhöhen vorgespielt wurden: der tiefere Ton ($f = 800$ Hz) machte dabei 90 % der Reize aus, der höhere ($f = 1400$ Hz) 10 %. Die Probanden der Gruppe A sollten nur passiv zuhören, ohne eine Aufgabe zu lösen, die Probanden der Gruppe B dagegen sollten die seltenen Töne zählen. Die EKP-Kurven aus Gruppe A und B waren für die häufigen 800-Hz-Töne praktisch identisch: N1-P2, dann flacher Kurvenverlauf. Für die seltenen 1400-Hz-Töne dagegen unterschieden sich die Potentialkurven der „Zähler“ und der „Nicht-Zähler“: während die „Nicht-Zähler“ nach der N1-P2-Sequenz eine **P3a** ausprägten, zeigten die Kurven der „Zähler“ eine etwas kleinere **P3a**, gefolgt von einer **P3b**. Diese Befunde bestätigen einerseits das „Summationskonzept“, das von sich überlagernden funktionenspezifischen „Elementarwellen“ ausgeht (NÄÄTÄNEN et al., 1986; OLBRICH, 1989; PICTON et al., 2000). Das bedeutet auch für unseren Zusammenhang: Nicht nur „entweder eine **P3a** oder eine **P3b**“ kann zutreffend sein, sondern auch „sowohl eine **P3a** als auch eine **P3b**“ ist möglich. Andererseits weisen OLBRICHTs Ergebnisse auch darauf hin, dass eine Deutung unserer Kurven als ausschließliches Produkt von **Nicht-Zielreizen** kaum möglich ist: Die **P3b** trat - auch in Kombination mit der **P3a** - nur bei **Zielreizen** auf.

Die sich aus diesen Befunden ergebende Frage, wie es bei eigentlich dezidierten **Nicht-Zielreizen** zu **Zielreiz**-typischen Kurvenverläufen kommen kann, ist natürlich schwierig zu beantworten. Eine Betrachtung der folgenden Zusammenhänge mag da hilfreich sein:

Die Amplitude der **P3b** wird v.a. durch zwei Aspekte beeinflusst:

1. Sie wird (wie auch die der **P3a**) größer mit **abnehmender Wahrscheinlichkeit** des Auftretens des Zielreizes (DUNCAN-JOHNSON & DONCHIN, 1977).
2. Die Amplitude der **P3b** ist positiv korreliert mit der **Aufgabenrelevanz** (JOHNSON, 1986; WEST et al., 2003).

Zum **ersten Punkt** kann man anmerken, dass eine **Auftretenswahrscheinlichkeit** von etwa 30%, wie sie bei uns sowohl für Piktogramme wie für Wörter und für Zahlen vorliegt, sowohl für Zielreize als auch für Nicht-Zielreize bereits eine sichtbare **P-300-Komponente** induziert (vgl. DUNCAN-JOHNSON & DONCHIN, 1977; dort nicht in **P3a** oder **P3b** differenziert).

Zum **zweiten Punkt** ist zu bedenken, dass es neben der „offiziellen“ Aufgabenstellung mit einer vorgegebenen **Aufgabenrelevanz** auch immer ein unkontrolliert bleibendes Eigeninteresse der Probanden gibt (vgl. den „Brief einer Versuchsperson an den Versuchsleiter“ (JOUARD, 1973) in BORTZ & DÖRING, 2002). Diese 'hidden agenda' kann das Untersuchungsergebnis erheblich mit beeinflussen, insbesondere wenn sie in der Tendenz bei vielen Probanden ähnlich ist (sog. '**Confounder**', vgl. GLANTZ, 1998). Die Ergebnisse der Begleitevaluation legen, wie oben bereits ausgeführt, eine gewisse „Langeweile“ nahe, die durchaus ein spielerisches Gespanntsein auf das nächste „Bildchen“ beinhalten kann. Dies würde einer gewissen Aufgabenrelevanz sicherlich entsprechen. Möglicherweise ist der für die Piktogramme etwas stärker ausgeprägte **P-360-P510-Komplex** sogar durch diese, im größeren „Unterhaltungswert“ der Piktogramme begründete größere „Relevanz“ mitbedingt (vgl. OLBRICH, 1989; ALTENMÜLLER, 1996).

Inwiefern Unterschiede zwischen den Stimuluskategorien bei den einzelnen Probanden- und Patientengruppen durch die **Art der Verarbeitung** im Bild- oder Wortsystem, oder durch den mit ihrem Bild- oder Wortcharakter verbundenen **unterschiedlichen „Unterhaltungswert“** zu erklären sind, wird jeweils für die untersuchte Gruppe neu zu diskutieren (und gegebenenfalls z.B. mit Hilfe einer Begleitevaluation empirisch abzusichern) sein, um die Vergleichbarkeit der Ergebnisse zu sichern. So ist es z.B. denkbar, dass sich Lese-Anfänger begierig auf die Worte stürzen, stolz, sie lesen zu können. Genauso ist es denkbar, dass Legastheniker die Worte zwar als „Nicht-Zahl“ identifizieren, aber gar nicht „lesen“, sich aber umso mehr auf die Piktogramme freuen.

5.3.7 Inhalt und Bedeutung von Piktogrammen und Wörtern

Damit sind wir beim **dritten** der oben aufgeführten funktionellen Aspekte unserer Aufgabenstellung, dem **nicht-vorgegebenen Weiterverarbeiten der Stimuli**. Dazu gehört auch alles, was mit der Erfassung der Bedeutung, dem inhaltlichem Verstehen und der semantischer Verarbeitung zu tun hat.

Dass auch Wörterlisten semantische Erwartungen aufbauen können, die die Ereigniskorrelierten Potentiale maßgeblich beeinflussen, ist seit Langem bekannt (BENTIN et al., 1985; BODDY, 1986; HOLCOMB, 1986 und 1988). Dies konnte sowohl für visuelle als auch für akustische und visuell-akustisch-gemischte (**cross-modal**) Wortfolgen nachgewiesen werden (HOLCOMB & NEVILLE, 1990; HOLCOMB & ANDERSON, 1993). Außerdem konnte auch ein „**cross-form-priming**“ zweier verschiedener Stimuluskategorien innerhalb des gleichen sensorischen Modus (z.B. Piktogramme/geschriebene Wörter) mit Hilfe der **N-400-Komponente** nachgewiesen werden (CONNOLLY et al., 1995). Aufgrund dieser Daten habe ich bei der Konstruktion des Settings großen Wert auf die inhaltliche Kongruenz zwischen Piktogrammen und Wörtern gelegt, damit es nicht durch inhaltliche Unterschiede zu einer Verzerrung der Piktogramme-Wörter-Differenzen kommen kann (vgl. die Kapitel 3.1.2 und 5.1.2).

Durch die pseudorandomisierte Präsentation der Stimuli wird eine semantische Regelmäßigkeit in der Begriffsfolge vermieden. Jeder auftauchende Begriff ist also im Vergleich zu dem ihm vorausgehenden Begriff „semantisch unerwartet“. Dieser Aufbau ließ die Ausprägung einer **N4** erwarten, die ja dann auch in den gemessenen Kurven nachgewiesen werden konnte (**N-450-Komponente**). Die Tatsache, dass für den Vergleich zwischen Piktogrammen und Wörtern bezüglich der **N-450-Komponente** kein signifikanter Unterschied nachgewiesen werden konnte, lässt vermuten, dass größere Unterschiede in der wahrgenommenen semantischen Nähe oder Ferne zwischen Piktogrammen und Wörtern tatsächlich nicht bestanden (vgl. CONNOLLY et al., 1995).

Die von uns gefundene **P-510-Komponente** könnte man mit der in der Literatur berichteten **P-600-Komponente** in Verbindung bringen wollen. Dies hielte ich jedoch nicht für sachgemäß, da die P-600-Komponente bisher nur bei Veränderungen der Syntax sprachlicher Äußerungen beobachtet wurden (OSTERHOUT & HOLCOMB, 1992; FRISCH et al., 2002; HAGOORT et al., 2003) und in unserem Setting keinerlei syntaktische Aspekte der Sprachverarbeitung berührt sind. Die **P-510-Komponente** würde ich also eher, wie oben geschehen, als Teil einer **P3b** deuten.

Die von uns beschriebene **Späte Positive Komponente** ist frontocentral für Piktogramme durchgehend größer als für Wörter, parietal dagegen nicht. Im Gegensatz zum **P-360-P-510-Komplex**, der ja von frontal nach parietal an Amplitude zunimmt, nimmt die **Späte Positive Komponente** von parietal nach frontal an Amplitude zu. Sie gehört zweifellos zu den „Langsamen Potentialen“ und kann deshalb auch als Ausdruck komplexer Informationsverarbeitungsprozesse angesehen werden (ALTENMÜLLER, 1996). Frontal findet sich der „prefrontal association cortex“ (LYNCH, 1997). Die von uns gefundene frontocentral deutlich größere Amplitude der Piktogramme-Kurven im Vergleich zu den Wörter-Kurven würde die weiter oben geäußerte These, dass die Piktogramme für die Probanden möglicherweise einen größeren – zum „Träumen“ anregenden - Unterhaltungswert hatten als die Wörter, durchaus unterstützen.

5.3.8 Zusammenfassende Deutung der EKP-Unterschiede

Fasst man diese Überlegungen zusammen, so ergibt sich als nahe liegende Deutung unserer EKP-Befunde folgendes Bild: Die **P-220-** und **P-360-Komponente** sind stark von einer zugrunde liegenden **frontocentralen P3a** getragen, die **P-360-Komponente** zusätzlich von einer **parietalen P3b**, die auch noch die **P-510-Komponente** maßgeblich formt. Der **N-270-Einschnitt** in den frontocentralen Piktogramme-Kurven ist ein Äquivalent der **bildbezogenen N300**, die **N-450-Komponente** Ausdruck einer für Piktogramme und Wörter gleichermaßen ausgeprägten **semantischen Verarbeitung** dieser Stimuli.

Die **Späte Positive Komponente** ist ein frontalbetontes **Langsames Potential**. Die stärkere Ausprägung der **P3a**-bezogenen Komponenten für Piktogramme könnte man mit der größeren „**Neuartigkeit**“ der Piktogramme im Vergleich zu Wörtern und Zahlen erklären, die stärkere Ausprägung der **P3b**-bezogenen Komponenten eventuell durch die heimliche „**Relevanz**“, die ihnen durch ihren „Unterhaltungswert“ im Rahmen dieser zwar konzentrativ fordernden, kognitiv aber eher unterfordernden Untersuchung zuwächst (vgl. die Ergebnisse der Begleitevaluation). Ein „**Träumen**“ über die Piktogramme könnte der Grund sein für die stärker ausgeprägte frontale **Späte Positive Komponente** bei Piktogrammen. Dass sich überhaupt P3-bezogene Formationen zeigen, hängt sicherlich auch mit der **Auftretenswahrscheinlichkeit** der Stimuli von jeweils 33% zusammen.

5.4 Schlussfolgerungen und Ausblick

Das Ziel unserer Arbeitsgruppe ist es, zur Erschließung EKP-bezogener Größen als klinisch relevante Instrumente in der Diagnostik, Differentialdiagnostik und/oder Verlaufskontrolle von psychiatrischen und kinder- und jugendpsychiatrischen Krankheitsbildern beizutragen (vgl. HEINZ, 1998). Der Weg dorthin ist sicher noch weit und es sind noch einige Hürden zu nehmen. Inzwischen deuten sich jedoch Lösungen an für Probleme, die lange Zeit wie „naturegeben“ und unüberwindlich erschienen (z.B. die interindividuelle Variabilität oder die damit verbundenen niedrigen Sensitivitäts- und Spezifitätswerte der einzelnen EKP-Komponenten).

Auf dem Weg zu diesem hochgesteckten Ziel konnte die vorliegende Arbeit einen bescheidenen Beitrag leisten:

Es wurde ein einfach zu etablierendes Untersuchungssetting entwickelt, das den aktuellen methodischen Leitlinien der SOCIETY FOR PSYCHOPHYSIOLOGICAL RESEARCH (PICTON et al., 2000) entspricht. Es erlaubt eine flexible Anpassung an die Bedingungen der verschiedenen Probanden- und Patientengruppen (z.B. Konzentrationsfähigkeit, kognitive Leistungsfähigkeit), ohne die Vergleichbarkeit der Ergebnisse mit der Referenzgruppe und

zwischen den geplanten Probanden- und Patienten-Gruppen ihrerseits zu gefährden. Die konzentrierte und kognitive Beanspruchung der Probanden wurde empirisch erfasst und konkrete Möglichkeiten einer sinnvollen Anpassung des Settings an Kinder- und/oder Patientengruppen wurden aufgezeigt und begründet.

Bei der Auswertung der Daten wurden mehrere konkrete Berechnungs- und Darstellungsverfahren erprobt, zueinander in Beziehung gesetzt und kritisch bezüglich ihrer Stärken und Schwächen im Anwendungskontext reflektiert. Aufgrund des heuristisch-explorativen Charakters dieser Arbeit wurde besonderer Wert auf die „interne“ und „statistische Validität“ (BORTZ & DÖRING, 2002) und die strikte Kontrolle der Irrtumswahrscheinlichkeit (Alpha-Adjustierung, „Stufendiagnostik“) gelegt, um die Gefahr „falsch-positiver“ Ergebnisse zu minimieren (vgl. PICTON et al., 2000). Beide Prinzipien wurden durchgehend gewahrt und explizit sichtbar gemacht.

Auf diese Weise konnten methodisch gut reflektierte, statistisch zuverlässige Referenzdaten einer neurologisch-psychiatrisch gesunden Erwachsenenpopulation ermittelt werden, die nun für den Vergleich mit Kindern, Jugendlichen und/oder psychiatrischen Patienten zur Verfügung stehen.

Wie könnte es nun weitergehen?

Bezüglich der **interindividuellen Variabilität** der Ereigniskorrelierten Potentiale erscheint ein viel versprechender Weg die intraindividuelle Quotientenbildung von EKP-Parametern zu sein. Dadurch kommt es quasi zu einer „Eichung“ der Parameter auf den individuellen Patienten. Individuelle Besonderheiten des Patienten können so „herausgekürzt“ werden und es entstehen besser vergleichbare Werte mit geringerer interindividueller Variabilität (vgl. HEINZ, 1995 und 1998). Da es sich um (quasi-)stetige Daten handelt (WERNER, 1992) eignen sie sich bei einer ausreichend breiten Datenbasis sehr gut zur Berechnung von Receiver-Operating-Characteristics-Kurven (ROC-Kurven; ALTMAN, 2002b) bezüglich verschiedener Cut-off-Werte für die diagnostische Entscheidungsfindung. Dieser Aspekt ist wichtig für die folgenden Überlegungen.

Eine mögliche Lösung des Problems der **niedrigen Sensitivität und Spezifität** der EKP-Komponenten könnte in der bewussten Nutzung der Individualität der konkreten diagnostischen Entscheidungssituation liegen:

Wenn es gelingen würde, **den konkreten Entscheidungskontext** einerseits so zu charakterisieren, dass sich klar die Anforderungen an die diagnostischen Kenngrößen (z.B. Sensitivität/Spezifität und daraus abgeleitet Positive oder Negative Likelihood Ratio) eines in diesem Kontext anzuwendenden Tests formulieren ließen (vgl. DONNER-BANZHOFF, 1999), andererseits für die verschiedenen Störungsbilder und EKP-Parameter empirisch gut fundierte ROC-Kurven zur Verfügung stünden (s.o.), würde es meines Erachtens möglich, über die Bestimmung **der optimalen Cut-off-Werte für den individuellen Entscheidungsfall** das volle Potential der Diskriminationsfähigkeit der Ereigniskorrelierten Potentiale auszuschöpfen (vgl. BLAND, 1996; GLANTZ, 1998; ALTMAN, 2002b; HOPSTAKEN et al., 2003).

Beim derzeitigen Vorgehen wird durch das Absehen von der konkreten Entscheidungssituation viel „Diskriminationspotential“ verschenkt. Durch eine Optimierung der Spezifität und Sensitivität bezogen auf die konkrete diagnostische Entscheidungssituation, also v.a. die **Vortest-Wahrscheinlichkeit** (Prävalenz, sonstige Befunde, etc.) und die **genaue Funktion des Tests im diagnostischen Gesamtkontext** (ob er z.B. zum „Nachweis“ oder zum „Ausschluss“ einer Diagnose dienen soll), könnte die Relevanz der Ereigniskorrelierten Potentiale für einen klinischen Einsatz maßgeblich gesteigert werden (vgl. BUCHER, 2000b; GREENHALGH, 2001).

Aus diesen Überlegungen folgt, dass die **systematische Erforschung störungsabhängiger EKP-Komponenten** nicht nur (im Sinne der neuropsychiatrischen Grundlagenforschung) das Verständnis zugrundeliegender Pathomechanismen und die Entwicklung psychophysiologischer Modelle voranbringt, sondern auch ein **ernstzunehmendes Potential** für eine **zukünftige klinisch-praktische Anwendung** birgt.

6 Literaturverzeichnis

1. Abholz HH (1998) Biostatistische Grundlagen allgemeinmedizinischer Arbeit. In: Kochen MM (ed) Allgemein- und Familienmedizin. 2. Auflage. Hippokrates Verlag, Stuttgart
2. Altenmüller E (1993) Psychophysiology and the EEG. In: Niedermeyer E, Lopez da Silva F (eds) Electroencephalography. Williams and Wilkins, Baltimore: 597-613
3. Altenmüller E (1996) Ereigniskorrelierte Potentiale. In: Stöhr M, Dichgans J, Buettner UW, Hess CW, Altenmüller E (eds) Evozierte Potentiale. 3. Auflage, Springer, Berlin-Heidelberg-New York: 557-587
4. Altman GA (2002a) Confidence intervals in practice. In: Altman GA, Machin D, Bryant TN, Gardner MJ (eds) Statistics with confidence – second edition. BMJ books, Bristol
5. Altman GA (2002b) Diagnostic Tests. In: Altman GA, Machin D, Bryant TN, Gardner MJ (eds) Statistics with confidence – second edition. BMJ books, Bristol
6. Altman GA, Gore SM, Gardner MJ, Pocock SJ (2002) Statistical guidelines for contributors to medical journals. In: Altman GA, Machin D, Bryant TN, Gardner MJ (eds) Statistics with confidence – second edition. BMJ books, Bristol
7. Amano S, Kondo T, Kakehi K (1995) Modality dependency of familiarity ratings of Japanese words. Perception and Psychophysics 57: 598-603
8. Arnheim R (1969) Visual Thinking. Berkeley, CA: University of California Press
9. Bange F, Bathien N. (1998) Visual cognitive dysfunction in depression: an event-related potential study. Electroencephalogr Clin Neurophysiol 108: 472-81.
10. Barrett SE, Rugg MD (1989) Asymmetries in event-related potentials during rhyme-matching: confirmation of the null effects of handedness. Neuropsychologia 27: 539-48
11. Bartussek D, Diedrich O, Naumann E, Collet W (1993) Intraversion-extraversion and event-related potential: A test of J.A. Gray's theory. Pers Individ Diff 14: 565-574
12. Beck-Bornholdt HP, Dubben HH (2002) Der Hund, der Eier legt. Erkennen von Fehlinformationen durch Querdenken. 3. Auflage. Rororo science, Hamburg
13. Begleiter H, Porjesz b, Wang W (1995) Event-related brain potentials differentiate priming and recognition to familiar and unfamiliar faces. Electroencephalogr Clin Neurophysiol 94: 41-49

14. Belmore SM, Yates JM, Bellack DR, Jones SN, Rosenquist SE (1982) Drawing inferences from concrete and abstract sentences. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior* 21: 338-351
15. Bentin S (1987) Event-related potentials, semantic processes, and expectancy factors in word recognition. *Brain Lang* 31: 308-27
16. Bentin S, McCarthy G, Wood CC (1985) Event-related potentials associated with semantic priming. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 60: 343-355
17. Benton AL (1980) The Neuropsychology of facial recognition. *American Psychologist* 35:176-186
18. Berner M, Berger M (2000) EbM in der Psychiatrie – Beispiel „Depression“. In: Kunz R, Ollenschläger G, Raspe H, Jonitz G, Kolkmann FW (eds) *Lehrbuch Evidenzbasierte Medizin in Klinik und Praxis*. Deutscher Ärzte-Verlag, Köln
19. Binnie C (2001) Proof of principle trials: EEG surrogate endpoints. *Epilepsy Res* 45:7-11; discussion 13-4
20. Blair RC, Karniski W (1993) An alternative method for significance testing of waveform difference potentials. *Psychophysiology* 30: 518-524
21. Bland M (1996) *An introduction to medical statistics – second edition*. Oxford university press. Oxford, New York, Tokyo
22. Boddy J (1986) Event-related potentials in chronometric analysis of primed word recognition with different stimulus onset asynchronies. *Psychophysiology* 23: 232-245
23. Bodmer F (1989) *Die Sprachen der Welt*. Lizenzausgabe für M Pawlak Verlagsgesellschaft mbH, Herrsching
24. Bortz J, Döring N (2002) *Forschungsmethoden und Evaluation*. 3. Auflage. Springer, Berlin-Heidelberg-New York
25. Bötzel K, Grüsser OJ (1989) Electric brain potentials evoked by pictures of faces and non-faces: a search for “face-specific” EEG-potentials. *Exp Brain Res* 77:349-360
26. Bransford JD, McCarrell NS (1974) A sketch of a cognitive approach to comprehension: Some thoughts on what it means to comprehend. In: Palermo WWD (ed), *Cognition and the symbolic processes* (pp 189-230). Hillsdale NJ: Lawrence Erlbaum Associates
27. Brown GDA, Watson FL (1987) First in, first out: Word learning age and spoken word frequency as predictors word familiarity and word naming latency. *Mem Cogn* 15: 208-216
28. Bruce V, Young A (1986) Understanding face recognition. *Brit J Psych* 77: 305-327

29. Brunswick N, Rippon G (1994) Auditory event-related potentials, dichotic listening performance and handedness as indices of lateralisation in dyslexic and normal readers. *Int J Psychophysiol* 18: 265-75
30. Bucher HC (2000a) Kritische Bewertung von Meta-Analysen. In: Kunz R, Ollenschläger G, Raspe H, Jonitz G, Kolkman FW (eds) *Lehrbuch Evidenzbasierte Medizin in Klinik und Praxis*. Deutscher Ärzte-Verlag, Köln
31. Bucher HC (2000b) Kritische Bewertung von Screening und Diagnostik. In: Kunz R, Ollenschläger G, Raspe H, Jonitz G, Kolkman FW (eds) *Lehrbuch Evidenzbasierte Medizin in Klinik und Praxis*. Deutscher Ärzte-Verlag, Köln
32. Buckner RL, Koutstaal W (1998) Functional neuroimaging studies of encoding, priming, and explicit memory retrieval. *Proc Natl Acad Sci USA* 95: 891-8
33. Bühl A, Zöfel P (1996) *Professionelle Datenanalyse mit SPSS für Windows*. Addison-Wesley, Bonn, Paris
34. Burton AM, Bruce V (1992) I recognize your face but I can't remember your name: A simple explanation? *Brit J Psych* 83: 45-60
35. Bußmann H (Ed.) (2002) *Lexikon der Sprachwissenschaft*. Dritte aktualisierte und erweiterte Auflage. Kröner, Stuttgart
36. Byrne JM, Connolly JF, MacLean SE, Beattie TL, Dooley JM, Gordon KE (2001) Brain activity and cognitive status in pediatric patients: development of a clinical assessment protocol. *J Child Neurol* 16: 325-32
37. Byrne JM, Dywan CA, Connolly JF (1995) An innovative method to assess the receptive vocabulary of children with cerebral palsy using event-related brain potentials. *J Clin Exp Neuropsychol* 17: 9-19
38. Cabeza R (1995) Investigating the mixture and subdivision of perceptual and conceptual processing in Japanese memory tests. *Memory and Cognition* 23: 155-165
39. Campanella S, Gaspard C, Debatisse D, Bruyer R, Crommelinck M, Guerit JM (2002) Discrimination of emotional facial expressions in a visual oddball task: an ERP study. *Biol Psychol* 59: 171-86
40. Campanella S, Vanhoolandt ME, Philippot P (2005) Emotional deficit in subjects with psychopathic tendencies as assessed by the Minnesota Multiphasic Personality Inventory-2: an event-related potentials study. *Neurosci Lett* 373:26-31
41. Chang SK (1991) *Principles of Pictorial Information System Design*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall

42. Chang SK, Costagliola G, Orefice S, Polese G, Baker BR (1992) A methodology for iconic language design with application to augmentative communication. Proceedings of the 1992 International Workshop on Visual Languages, Seattle, WA: 110-116
43. Coles MGH, Rugg MD (1995) Event-related brain potentials: An introduction. In: Rugg MD, Coles MGH (eds) *Electrophysiology of mind*. Oxford University Press, Oxford
44. Coltheart M (1980) Deep dyslexia: A right hemisphere hypothesis. In KPJMM Coltheart (ed) *Deep dyslexia*. London: Routledge and Kegan Paul
45. Coltheart V, Laxon VJ, Keating C (1988) Effects of word imageability and age of acquisition on children's reading. *Brit J Psych* 79: 1-11
46. Comerchero MD, Polich J (1999) P3a and P3b from typical auditory and visual stimuli. *Clin Neurophysiol* 110: 24-30
47. Condray R, Siegle GJ, Cohen JD, van Kammen DP, Steinhauer SR (2003) Automatic activation of the semantic network in schizophrenia: evidence from event-related brain potentials. *Biol Psychiatry* 54: 1134-48
48. Connolly JF, Byrne JM, Dywan CA (1995) Assessing adult receptive vocabulary with event-related potentials: an investigation of cross-modal and cross-form priming. *J Clin Exp Neuropsychol* 17: 548-65
49. Cooper R, Osselton W, Shaw JC (1984) *Elektroenzephalographie – Technik und Methoden*. 3., erweiterte Auflage, Gustav Fischer Verlag, Stuttgart-New York
50. Courchesne E, Hillyard SA, Galambos R (1975) Stimulus novelty, task relevance and the visual evoked potential in man. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 39: 131-143
51. Cuadrado EM, Weber-Fox CM (2003) Atypical syntactic processing in individuals who stutter: evidence from event-related brain potentials and behavioural measures. *J Speech Lang Hear Res* 46(4): 960-76
52. Daly LE (2002) Confidence intervals and sample size. In: Altman GA, Machin D, Bryant TN, Gardner MJ (Eds.) *Statistics with confidence – second edition*. BMJ books, Bristol
53. Donchin E (1981) Surprise! ...Surprise? *Psychophysiology* 18: 493-513
54. Donchin E, Coles MGH (1988) Is the P300 component a manifestation of context updating? *Behav Brain Sci* 11: 355-372
55. Donchin E, Heffley E, Hillyard SA, Loveless N, Maltzmann I, Öhmann A, Rösler F, Ruchkin D, Siddle D (1984) Cognition and event-related potentials: II. The orienting reflex. In: Karrer R, Cohen J, Tueting P (eds) *Brain and Information: Event-related potentials*. *Ann NY Acad Sci* 425: 39-57

56. Donner-Banzhoff N (1999) Wie stellt der Allgemeinarzt eine Diagnose? *Z Allg Med* 75: 744-49
57. Duncan-Johnson CC, Donchin E (1977) On quantifying surprise: The variation of event-related potentials with subjective probability. *Psychophysiology* 14: 456-467
58. Federmeier KD, Kutas M (2002) Picture the difference: electrophysiological investigations of picture processing in the two cerebral hemispheres. *Neuropsychologia* 40: 730-47
59. Fjell AM, Walhovd KB (2003) On the topography of P3a and P3b across the adult lifespan--a factor-analytic study using orthogonal procrustes rotation. *Brain Topogr* 15: 153-64
60. Fotiou F, Fountoulakis KN, Iacovides A, Kaprinis G. (2003) Pattern-reversed visual evoked potentials in subtypes of major depression. *Psychiatry Res* 118: 259-71.
61. Frisch S, Schlesewsky M, Saddy D, Alpermann A (2002) The P600 as an indicator of syntactic ambiguity. *Cognition* 85: B 83-92
62. Fuchigami T, Okubo O, Ejiri K, Fujita Y, Kohira R, Noguchi Y, Fuchigami S, Hiyoshi K, Nishimura A, Harada K (1995) Developmental changes in P300 wave elicited during two different experimental conditions. *Ped Neurol* 13: 25-28
63. Galandi D, Antes G (2000) Die Cochrane Collaboration. In: Kunz R, Ollenschläger G, Raspe H, Jonitz G, Kolkman FW (eds) *Lehrbuch Evidenzbasierte Medizin in Klinik und Praxis*. Deutscher Ärzte-Verlag, Köln
64. Gallagher EJ, Bijur PE, Latimer C, Silver W (2002) Reliability and validity of a visual analog scale for acute abdominal pain in the ED. *Am J Emerg Med* 20: 287-90
65. Georgiewa P, Rzanny R, Gaser C, Gerhard UJ, Vieweg U, Freesmeyer D, Mentzel HJ, Kaiser WA, Blanz B (2002) Phonological processing in dyslexic children: a study combining functional imaging and event related potentials. *Neurosci Lett* 318: 5-8
66. Gilhooly M, Gilhooly L (1979) Age-of -acquisition effects in lexical and episodic tasks. *Memory and Cognition* 7: 214-223
67. Glantz SA (1998) *Primer of biostatistics – fourth edition*. Deutsche Ausgabe: Heinecke A, Köpcke W (eds): *Biostatistik. Ein Fach für die Praxis*. McGraw-Hill International (UK) Ltd., London
68. Greenhalgh T (2001) *How to read a paper: The basis of evidence based medicine*. Second edition. BMJ books, London
69. Greenham SL, Stelmack RM (2001) Event-related potentials and picture-word naming: effects of attention and semantic relation for children and adults. *Dev Neuropsychol* 20: 619-38

70. Gunter TC, Bach P (2004) Communicating hands: ERPs elicited by meaningful symbolic hand postures. *Neurosci Lett* 372:52-6
71. Guthrie D, Buchwald JS (1991) Significance testing of difference potentials. *Psychophysiology* 28: 240-244
72. Haber RN, Myers BL (1982) Memory for pictograms, pictures, and words separately and all mixed up. *Perception* 11: 57-64
73. Haberlandt KF, Graesser AC (1985) Component processes in text comprehension and some of their interactions. *Journal of Experimental Psychology: General* 114: 357-375
74. Hagoort P (2003) Interplay between syntax and semantics during sentence comprehension: ERP effects of combining syntactic and semantic violations. *J Cogn Neurosci* 15(6): 883-99
75. Hagoort P, Wassenaar M, Brown CM (2003) Syntax-related ERP-effects in Dutch. *Cogn Brain Res* 16(1): 38-50
76. Haines DE (Ed.) (1997) *Fundamental Neuroscience*. Churchill Livingstone Inc. New York, London, Tokyo
77. Hamm JP, Johnson BW, Kirk IJ (2002) Comparison of the N300 and N400 ERPs to picture stimuli in congruent and incongruent contexts. *Clin Neurophysiol* 113:1339-50
78. Hansenne M, Olin C, Pinto E, Pitchot W, Ansseau M. (2003) Event-related potentials to emotional and neutral stimuli in alcoholism. *Neuropsychobiology* 48:77-81.
79. Haxby JV, Grady CL, Horwitz B et al. (1990) Dissociation of object and spatial visual processing pathways in human extrastriate cortex. *Proc Natl Acad Sci USA, Neurobiology* 88: 1621-25
80. Haxby VJ, Horwitz B, Ungerleider LG et al. (1994) The functional organization of human extrastriate cortex: A PET-rCBF study of selective attention to faces and locations. *J Neurosci* 14(11): 6336-53
81. Hegerl U, Juckel G, Möller HJ (1996) Ereigniskorrelierte Hirnpotentiale als Indikatoren neurochemischer Dysfunktionen bei psychiatrischen Patienten. *Der Nervenarzt* 67: 360-368
82. Heinz G (1995) Aktuelle Vorstellungen über die Bedeutung der Ereigniskorrelierten Potentiale in der psychiatrischen Diagnostik. In: Rösler M (ed) *Psychopathologie*. Psychologie Verlags Union, Weinheim: 261-274
83. Heinz G (1998) Die Methode der kompetitiven akustischen und visuellen Stimulation zur Auslösung ereigniskorrelierter Potentiale – Eine Untersuchung an Gesunden und schizophren Erkrankten. Habilitationsschrift, Universitätsnervenklinik – Psychiatrie und Psychotherapie der Universität des Saarlandes, Homburg/Saar

84. Heinz G, Emser W (1987) The P300 component of event-related potentials in schizophrenic patients. *Rev EEG Neurophysiol Clin* 17: 183-191
85. Heinz G, Rau I, Schneider B (1991) Visuell ausgelöste P300-Wellen. *Z EEG EMG* 22: 208-216
86. Heinze HJ, Münte TF (1992) Neurale Mechanismen kognitiver Prozesse: Der elektrophysiologische Ansatz. *Z Med Psych* 1: 58-76
87. Hennighausen K, Schulte-Körne G, Warnke A, Remschmidt H (2000) Contingent negative variation (CNV) bei Kindern mit hyperkinetischem Syndrom – Eine experimentelle Untersuchung mit dem Continuous Performance Test (CPT). *Z Kinder Jugendpsychiatr Psychother* 28: 239-46
88. Henson RN (2003) Neuroimaging studies of priming. *Prog Neurobiol* 70: 53-81
89. Hermann CS, Mecklinger A, Pfeifer E (1999) Gamma responses and ERPs in a visual classification task. *Clinical Neurophysiology* 110: 636-42
90. Hillyard SA, Hink RF, Schwent VL, Picton TW (1973) Electrical signs of selective attention in the human brain. *Science* 182: 177-180
91. Hillyard SA, Picton TW, Regan D (1978) Sensation, perception and attention: Analysis using ERPs. In: Callaway E, Tueting P, Koslow SH (eds) *Event-related brain potentials in man*. Academic Press. New York: 223-322
92. Holcomb PJ (1986) Electrophysiological correlates of semantic facilitation. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 38: 320-322
93. Holcomb PJ (1988) Automatic and attentional processes: An event-related brain potential analysis of semantic priming. *Brain Lang* 35: 66-85
94. Holcomb PJ (2003) Lab Mission. Available from: URL: http://neurocogn.psy.tufts.edu/lab_mission.htm
95. Holcomb PJ, Anderson J (1993) Cross-modal semantic priming: A time-course analysis using event-related brain potentials. *Lang Cogn Proc* 8: 379-412
96. Holcomb PJ, Neville H (1990) Auditory and visual semantic priming in lexical decision: A comparison using event-related brain potentials. *Lang Cogn Proc* 4: 281-312
97. Holmes VM, Langford J (1976) Comprehension and recall of abstract and concrete sentences. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior* 15: 559-566
98. Hopstaken RM, Muris JW, Knottnerus JA, Kester AD, Rinkens PE, Dinant GJ (2003) Contributions of symptoms, signs, erythrocyte sedimentation rate, and C-reactive protein to a diagnosis of pneumonia in acute lower respiratory tract infection. *Br J Gen Pract* 53: 358-64.

-
99. Jasper HH (1958) The ten-twenty electrode system of the International Federation. . *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 10: 371-375
100. Jessen F (1997) Ereigniskorrelierte Potentiale bei Emotionsinduktion durch visuelle Reize. Dissertationsschrift. Medizinische Fakultät der Universität des Saarlandes
101. Johannes S, Munte TF, Heinze HJ, Mangun GR (1995) Luminance and spatial attention effects on early visual processing. *Brain Res Cogn Brain Res* 2: 189-205
102. Johnson R Jr (1986) A triarchic model of P300 amplitude. *Psychophysiology* 23: 367-384
103. Johnson R Jr (1989) Auditory and visual P300s in temporal lobectomy patients: evidence for modality dependent generators. *Psychophysiology* 26: 633-650
104. Johnson R Jr (1993) On the neural generators of the P300 component of the event-related potential. *Psychophysiology* 30: 90-97
105. Johnson R Jr (1995) On the neural generators of the P300: evidence from temporal lobectomy patients. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol Suppl* 44: 110-129
106. Justus AN, Finn PR, Steinmetz JE (2001) P300, disinhibited personality, and early-onset alcohol problems. *Alcohol Clin Exp Res* 25:1457-66
107. Karrer R, Monti LA (1995) event-related potentials of 4-7-week-old infants in a visual recognition memory task. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 94: 414-424
108. Kathmann N, Wagner M, Rendtorff N, Schöchlin C, Engel RR (1995) Information processing during eye tracking as revealed by event-related potentials in schizophrenics, alcoholics, and healthy controls. *Schizophrenia Res* 16: 145-156
109. Kieras D (1978) Beyond pictures and words: Alternative information processing models for imagery effects in verbal memory. *Psychological Bulletin* 85: 532-554
110. Kimble M, Lyons M, O'Donnell B, Nestor P, Niznikiewicz M, Toomey R (2000) The effect of family status and schizotypy on electrophysiologic measures of attention and semantic processing. *Biol Psychiatry* 47: 402-412
111. Kindler CH, Harms C, Amsler F, Ihde-Scholl T, Scheidegger D (2000) The visual analog scale allows effective measurement of preoperative anxiety and detection of patients' anesthetic concerns. *Anesth Analg* 90: 706-12
112. Klee H, Eysenck MW (1973) Comprehension of concrete and abstract sentences. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior* 12: 522-529

-
113. Klinker R, Frühstorfer H, Finkenzeller P (1968) Evoked responses as a function of external and stored information. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 25: 119-122
114. Koelega HS, Verbaten MN (1991) Event-related brain potentials and vigilance performance: dissociations abound, a review. *Percept Mot Skills* 72: 971-982
115. Kornhuber HH, Deecke L (1964) Hirnpotentialänderungen beim Menschen vor und nach Willkürbewegungen, dargestellt mit Magnetbandspeicherung und Rückwärtsanalyse. *Pflügers Archiv* 281: 52
116. Kornhuber HH, Deecke L (1965) Hirnpotentialänderungen bei Willkürbewegungen und passiven Bewegungen des Menschen. *Pflügers Archiv* 284: 1-17
117. Kounios J, Holcomb PJ (1994) Concreteness effects in semantic processing: Event-related potential evidence supporting dual-coding theory. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory & Cognition* 20: 804-823
118. Kunz R, Ollenschläger G, Raspe H, Jonitz G, Kolkmann FW (eds) (2000) *Lehrbuch Evidenzbasierte Medizin in Klinik und Praxis*. Deutscher Ärzte-Verlag, Köln
119. Kunzmann P, Burkard FP, Wiedmann F (1996) *dtv-Atlas zur Philosophie*. 6. Auflage, dtv, München
120. Kutas M, Hillyard S (1980) Reading senseless sentences: Brain potentials reflect semantic incongruity. *Science* 207: 203-205.
121. Kutas M, Hillyard S (1984) Brain potentials during reading reflect word expectancy and semantic association. *Nature* 307: 161-163
122. Kutas M, Lindamood T, Hillyard S (1984) Word expectancy and event-related brain potentials during sentence processing. In S. Kornblum, & Requin, R. (Ed.), *Preparatory States and Processes*. Hillsdale, New Jersey: Erlbaum.
123. Kutas M, Van Petten C, Besson M (1988) Event-related potential asymmetries during the reading of sentences. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 69: 218-233
124. Lansing RW, Moosavi SH, Banzett RB (2003) Measurement of dyspnea: word labeled visual analog scale vs. verbal ordinal scale. *Respir Physiol Neurobiol* 134: 77-83
125. Lebib R, Papo D, Douiri A, de Bode S, Gillon Dowens M, Baudonniere PM (2004) Modulations of 'late' event-related brain potentials in humans by dynamic audiovisual speech stimuli. *Neurosci Lett* 372:74-9
126. Leocani L, Comi G (2000) Neurophysiological investigations in multiple sclerosis. *Curr Opin Neurol* 13: 255-61

127. Lutzenberger W, Elbert T, Rockstroh B, Birbaumer N (1985) *Das EEG – Psychophysiologie und Methodik von Spontan-EEG und Ereigniskorrelierten Potentialen*. Springer, Berlin-Heidelberg-New York-Tokyo
128. Lynch JC (1997) *The cerebral cortex*. In: Haines DE (Ed.) *Fundamental Neuroscience*. Churchill Livingstone Inc. New York, London, Tokyo
129. Marschark M, Paivio A (1977) Integrative processing of concrete and abstract sentences. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior* 16: 217-231
130. Mathalon DH, Bennett A, Askari N, Gray EM, Rosenbloom MJ, Ford JM (2003) Response-monitoring dysfunction in aging and Alzheimer's disease: an event-related potential study. *Neurobiol Aging* 24: 675-85
131. McCarthy G, Donchin E (1981) A metric of thought: A comparison of P300 latency and reaction time. *Science* 211: 77-80
132. Mühlhauser I, Berger M (1996) Surrogat-Marker: Trugschlüsse. *Deutsches Ärzteblatt* 93: A-3280-3283
133. Münte TF, Berger D, Terkamp C, Schöfl C, Johannes S, Brabant G (1995) Cognitive functioning in experimental hypoglycemia assessed with event-related potentials. *NeuroReport* 6: 1509-1512
134. Myles PS, Troedel S, Boquest M, Reeves M (2000) The pain visual analog scale: is it linear or nonlinear? *Anaesth Analg* 91: 248-9
135. Näätänen R (1986) A classification of N2 kinds of ERP-components. In: McCallum WC, Zappoli R, Denoth F (eds) *Cerebral psychophysiology: Studies in event-related potentials*. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol (Suppl 38)*: 169-172
136. Näätänen R (1987) Event-related potentials in research of cognitive processes – a classification of components. In: Van der Merr E, Hoffmann J (eds) *Knowledge aided information processing*. Elsevier, Amsterdam: 241-173
137. Näätänen R (1990) The role of attention in auditory information processing a revealed by event-related potentials and other brain measures of cognitive function. *Behav Brain Sci* 13: 201-288
138. Näätänen R, Sams M, Alho K (1986) Mismatch negativity: An ERP sign of a cerebral mismatch process. In: McCallum WC, Zappoli R, Denoth F (eds) *Cerebral psychophysiology: Studies in event-related potentials*. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol Suppl 38*: 172-178
139. Nakagawa A (1994) Visual and semantic processing in reading Kanji. *J Exp Psych: Human Perception and Performance* 20: 864-875
140. Nelson DL, Schreiber TA (1992) Word concreteness and word structure as independent determinants of recall. *Journal of Memory and Language* 31: 237-260

141. Nishida S, Nakamura M, Miyazaki M, Suwazono S, Honda M, Nagamine T, Shibasaki H (1995) Construction of a morphological filter for detecting an event-related potential P300 in single sweep EEG record in children. *Med Eng Phys* 17: 425-430
142. Olbrich HM (1987) Ereigniskorrelierte Hirnpotentiale und Psychopathologie. *Der Nervenarzt* 58: 471-480
143. Olbrich HM (1989) Ereigniskorrelierte Potentiale. In: Stöhr M, Dichgans J, Diener HC, Buettner UW (eds) *Evozierte Potentiale*. 2. Auflage, Springer, Berlin-Heidelberg-New York-London-Paris-Tokyo-Hongkong: 511-587
144. Olbrich HM, Lanczos L, Lodemann E, Zerbin D, Engelmeier MP, Nau HE, Schmit-Neuerburg KP (1986) Ereigniskorrelierte Hirnpotentiale und intellektuelle Beeinträchtigung – eine Untersuchung bei Patienten mit Hirntumoren und Schädelhirntrauma. *Fortschritte der Neurologie und Psychiatrie* 54: 182-188
145. Oldfield RC (1971) The assessment and analysis of handedness: The Edinburgh Inventory. *Neuropsychologia* 9: 97-113
146. Onofrij M, Thomas A, Iacono D, Luciano AL, Di Iorio A (2003) The effects of a cholinesterase inhibitor are prominent in patients with fluctuating cognition: a part 3 study of the main mechanism of cholinesterase inhibitors in dementia. *Clin Neuropharmacol* 26: 239-51.
147. Osterhout L, Holcomb PJ (1992). Event-related brain potentials elicited by syntactic anomaly. *J Mem Lang* 31: 785-806
148. Paivio A (1967) Paired-associate learning and free-recall of nouns as a function of concreteness, specificity, imagery, and meaningfulness. *Psychological Reports* 20: 239-245
149. Paivio A (1971) *Imagery and verbal processes*. New York: Holt, Rinehart & Winston.
150. Paivio A (1986) *Mental representations: A dual coding approach*. New York: Oxford University Press
151. Paivio A (1991) Dual coding theory: Retrospect and current status. *Canadian Journal of Psychology* 45: 255-287
152. Paivio A, Csapo K (1973) Picture superiority in free recall: Imagery or dual-coding? *Cognitive Psychology* 5: 176-206
153. Paivio A, Rogers TB, Smythe PC (1968) Why are pictures easier to recall than words? *Psychonomic Science* 11: 137-138
154. Paivio A, Yuille JC, Madigan SA (1968) Concreteness, imagery, and meaningfulness values for 925 nouns. *Journal of Experimental Psychology: Monograph Supplement* 76: 1-25

155. Pastelak-Price C (1983) Das internationale 10-20-System zur Elektrodenplatzierung: Begründung, praktische Anleitung zu den Messschritten und Hinweise zum Setzen der Elektroden. EEG-Labor 5: 49-72
156. Pelz H (2002) Linguistik: Eine Einführung. Siebte Auflage. Hoffmann und Campe, Hamburg
157. Picton TW, Bentin S, Berg P, Donchin E, Hillyard SA, Johnson R Jr, Miller GA, Ritter W, Ruchkin DS, Rugg MD, Taylor MJ. (2000) Guidelines for using human event-related potentials to study cognition: recording standards and publication criteria. *Psychophysiology* 37: 127-52
158. Picton TW, Hillyard SA (1974) Human auditory evoked potentials. II. Effects of attention. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 36: 191-199
159. Plaut DC, Shallice T (1993) Deep Dyslexia: A Case Study of Connectionist Neuropsychology. *Cognitive Neuropsychology* 10: 377-500.
160. Polich J, Comerchero MD (2003) P3a from visual stimuli: typicality, task, and topography. *Brain Topogr* 15: 141-52
161. Raspe H (2000) Grundlagen und Theorie der evidenzbasierten Medizin (EbM). In: Kunz R, Ollenschläger G, Raspe H, Jonitz G, Kolkmann FW (eds) *Lehrbuch Evidenzbasierte Medizin in Klinik und Praxis*. Deutscher Ärzte-Verlag, Köln
162. Richardson JTE (1980) *Mental imagery and human memory*. London: Macmillan
163. Rist F, Cohen R (1988) Zum Einfluss wechselnder Reizmodalität auf die Reaktionszeiten chronisch Schizophrener. In: Öpen G (ed) *Psychiatrie des rechten und linken Gehirns*. Deutscher Ärzte Verlag, Köln: 128-133
164. Ritter W, Ford JM, Gaillard AW, Harler R, Kutas M, Näätäen R, Polich J, Renault B, Rohrbaugh J (1984) Cognition and event-related potentials, I. The relation of negative potentials and cognitive processes. In: Karrer R, Cohen J, Tueting P (eds) *Brain and Information: Event-related potentials*. Ann NY Acad Sci 425: 24-38
165. Roth WT (1983) A comparison of P300 and skin conductance response. In: Gaillard AWK, Ritter W (eds) *Tutorials in event-related potential research: Endogenous components*. North-Holland, Amsterdam: 177-199
166. Ruchkin DS (1988) Measurement of event-related potentials: Signal extraction. In: Picton TW (ed) *Human event-related potentials. Handbook of electroencephalography and clinical neurophysiology. Vol 3 Revised Series*. Elsevier. Amsterdam, New York, Oxford: 7-43
167. Ruchkin DS, Johnson R Jr, Grafman J, Canoune H, Ritter W (1992) Distinctions and similarities among working memory processes: an event-related potential study. *Cogn Brain Res* 1: 53-66

168. Ruchow M, Trippel N, Groen G, Spitzer M, Kiefer M. (2003) Semantic and syntactic processes during sentence comprehension in patients with schizophrenia: evidence from event-related potentials. *Schizophr Res* 15:147-56.
169. Rugg MD (1985) The effects of handedness on event-related potentials in a rhyme-matching task. *Neuropsychologia* 23: 765-75
170. Sams M, Paavilainen P, Alho K, Näätänen R (1985) Auditory frequency discrimination and event-related potentials. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 62: 437-448
171. Schandy R (1989) *Lehrbuch der Psychophysiologie*. 2. Auflage, Psychologie Verlags Union, Weinheim
172. Scharafinski HW, Wilhelm H, Lanczos L, Olbrich HM (1988) Ereigniskorrelierte Hirnpotentiale und intellektuelle Leistungsfähigkeit bei Patienten mit multipler Sklerose. *Biologische Psychiatrie*. Synopsis 1986/1987. Springer, Berlin: 315-319
173. Scheuerpflug P, Plume E, Vetter V, Schulte-Koerne G, Deimel W, Bartling J, Remschmidt H, Warnke A (2004) Visual information processing in dyslexic children. *Clin Neurophysiol* 115: 90-6
174. Schlaghecken F (1998) *Begriffsrepräsentationen im Gedächtnis: Interne Struktur von Basis- und Oberbegriffen*. Deutscher Universitäts-Verlag, Wiesbaden
175. Schneider A (1999) *Durch computergenerierte Gesichter ausgelöste ereigniskorrelierte Potentiale. Der Einfluss von Affekt und Farbe*. Dissertationsschrift. Medizinische Fakultät der Universität des Saarlandes
176. Schwanenflugel P, Stowe RW (1989) Context availability and the processing of abstract and concrete words in sentences. *Reading research Quarterly* 24: 114-126
177. Schwanenflugel PJ (1991) Why are abstract concepts hard to understand? In PJ Schwanenflugel (ed) *The psychology of word meanings* (pp. 223-250) . Hillsdale, NJ. Lawrence Erlbaum Associates
178. Schwanenflugel PJ, Harnishfeger KK, Stowe RW (1988) Context availability and lexical decisions for abstract and concrete words. *Journal of Memory and Language* 27: 499-520
179. Schwanenflugel PJ, Shoben E (1983) Differential context effects in the comprehension of abstract and concrete verbal materials. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition* 9: 82-102
180. Schwilden H, Schuttler J (1999) Depth of anesthesia: the value of surrogates to measure an unobservable state. *Acta Anaesthesiol Belg* 50: 177-82
181. Sitnikova T, Salisbury DF, Kuperberg G, Holcomb PI (2002) Electrophysiological insights into language processing in schizophrenia. *Psychophysiology* 39: 851-60

182. Sokolov FN (1975) The neuronal mechanisms of the orienting reflex. In: Sokolov FN, Vinogradova OS (eds) *Neuronal mechanisms of the orienting reflex*. Erlbaum, Hillsdale: 217-235
183. Spitzer M, Weisbrod M, Winkler S, Maier S (1997) Ereigniskorrelierte Potentiale bei semantischen Sprachverarbeitungsprozessen schizophrener Patienten. *Nervenarzt* 68: 212-25
184. Squires KC, Donchin E, Herning RJ, McCarthy G (1977) On the influence of task relevance and stimulus probability on event-related potential components. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 42: 1-14
185. Squires NK, Squires KC, Hillyard SA (1975) Two varieties of long-latency positive waves evoked by unpredictable auditory stimuli in man. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 38: 387-401
186. Stapleton JM, Halgren E (1987) Endogenous potentials evoked in simple cognitive tasks: depth components and task correlates. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 67: 44-52
187. Strandburg RJ, Marsh JT, Brown WS, Asarnow RF, Guthrie D, Higa J, Yee-Bradbury CM, Nüchterlein KH (1994) Reduced attention-related negative potentials in schizophrenic adults. *Psychophysiology* 31: 272-281
188. Sutton S, Braren M, Zubin J, John ER (1965) Evoked potential correlates of stimulus uncertainty. *Science* 150: 1187-1188
189. Tanaka F, Kachi T, Yamada T, Sobue G (1998) Auditory and visual event-related potentials and flash visual evoked potentials in Alzheimer's disease: correlations with Mini-Mental State Examination and Raven's Coloured Progressive Matrices. *J Neurol Sci* 156: 83-8.
190. Tanimoto SL (1997) Representation and Learnability in Visual Languages for Web-based Interpersonal Communication. *Proceedings of the 1997 International Workshop on Visual Languages*. IEEE, Piscataway, NJ
191. Tanimoto SL, Glinert EP (1986) Designing iconic programming systems: Representation and learnability. *Proceedings of the second workshop on Visual Languages*, Dallas: 54-66
192. Taylor MJ (1993) Maturational changes in ERPs to orthographic and phonological tasks. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 88: 494-507
193. Taylor MJ, Keenan NK (1990) Event-related potentials to visual and language stimuli in normal and dyslexic children. *Psychophysiology* 27: 318-27
194. Taylor MJ, McCulloch DL (1992) Visual Evoked Potentials in Infants and Children. *J Clin Neurophysiol* 9: 357-372
195. Taylor MJ, Pourcelot L (1995) Potentiels évoqués cognitifs chez l'enfant: développement normal et pathologique. *Neurophysiol Clin* 25: 130-145

-
196. Taylor MJ, Voros JG, Logan WJ, Malon MA (1993) Changes in event-related potentials with stimulant medication in children with attention deficit hyperactivity disorder. *Biol Psychol* 36: 139-156
197. Überall MA, Brandl U, Wenzel D (1993) Stimulus specificity of P300. *Neuroeped* 24: 324-331
198. van Beijsterveldt CE, van Baal GC (2002) Twin and family studies of the human electroencephalogram: a review and a meta-analysis. *Biol Psychol* 61: 111-38
199. Van Petten C, Kutas M (1990) Interactions between sentence context and word frequency in event-related brain potentials. *Mem Cog* 18: 380-393
200. Vaney N, Chouhan S, Bhatia MS, Tandon OP (2003) Event related evoked potentials in dementia: role of vitamin E. *Indian J Physiol Pharmacol.* 46:61-8.
201. Walter WG, Cooper R, Aldrige VJ, McCallum WC (1964) Contingent negative variation: An electrical sign of sensorimotor association and expectancy in the human brain. *Nature* 203: 380-384
202. Werner J (1992) *Biomathematik und medizinische Statistik.* Urban & Schwarzenberg, München, Wien, Baltimore
203. West CW, O'Rourke T, Holcomb PJ (2003) Event-related brain potentials and language comprehension: A cognitive neuroscience approach to the study of intellectual functioning. In: Soraci S, McIlvane W (eds) *Perspectives on fundamental processes in intellectual functioning* (in press). Available from: URL: <http://neurocogn.psy.tufts.edu/papers>.
204. West WC, Holcomb PJ (2002) Event-related potentials during discourse-level semantic integration of complex pictures. *Brain Res Cogn Brain Res* 13: 363-75
205. Witzke W, Schönle PW (1996) Ereigniskorrelierte Potentiale als diagnostisches Mittel in der Neurologischen Frührehabilitation. *Neurol Rehab* 2:68-80
206. Yamaguchi S, Toyoda G, Xu J, Kobayashi S, Henik A (2002) Electroencephalographic activity in a flanker interference task using Japanese orthography. *J Cogn Neurosci* 14: 971-9
207. Zhang XL, Begleiter H, Porjesz B (1997) Do chronic alcoholics have intact implicit memory? An ERP study. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 103: 457-473

7 Anhang

7.1 Der “Edinburgh Inventory” (OLDFIELD, 1971)

FRAGEBOGEN

Familienname:

Vorname:

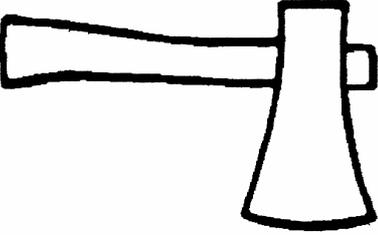
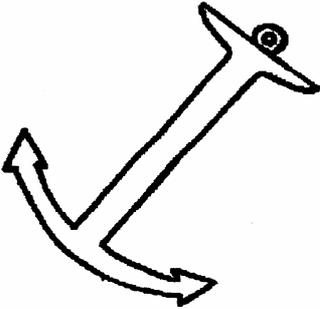
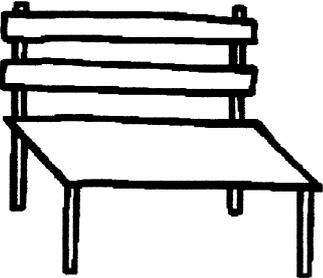
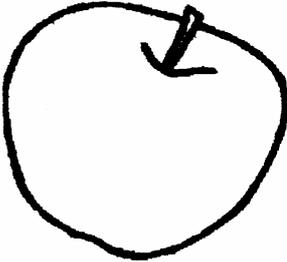
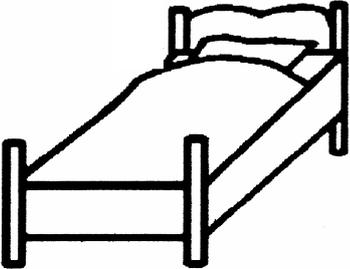
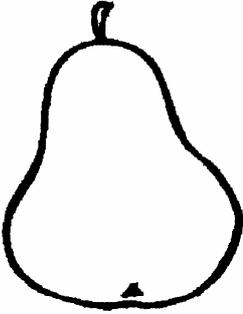
Geburtsdatum:

Geschlecht: M W

Bitte kennzeichnen Sie durch Ankreuzen (+) mit welcher Hand Sie die untenstehenden Tätigkeiten durchführen. Setzen Sie zwei Kreuze (++) in das entsprechende Kästchen, wenn Sie die Tätigkeit nur mit einer Hand ausführen können, und es mit der anderen nur versuchen würden, wenn man Sie dazu auffordern würde. Wenn Sie sich bei einer Antwort nicht im Klaren sind, kreuzen Sie beide Kästchen an. Bitte versuchen Sie alle Fragen zu beantworten, und lassen Sie das Kästchen nur frei, wenn Sie mit der gefragten Tätigkeit keinerlei Erfahrungen haben.

	RECHTS	LINKS
1. Mit welcher Hand schreiben Sie?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2. Mit welcher Hand zeichnen Sie?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3. Mit welcher Hand werfen Sie (z.B. einen Ball)?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4. Mit welcher Hand halten Sie eine Schere?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5. Welche Hand hält die Zahnbürste beim Zähneputzen?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6. In welcher Hand halten Sie das Messer, wenn Sie keine Gabel benutzen?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7. Welche Hand hält den Löffel?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8. Welche Hand umfasst beim Kehren das obere Stielende des Besens?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9. Mit welcher Hand entzünden Sie ein Streichholz?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10. Welche Hand hebt den Deckel beim Öffnen einer Schachtel?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

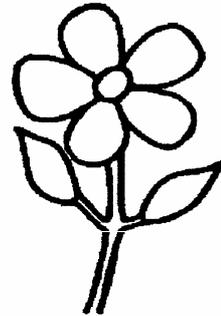
7.2 Die gezeigten Piktogramme und Wörter

<p>Axt</p> 	<p>Anker</p> 
<p>Bank</p> 	<p>Apfel</p> 
<p>Bett</p> 	<p>Birne</p> 

Blatt



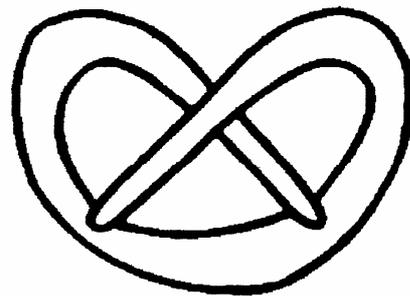
Blume



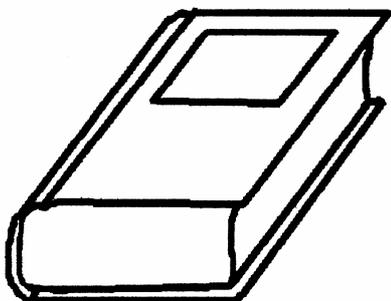
Brot



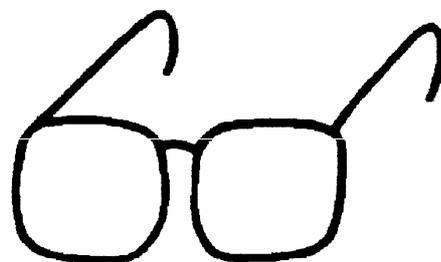
Brezel



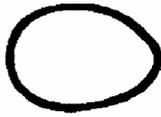
Buch



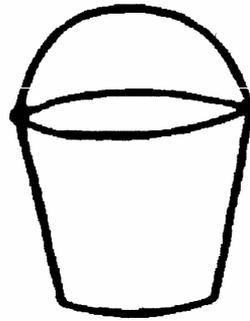
Brille



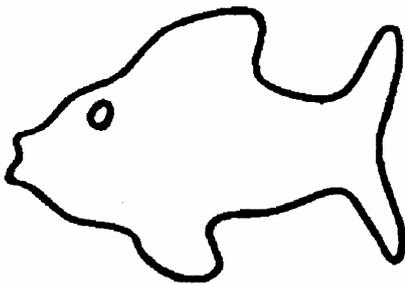
Ei



Eimer



Fisch



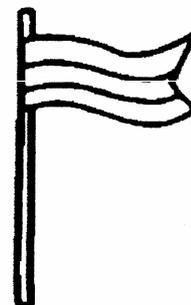
Eule



Frosch



Fahne



Fuß



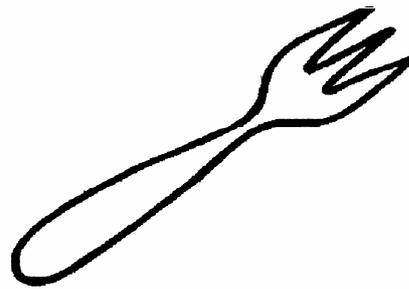
Flasche



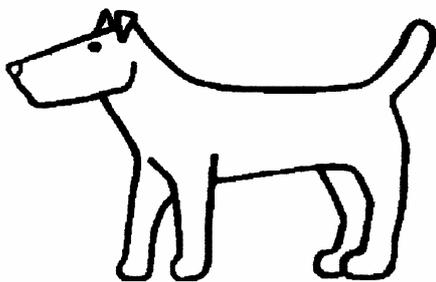
Hand



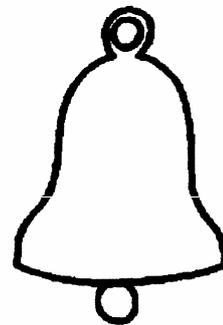
Gabel



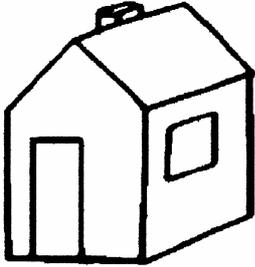
Hund



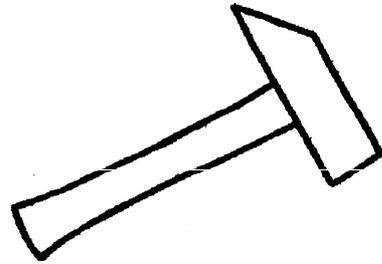
Glocke



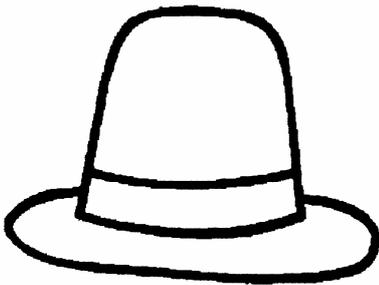
Haus



Hammer



Hut



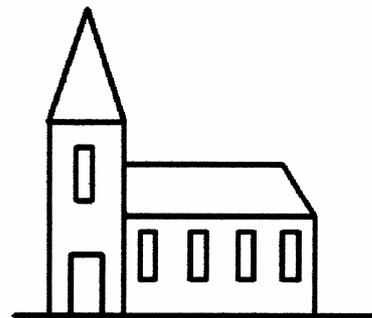
Kerze



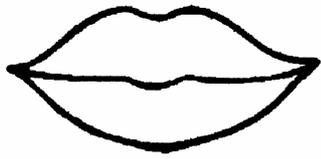
Krug



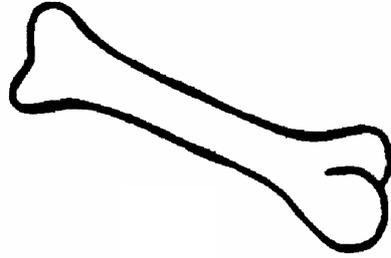
Kirche



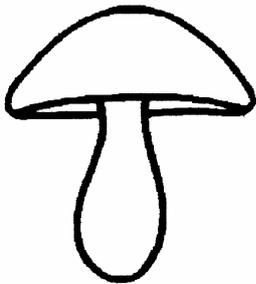
Mund



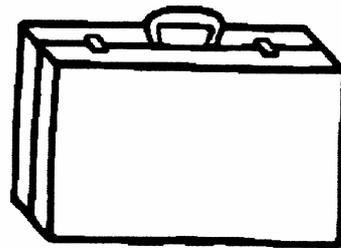
Knochen



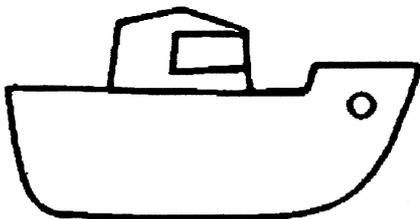
Pilz



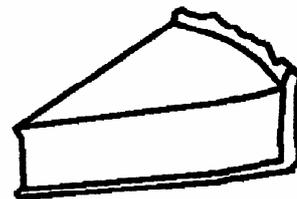
Koffer



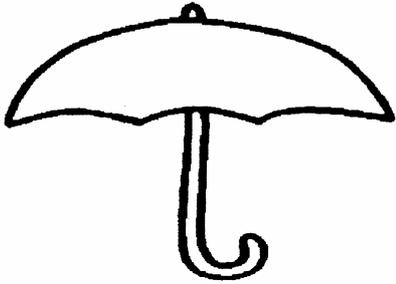
Schiff



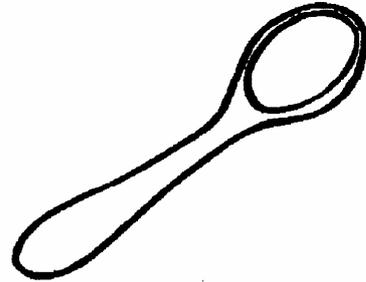
Kuchen



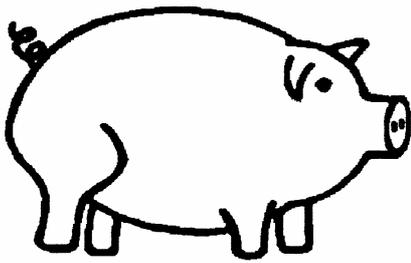
Schirm



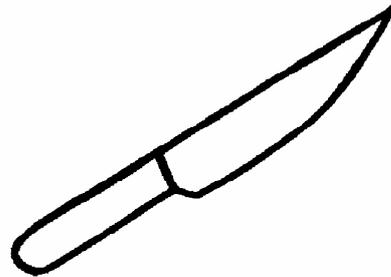
Löffel



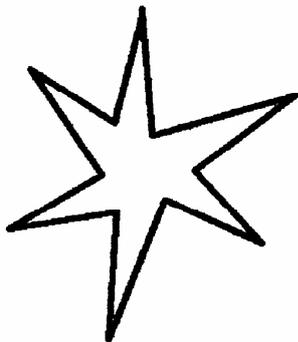
Schwein



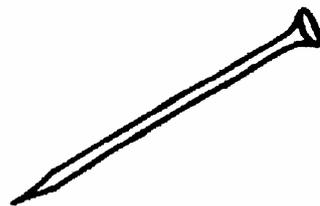
Messer



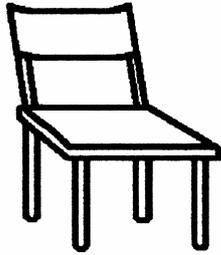
Stern



Nagel



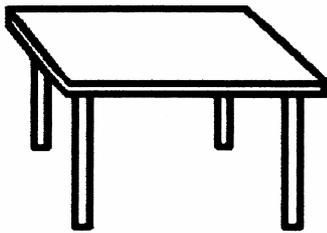
Stuhl



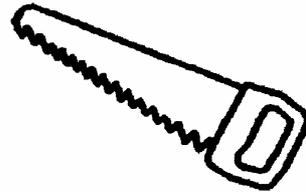
Pfeife



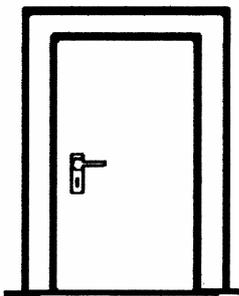
Tisch



Säge



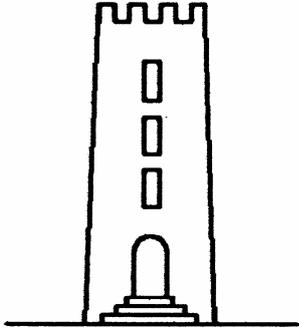
Tür



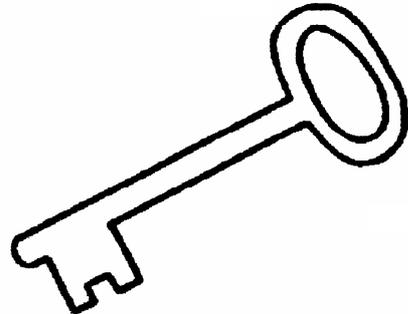
Schere



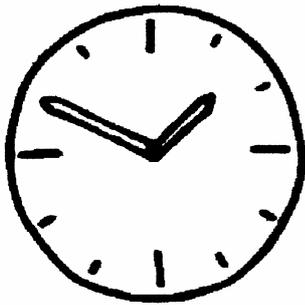
Turm



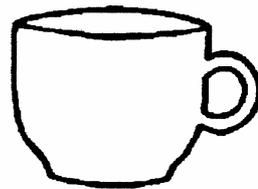
Schlüssel



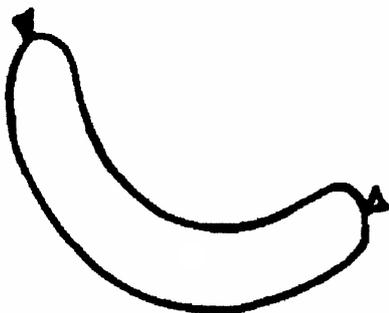
Uhr



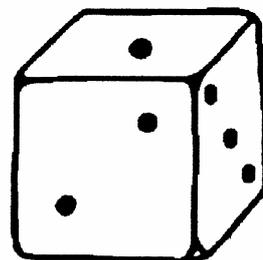
Tasse



Wurst



Würfel



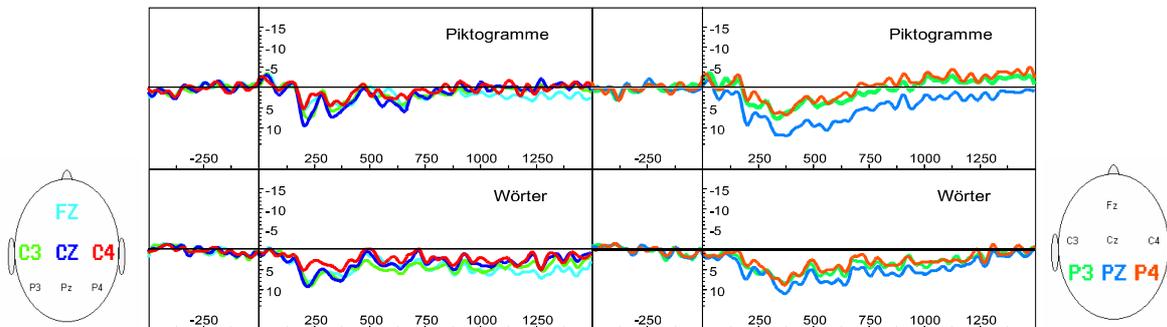
7.3 EKP-Kurven und Parameter der einzelnen Probanden

Für jede Probandin und jeden Probanden sind hier die EKP-Averages dargestellt. Die Farbkodierung entspricht der des Ergebnisteils dieser Arbeit. Die parametrischen Werte sind tabellarisch zusammengefasst, aufgeschlüsselt nach EKP-Komponente, Ableitungsort und Stimuluskategorie. Folgende Abkürzungen werden dabei verwendet:

Abkürzung:	Parameter:	Maßeinheit:
F	Fläche	$\mu\text{V} \cdot \text{msec}$
ML	Latenz des Maximums	msec
MA	Amplitude des Maximums	μV
SL	Latenz des Schwerpunktes	msec
SA	Amplitude des Schwerpunktes	μV
„k.“ oder „k.W.“	„Keine Werte“, z.B. für Schwerpunkte, wenn Fläche = 0 $\mu\text{V} \cdot \text{msec}$	

Proband Nr.1, weiblich, 25 Jahre alt

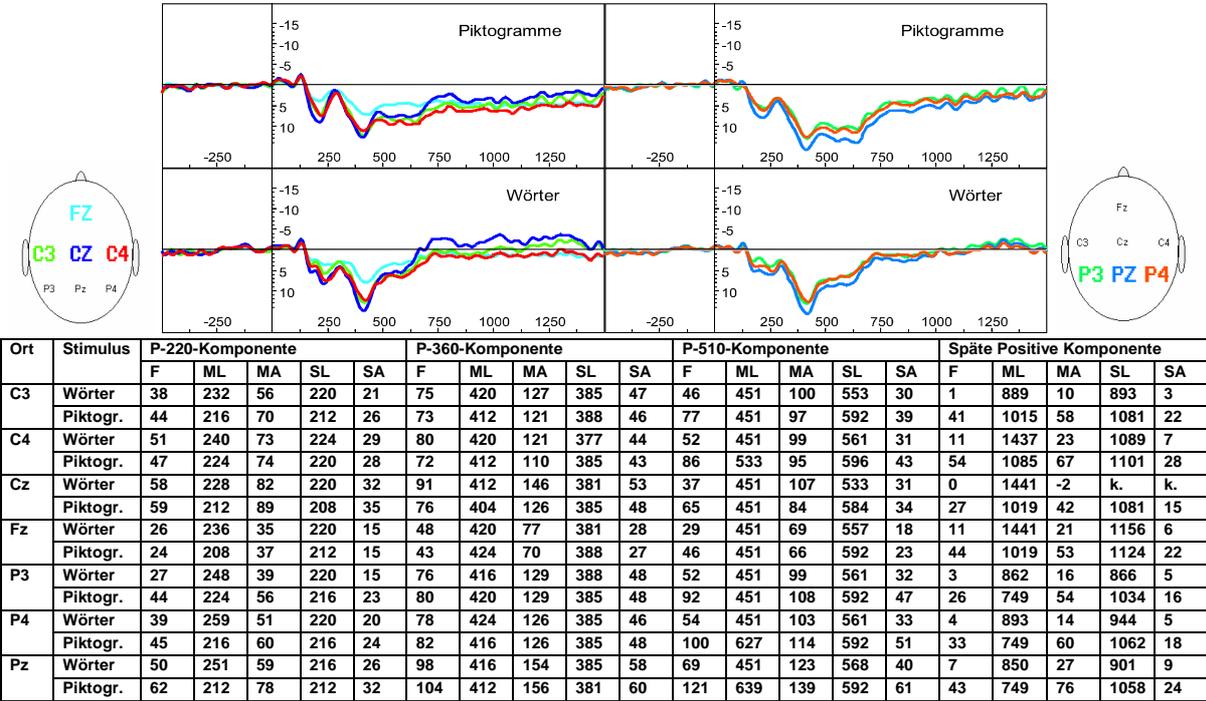
(Arbeits-Nr. F5500)



Ort	Stimulus	P-220-Komponente					P-360-Komponente					P-510-Komponente					Späte Positive Komponente				
		F	ML	MA	SL	SA	F	ML	MA	SL	SA	F	ML	MA	SL	SA	F	ML	MA	SL	SA
C3	Wörter	61	228	89	224	35	59	373	75	357	30	42	635	59	604	22	39	882	59	1093	21
	Piktogr.	44	220	74	224	30	34	330	57	361	21	20	631	41	627	14	4	772	22	932	6
C4	Wörter	31	201	50	212	18	37	369	52	357	19	15	557	33	608	12	22	1273	48	1101	13
	Piktogr.	21	201	50	216	17	26	322	44	353	17	12	608	26	608	10	2	1179	19	1026	5
Cz	Wörter	63	216	91	220	35	58	369	77	357	30	26	635	46	600	16	26	882	49	1085	16
	Piktogr.	50	205	93	220	35	46	330	72	357	26	27	655	58	615	18	3	756	25	893	7
Fz	Wörter	58	220	78	220	32	58	388	67	361	29	27	678	41	619	16	50	1273	69	1136	26
	Piktogr.	27	208	52	220	19	34	373	47	369	19	15	655	48	651	14	17	1230	31	1152	10
P3	Wörter	42	248	60	224	24	67	373	82	365	34	47	639	66	588	25	22	886	48	1007	16
	Piktogr.	29	248	47	232	21	56	334	76	361	29	29	518	46	580	16	0	772	10	803	4
P4	Wörter	27	271	43	224	16	67	373	87	365	34	36	451	57	580	21	20	760	37	1011	14
	Piktogr.	14	267	33	232	12	51	377	66	361	27	19	568	38	557	13	0	752	-5	k.	k.
Pz	Wörter	53	197	72	212	28	85	373	109	365	44	66	639	88	592	35	37	756	65	1019	24
	Piktogr.	60	201	91	220	35	103	377	118	365	52	80	557	105	588	41	24	764	55	1019	16

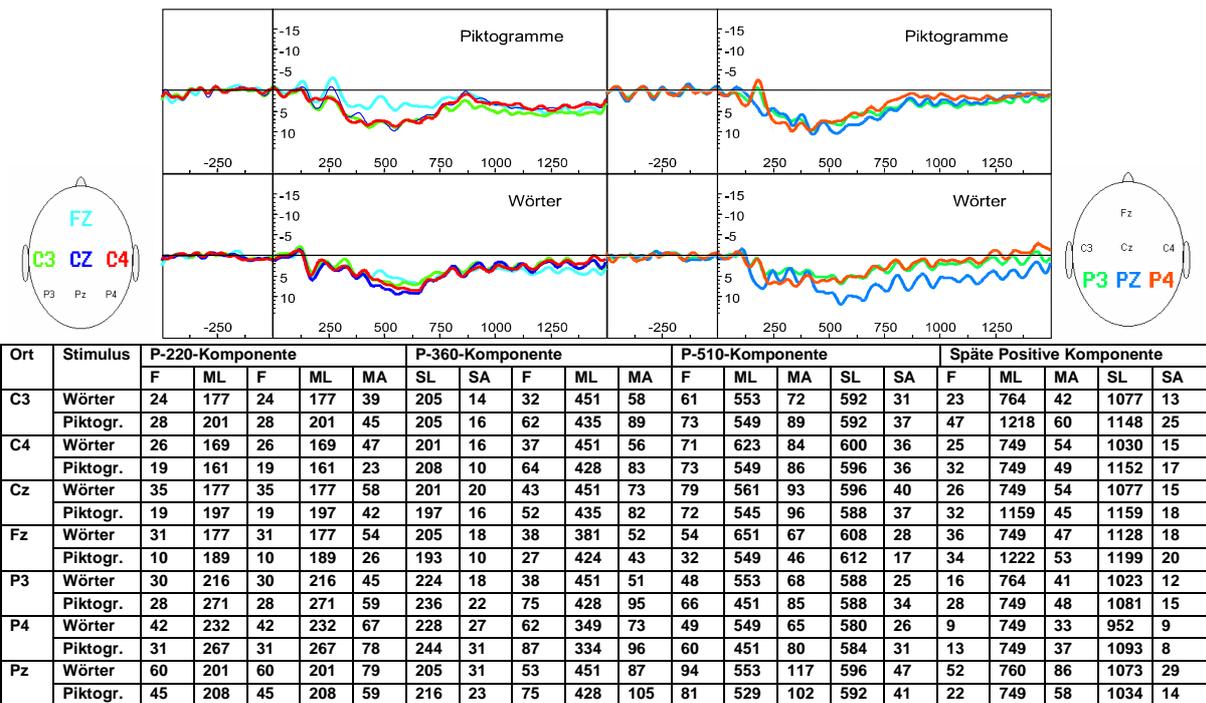
Proband Nr.2, weiblich, 25 Jahre alt

(Arbeits-Nr. F5501)



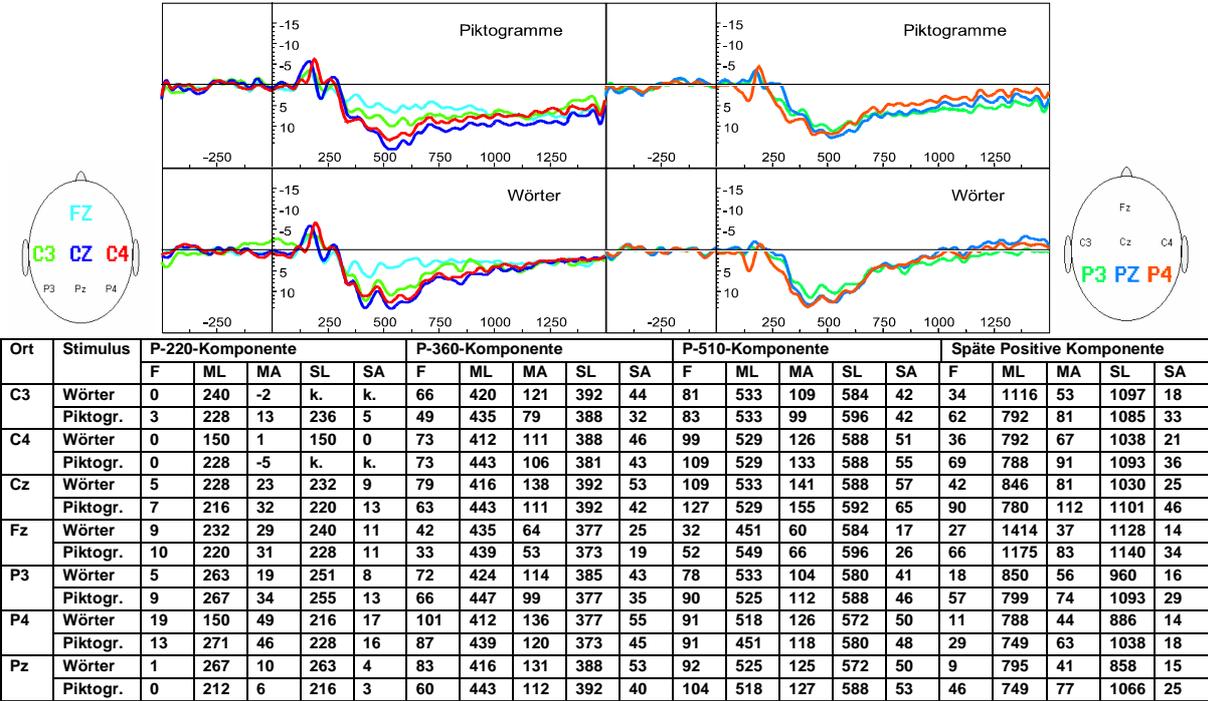
Proband Nr.3, männlich, 21 Jahre alt

(Arbeits-Nr. M5502)



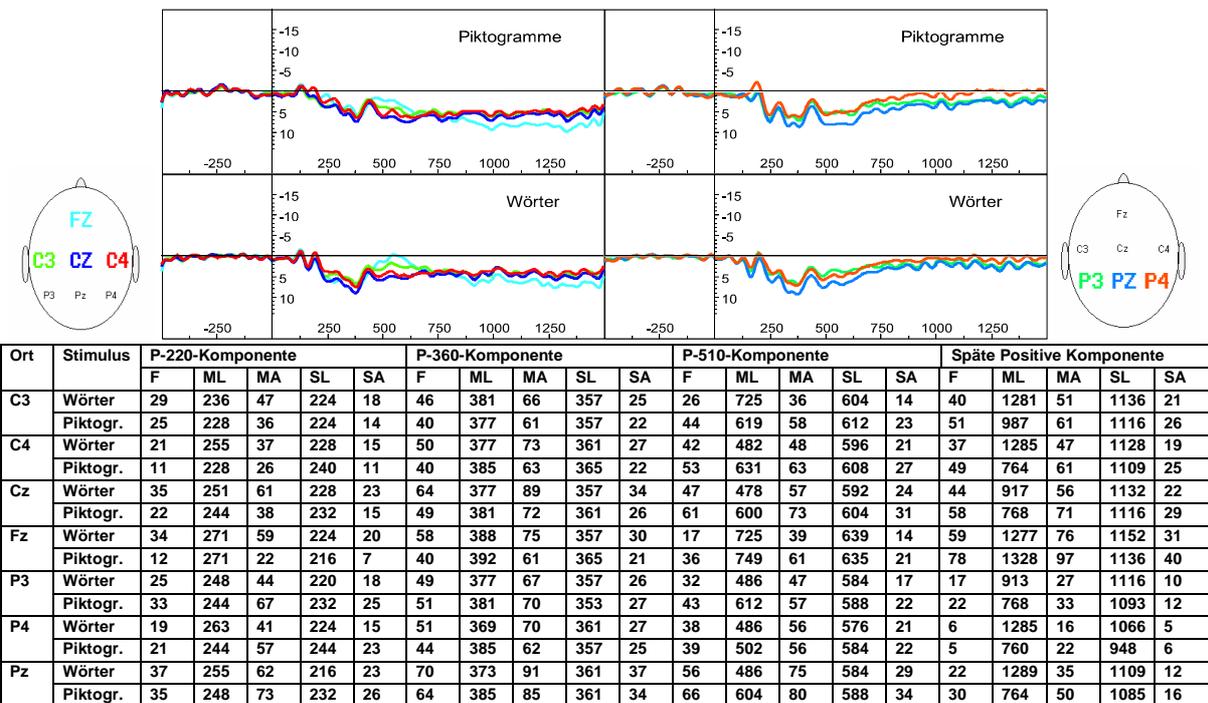
Proband Nr.4, männlich, 26 Jahre alt

(Arbeits-Nr. M5503)



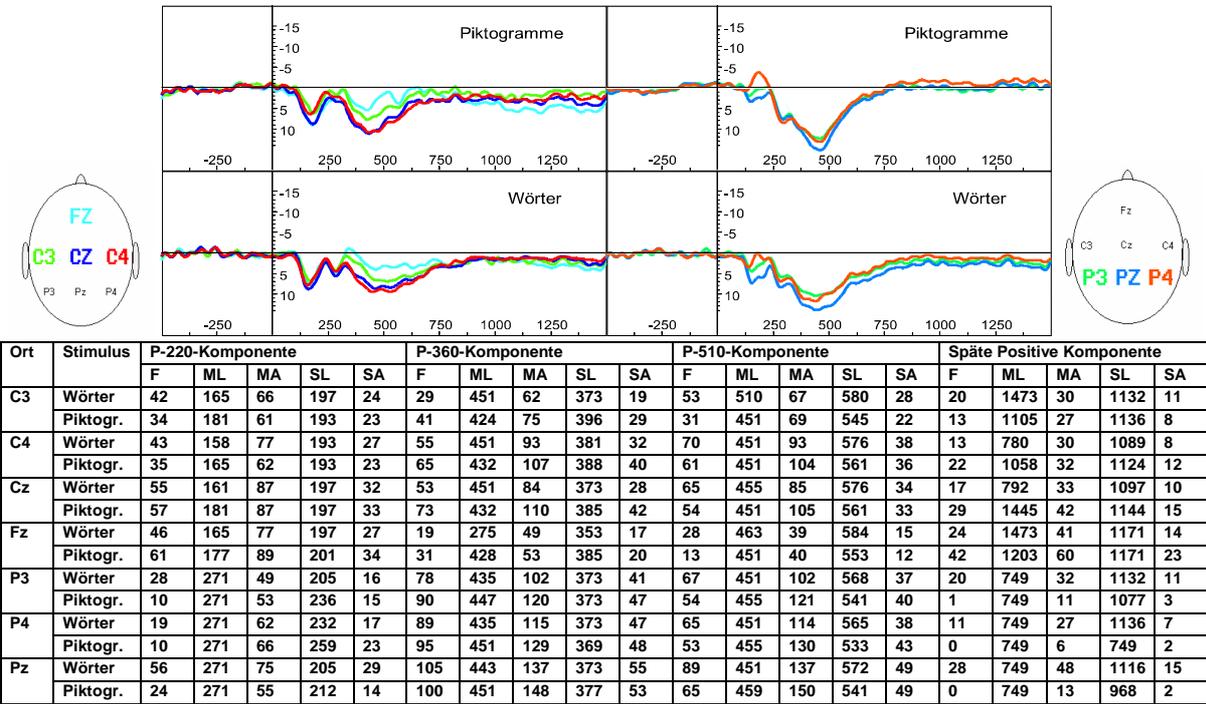
Proband Nr.5, männlich, 24 Jahre alt

(Arbeits-Nr. M5504)



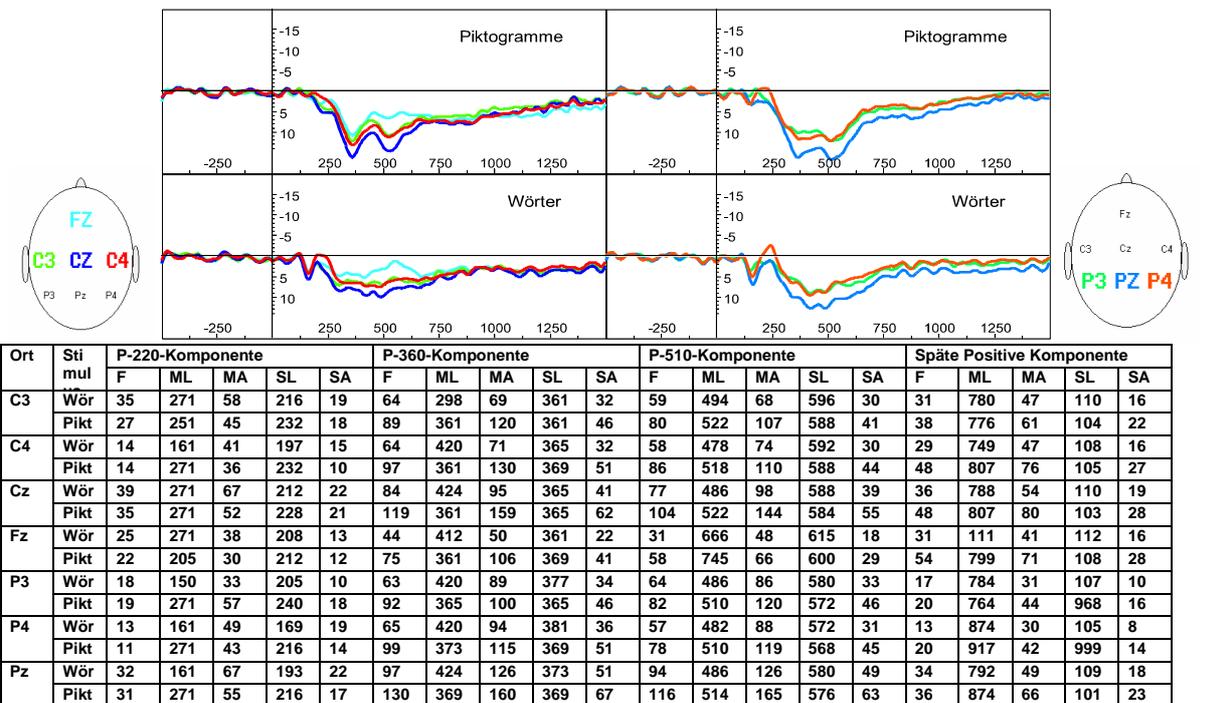
Proband Nr.6, männlich, 29 Jahre alt

(Arbeits-Nr. M5505)



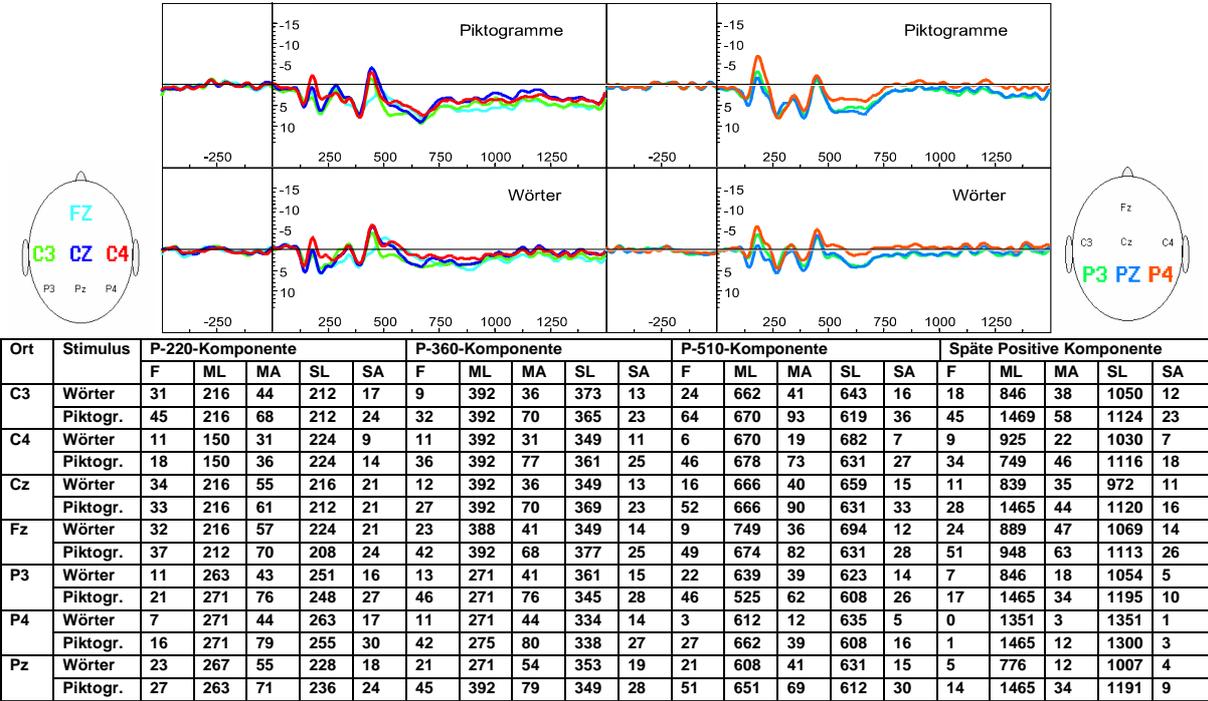
Proband Nr.7, weiblich, 24 Jahre alt

(Arbeits-Nr. F5506)



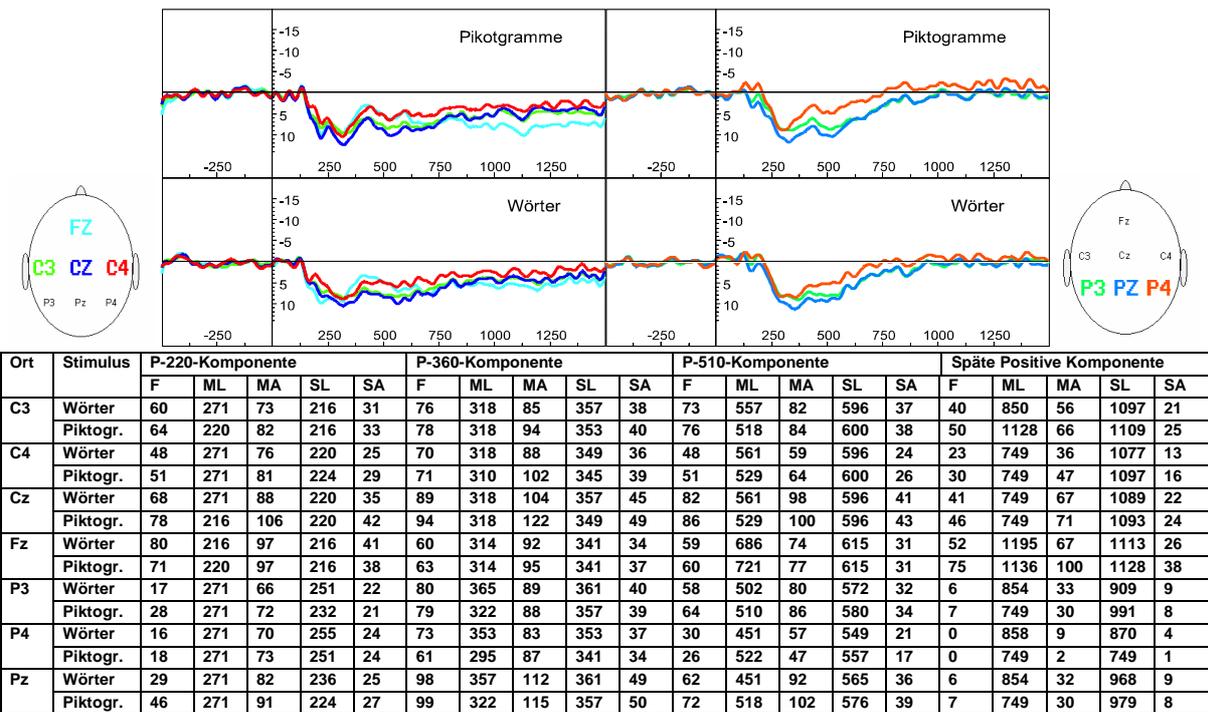
Proband Nr.8, weiblich, 25 Jahre alt

(Arbeits-Nr. F5507)



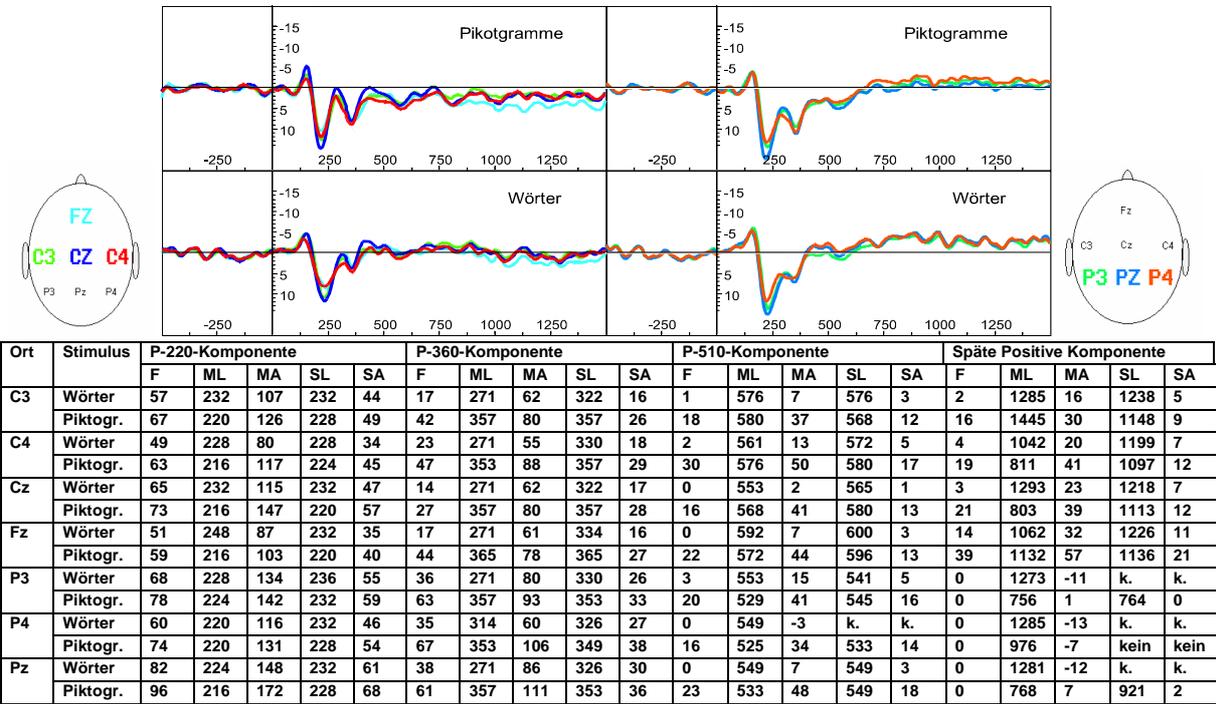
Proband Nr.9, weiblich, 21 Jahre alt

(Arbeits-Nr. F5509)



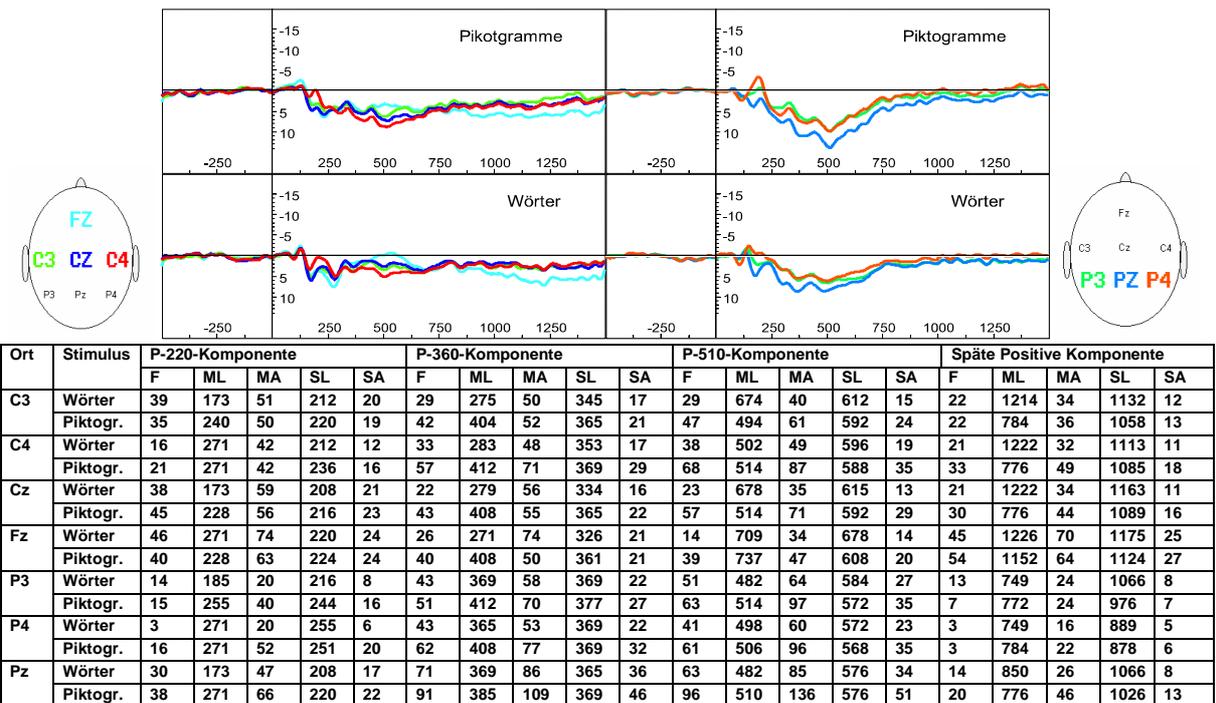
Proband Nr.10, weiblich, 25 Jahre alt

(Arbeits-Nr. F5510)



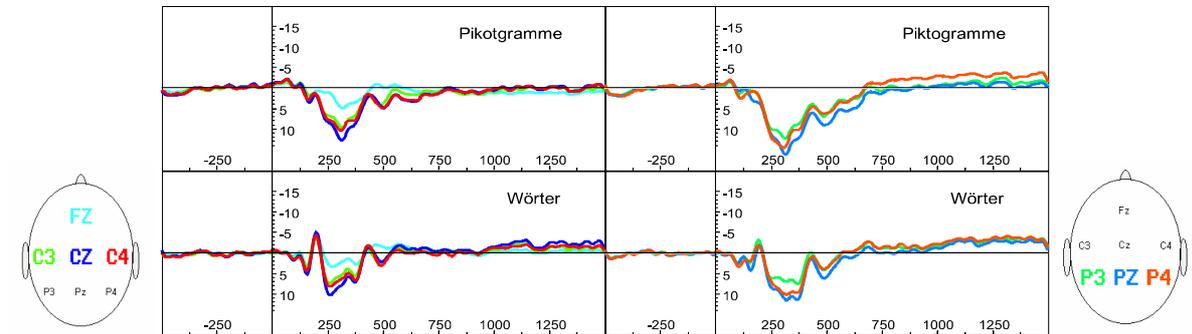
Proband Nr.11, weiblich, 22 Jahre alt

(Arbeits-Nr. F5511)



Proband Nr.12, weiblich, 27 Jahre alt

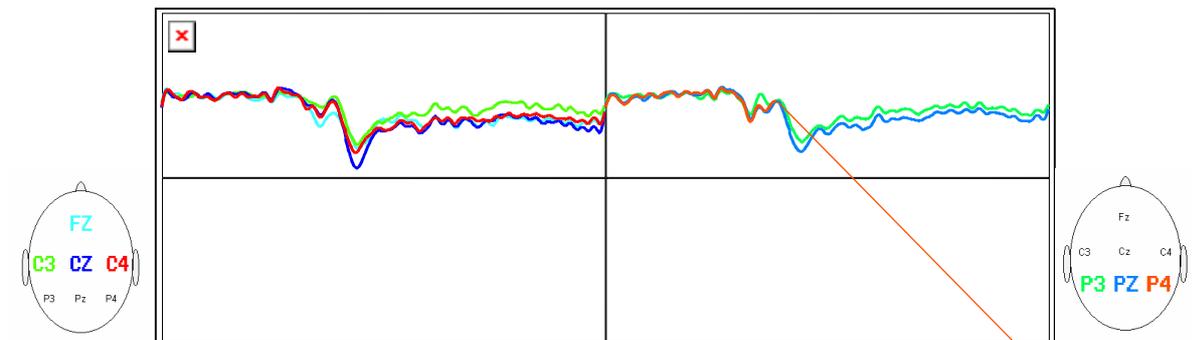
(Arbeits-Nr. F5512)



Ort	Stimulus	P-220-Komponente					P-360-Komponente					P-510-Komponente					Späte Positive Komponente				
		F	ML	MA	SL	SA	F	ML	MA	SL	SA	F	ML	MA	SL	SA	F	ML	MA	SL	SA
C3	Wörter	29	255	71	236	28	36	271	67	334	25	3	482	21	490	8	0	917	0	k.	k.
	Piktogr.	37	271	69	232	26	61	310	94	341	36	15	486	39	557	11	3	862	14	991	4
C4	Wörter	34	255	80	232	31	44	271	78	334	30	4	490	29	510	11	0	811	6	815	2
	Piktogr.	42	271	80	232	29	66	306	102	338	39	25	498	47	576	15	2	749	12	979	4
Cz	Wörter	42	259	101	232	39	52	271	97	330	36	2	490	20	494	8	0	921	0	k.	k.
	Piktogr.	48	271	89	228	31	81	310	125	341	48	25	502	46	580	14	2	749	12	987	3
Fz	Wörter	13	158	33	212	13	16	271	32	334	11	0	713	-4	k.	k.	0	925	5	929	2
	Piktogr.	12	165	26	201	8	29	310	46	345	17	2	651	7	690	3	9	936	15	1140	5
P3	Wörter	26	251	61	240	25	49	369	74	338	31	8	486	40	494	15	0	925	-11	k.	k.
	Piktogr.	50	259	101	240	40	85	310	121	345	46	28	486	67	537	22	0	749	5	792	2
P4	Wörter	30	271	81	240	30	72	318	100	341	43	9	482	37	498	14	0	929	-13	k.	k.
	Piktogr.	57	267	130	240	48	100	306	144	345	55	27	478	60	533	23	0	749	-12	k.	k.
Pz	Wörter	40	267	88	232	33	81	314	113	341	48	18	486	61	510	21	0	799	1	803	0
	Piktogr.	65	271	123	232	43	117	314	160	349	62	47	486	89	553	31	0	749	12	799	3

Proband Nr.13, männlich, 24 Jahre alt

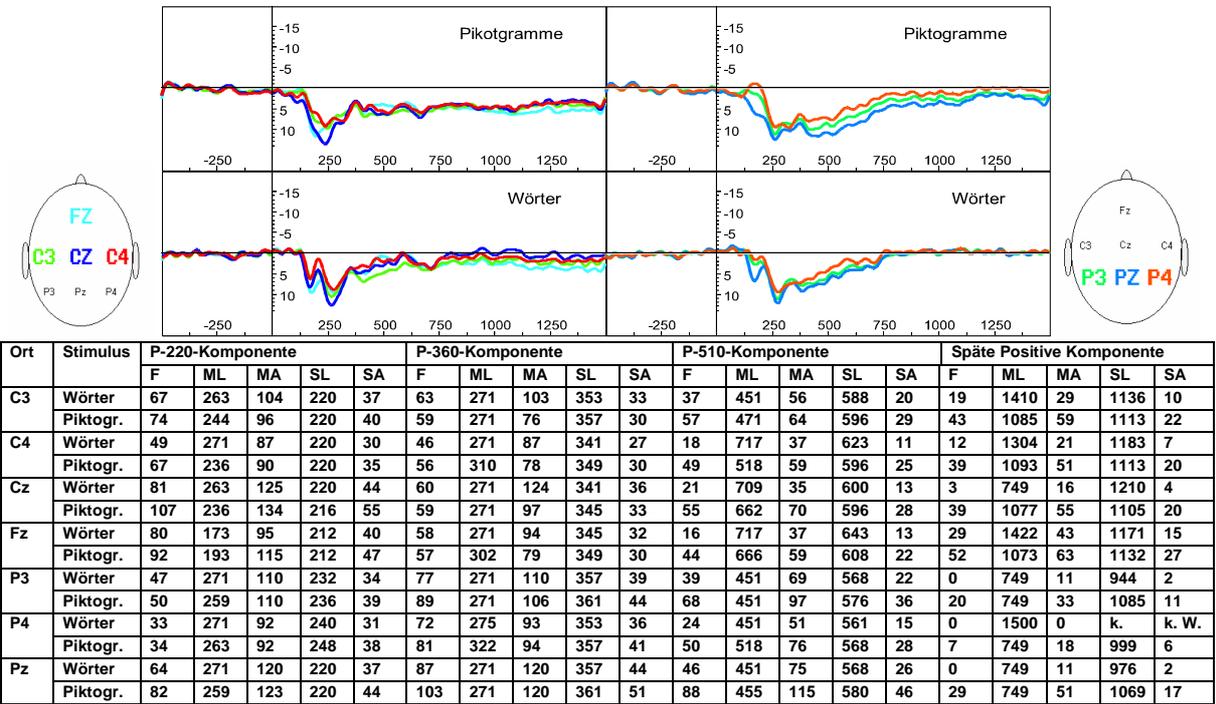
(Arbeits-Nr. M5513)



Ort	Stimulus	P-220-Komponente					P-360-Komponente					P-510-Komponente					Späte Positive Komponente				
		F	ML	MA	SL	SA	F	ML	MA	SL	SA	F	ML	MA	SL	SA	F	ML	MA	SL	SA
C3	Wörter	4	165	18	165	7	67	392	103	388	43	40	451	79	565	23	18	1007	37	1026	12
	Piktogr.	19	224	29	208	11	74	381	119	385	47	49	451	78	580	26	31	1426	50	1136	17
C4	Wörter	16	161	43	185	14	91	373	125	377	51	46	451	79	588	24	35	976	55	1101	19
	Piktogr.	34	216	53	208	19	94	373	139	377	54	74	451	91	592	37	56	1480	70	1124	28
Cz	Wörter	10	161	35	169	14	110	385	160	381	66	56	451	95	584	29	39	995	62	1101	21
	Piktogr.	30	212	47	208	17	114	381	177	381	69	79	451	103	592	40	65	1477	90	1140	33
Fz	Wörter	25	216	35	208	14	77	408	107	373	41	34	451	71	588	19	29	995	57	1089	16
	Piktogr.	53	212	76	216	29	94	385	129	373	50	64	451	91	600	32	63	827	80	1120	32
P3	Wörter	14	161	48	169	20	79	412	103	381	45	33	451	83	553	22	16	952	38	1073	11
	Piktogr.	19	154	46	201	15	73	388	113	381	44	58	494	81	580	31	33	1414	48	1128	17
P4	Wörter	14	161	49	169	19	91	365	116	377	51	56	451	100	576	30	23	964	45	1093	14
	Piktogr.	34	154	64	197	20	75	385	111	377	43	73	506	90	596	37	55	764	73	1113	28
Pz	Wörter	20	165	57	173	22	90	373	122	381	53	50	451	96	572	28	23	952	43	1089	14
	Piktogr.	37	158	58	201	20	93	381	137	377	54	76	502	94	592	39	49	764	65	1116	26

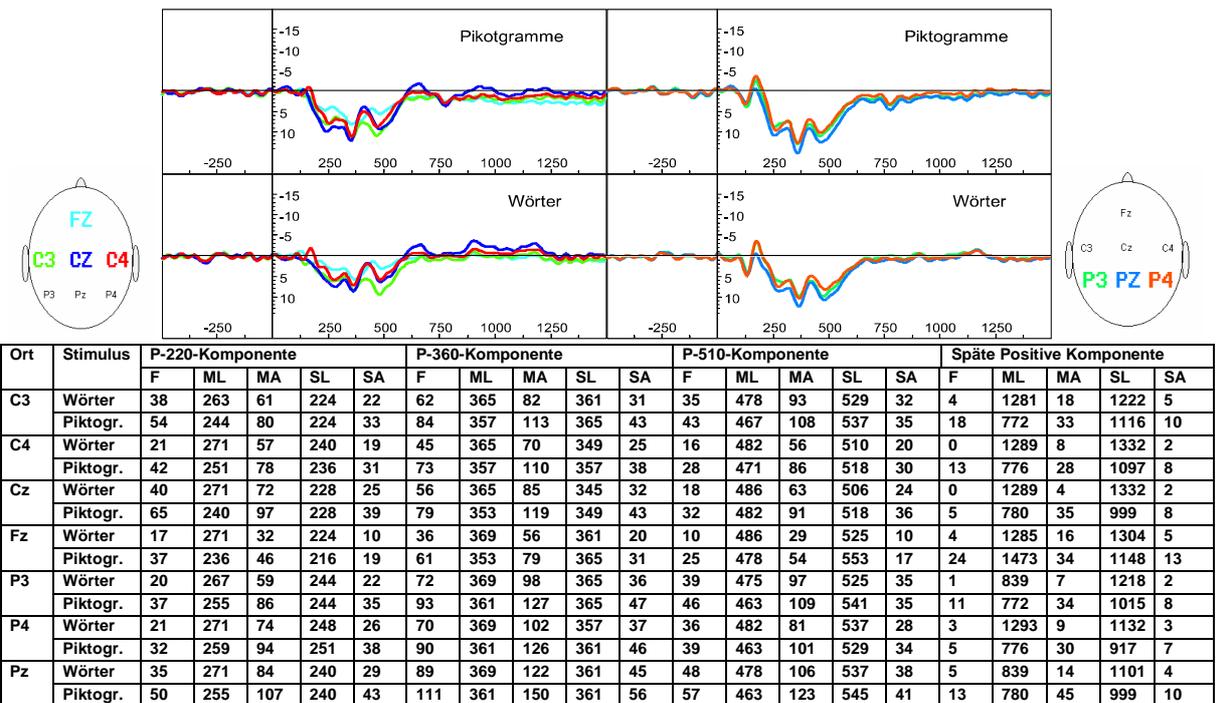
Proband Nr.14, männlich, 25 Jahre alt

(Arbeits-Nr. M5514)



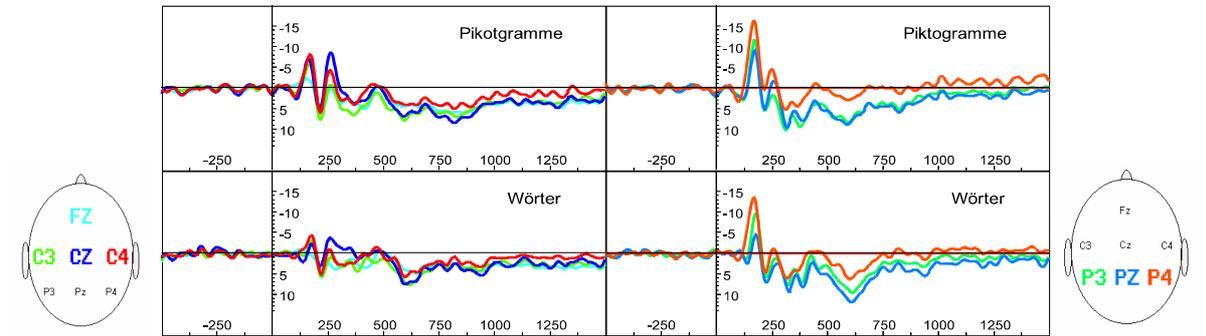
Proband Nr.15, weiblich, 24 Jahre alt

(Arbeits-Nr. F5516)



Proband Nr.16, weiblich, 23 Jahre alt

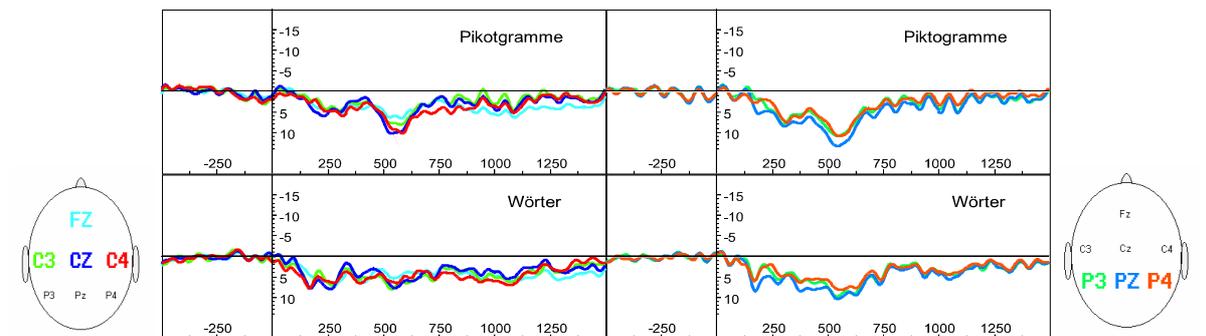
(Arbeits-Nr. F5517)



Ort	Stimulus	P-220-Komponente					P-360-Komponente					P-510-Komponente					Späte Positive Komponente				
		F	ML	MA	SL	SA	F	ML	MA	SL	SA	F	ML	MA	SL	SA	F	ML	MA	SL	SA
C3	Wörter	18	220	56	228	20	25	385	44	357	14	42	612	76	619	26	26	929	42	1109	14
	Piktoгр.	22	216	75	220	29	43	369	65	365	25	50	592	77	619	28	37	831	69	1058	21
C4	Wörter	11	220	50	220	19	15	318	27	338	11	25	596	56	631	19	12	932	32	1034	9
	Piktoгр.	12	216	58	216	23	18	369	39	353	14	25	749	41	639	17	19	819	49	991	14
Cz	Wörter	6	216	29	208	11	2	388	12	396	4	35	596	74	635	27	27	936	52	1081	16
	Piktoгр.	10	212	51	212	20	19	365	35	385	14	42	749	69	635	27	41	815	84	1054	24
Fz	Wörter	20	220	37	228	14	27	287	38	357	14	24	647	48	639	17	31	929	44	1128	16
	Piktoгр.	18	220	53	220	20	33	416	49	373	18	32	749	54	635	20	40	807	58	1085	21
P3	Wörter	17	224	56	232	20	43	318	75	353	27	57	612	94	604	33	12	929	32	1034	9
	Piktoгр.	18	216	52	232	18	71	310	100	357	38	55	592	83	596	30	14	823	50	956	13
P4	Wörter	9	220	46	220	18	28	318	60	338	22	28	600	62	615	20	1	936	15	893	5
	Piktoгр.	0	216	3	216	1	26	306	51	341	19	10	588	28	588	10	0	823	13	842	4
Pz	Wörter	28	224	70	232	26	56	326	92	357	32	75	604	118	604	42	25	940	54	1058	15
	Piktoгр.	10	216	50	216	19	59	314	94	361	34	59	584	87	596	32	21	823	58	1015	15

Proband Nr.17, weiblich, 24 Jahre alt

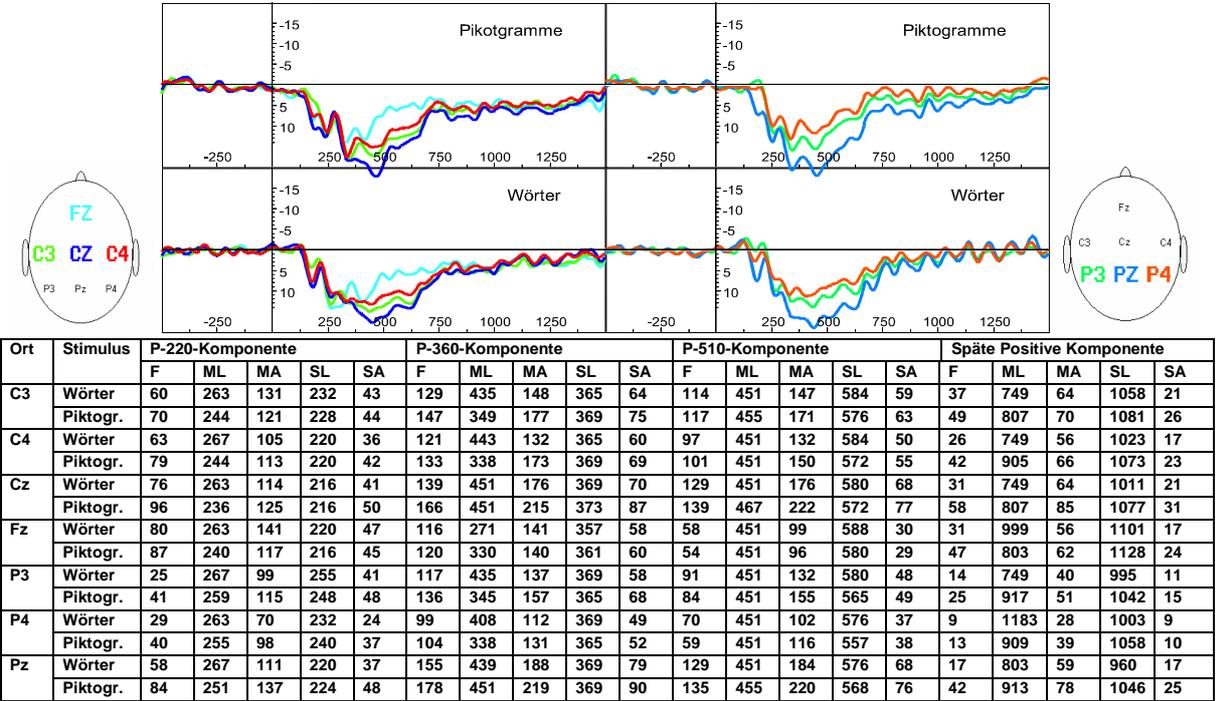
(Arbeits-Nr. F5518)



Ort	Stimulus	P-220-Komponente					P-360-Komponente					P-510-Komponente					Späte Positive Komponente				
		F	ML	MA	SL	SA	F	ML	MA	SL	SA	F	ML	MA	SL	SA	F	ML	MA	SL	SA
C3	Wörter	58	169	76	208	30	46	271	68	365	24	57	537	79	596	29	35	1069	61	1089	20
	Piktoгр.	28	240	43	224	16	31	298	46	349	17	50	572	79	580	29	14	1089	45	1085	11
C4	Wörter	62	165	76	208	31	52	396	65	361	27	48	561	64	596	25	37	1066	68	1042	24
	Piktoгр.	34	240	47	220	19	41	310	58	349	22	65	584	101	596	35	26	803	52	1042	17
Cz	Wörter	71	255	78	212	35	37	271	75	357	22	52	545	75	600	27	30	1058	53	1113	17
	Piktoгр.	46	224	58	216	24	29	298	48	345	17	60	533	101	576	36	22	1085	49	1093	13
Fz	Wörter	54	271	69	216	27	51	275	70	357	27	39	545	52	600	20	44	1069	59	1132	23
	Piktoгр.	35	232	44	220	19	39	306	52	357	20	44	576	64	588	24	39	1093	62	1116	21
P3	Wörter	38	169	57	208	21	53	435	64	365	27	73	537	96	592	38	26	749	53	1097	15
	Piktoгр.	29	271	59	232	19	59	295	77	353	30	71	545	107	576	40	19	1085	49	1093	12
P4	Wörter	34	169	58	201	19	51	373	62	365	26	61	553	80	592	32	23	749	53	1073	14
	Piktoгр.	25	271	45	216	13	58	310	73	357	29	69	545	107	580	39	11	799	33	1003	10
Pz	Wörter	61	173	83	208	31	68	377	84	369	35	78	541	102	588	40	29	749	60	1077	17
	Piktoгр.	46	271	62	216	24	74	302	84	357	37	89	537	132	580	49	23	1007	50	1050	15

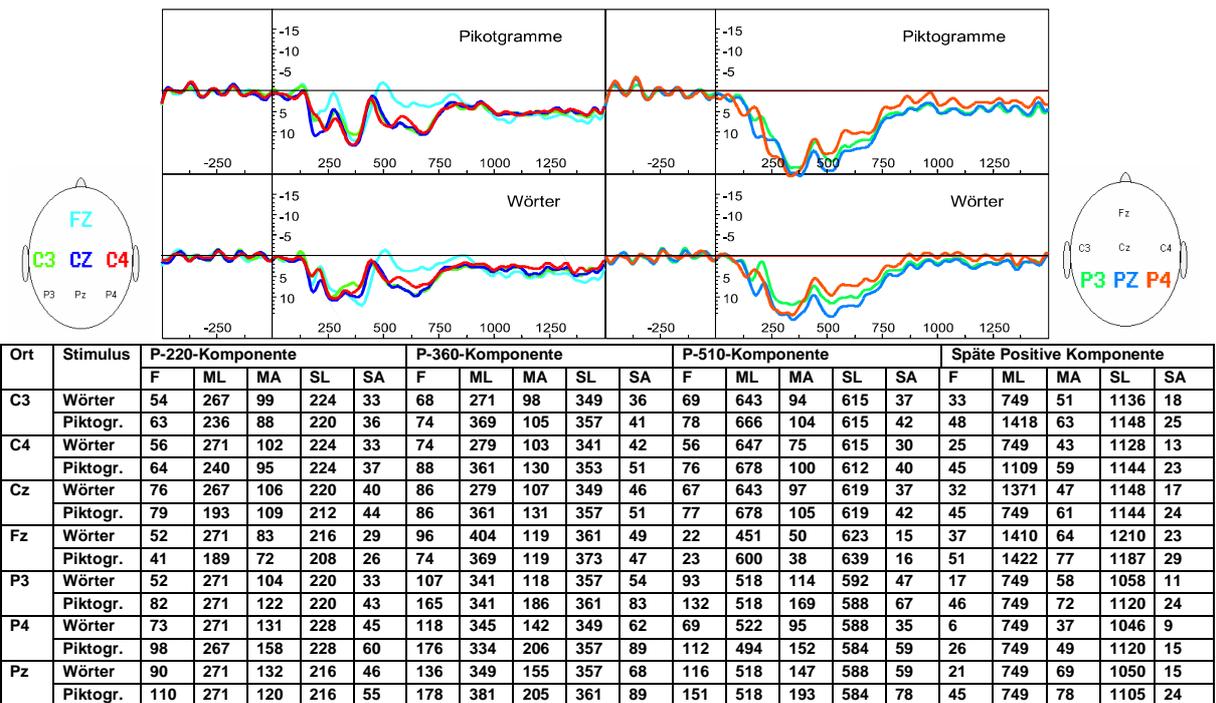
Proband Nr.18, männlich, 20 Jahre alt

(Arbeits-Nr. M5519)



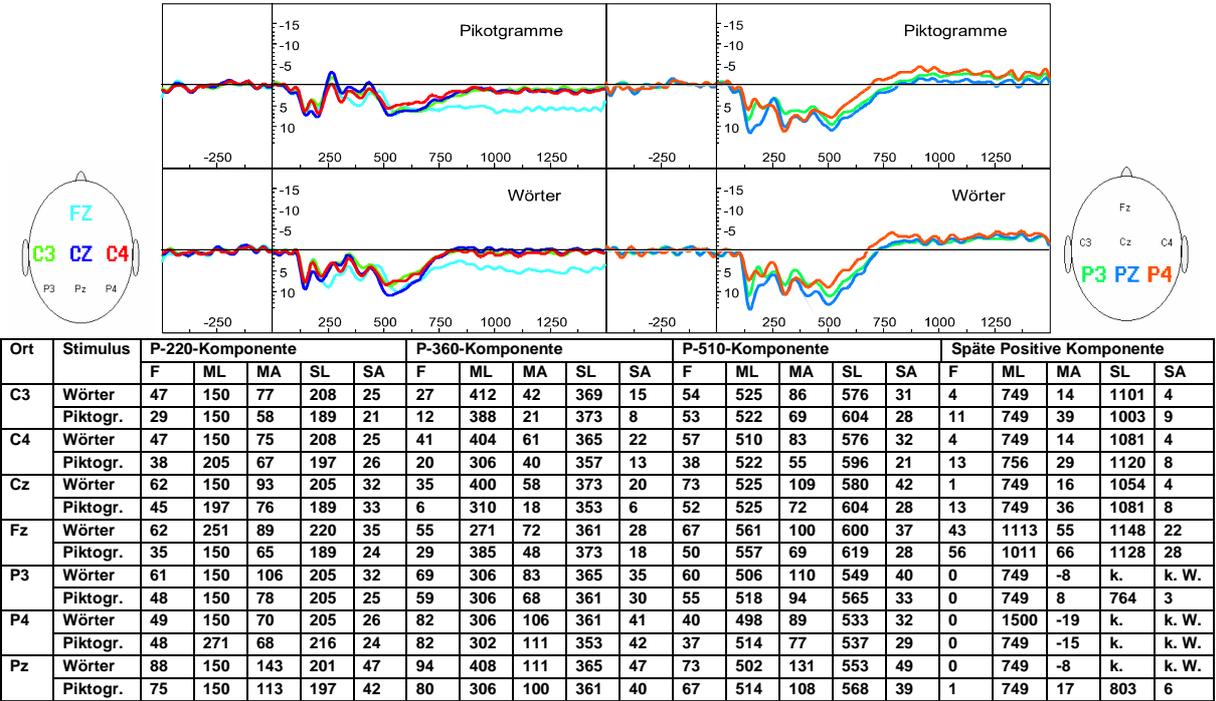
Proband Nr.19, männlich, 20 Jahre alt

(Arbeits-Nr. M5520)



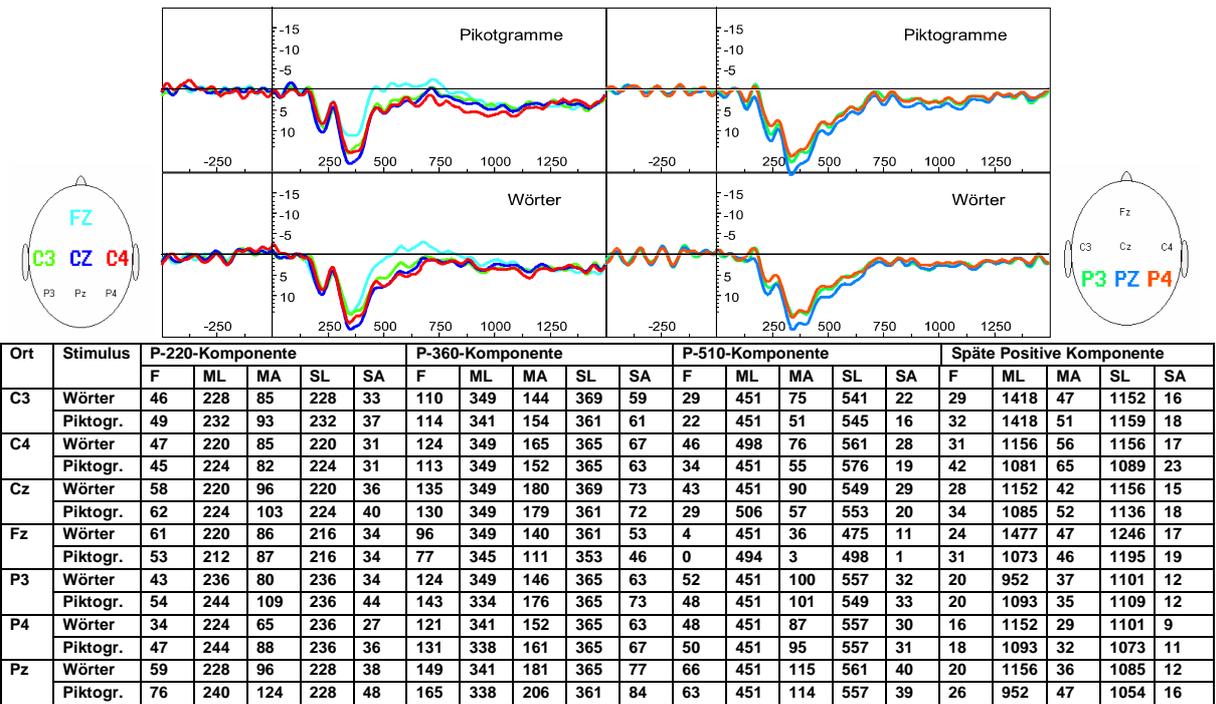
Proband Nr.20, männlich, 27 Jahre alt

(Arbeits-Nr. M5521)



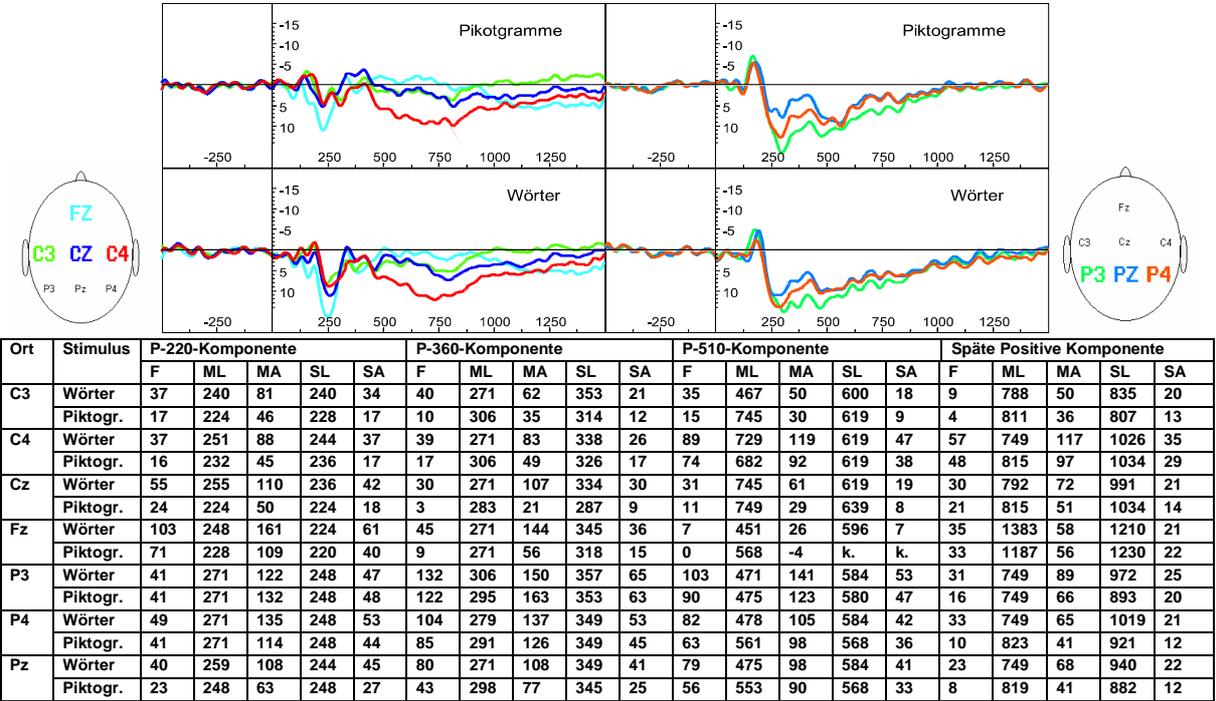
Proband Nr.21, männlich, 26 Jahre alt

(Arbeits-Nr. M5522)



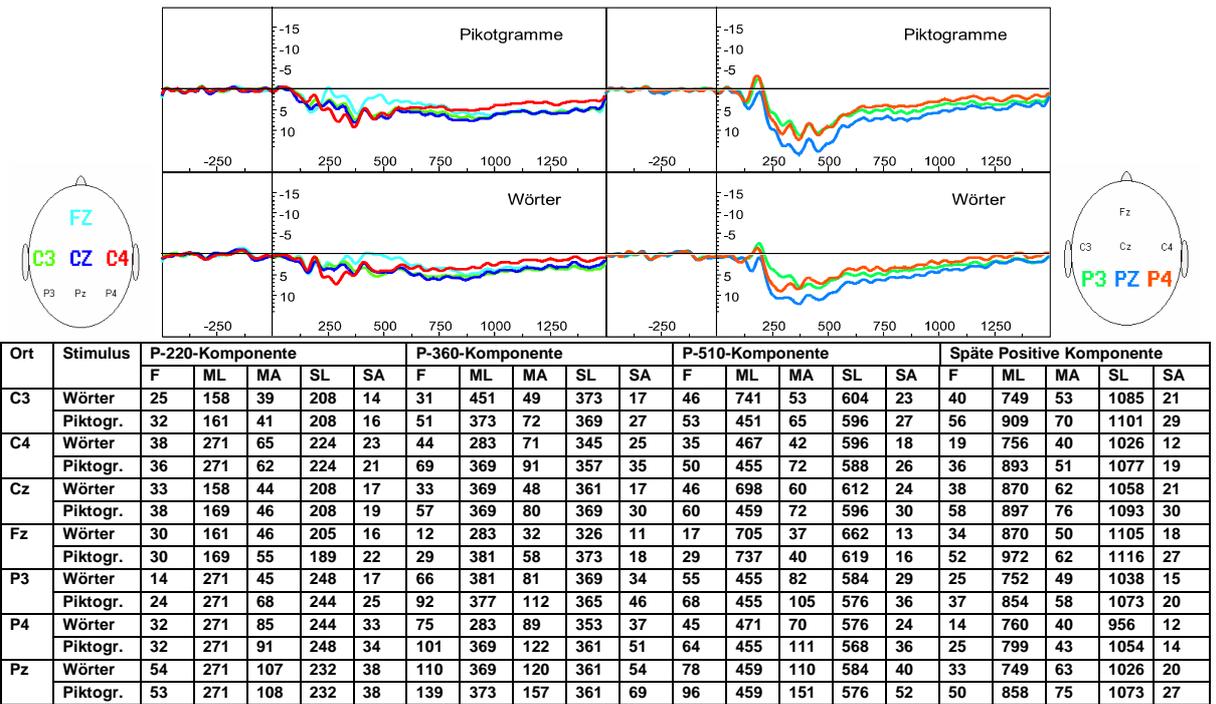
Proband Nr.22, weiblich, 20 Jahre alt

(Arbeits-Nr. F5523)



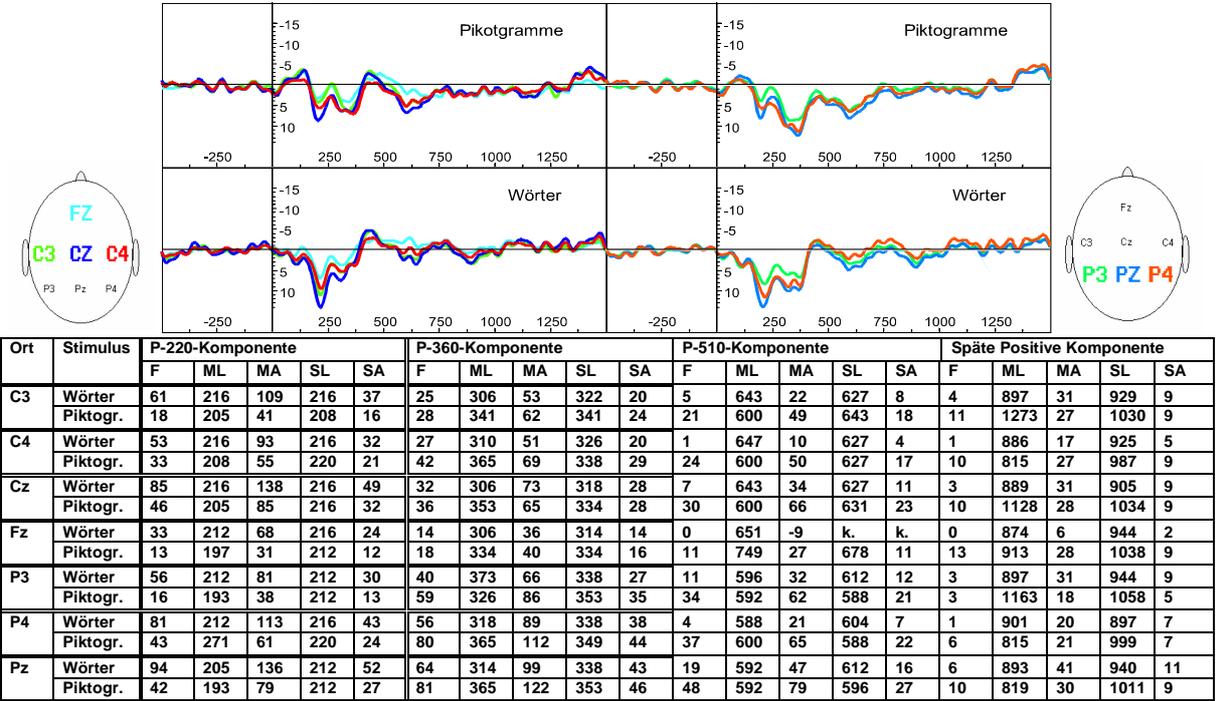
Proband Nr.23, männlich, 23 Jahre alt

(Arbeits-Nr. M5524)



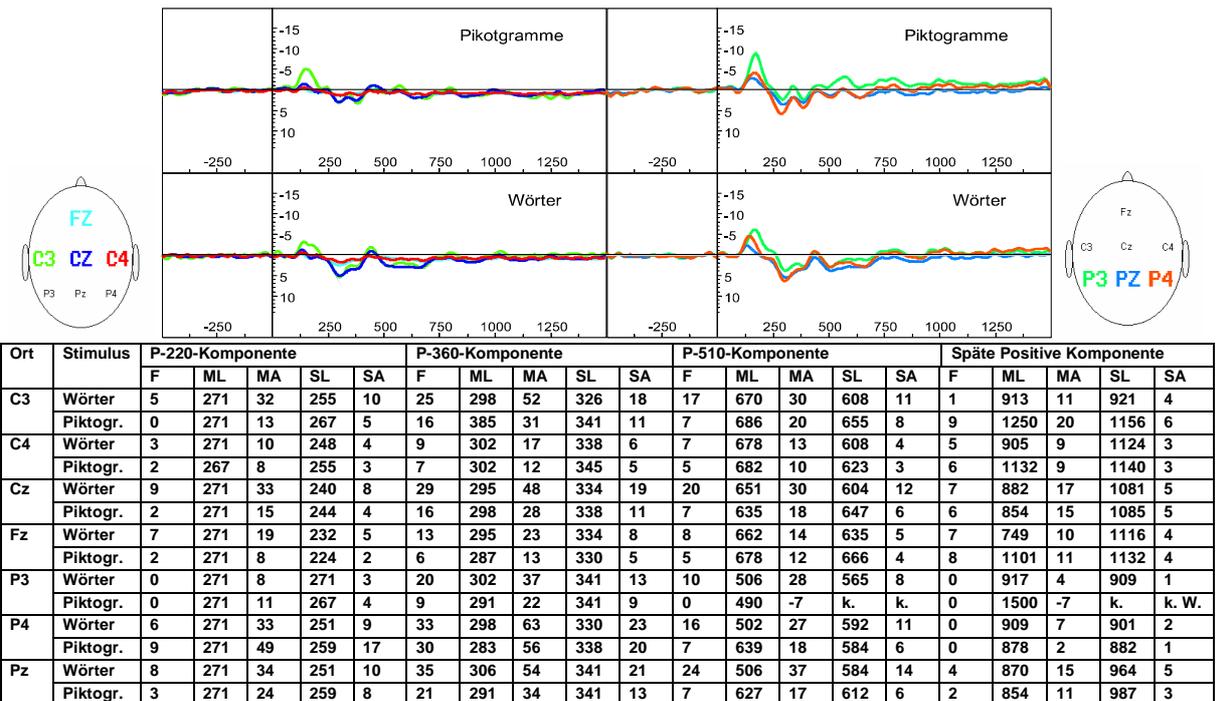
Proband Nr.24, männlich, 24 Jahre alt

(Arbeits-Nr. M5525)



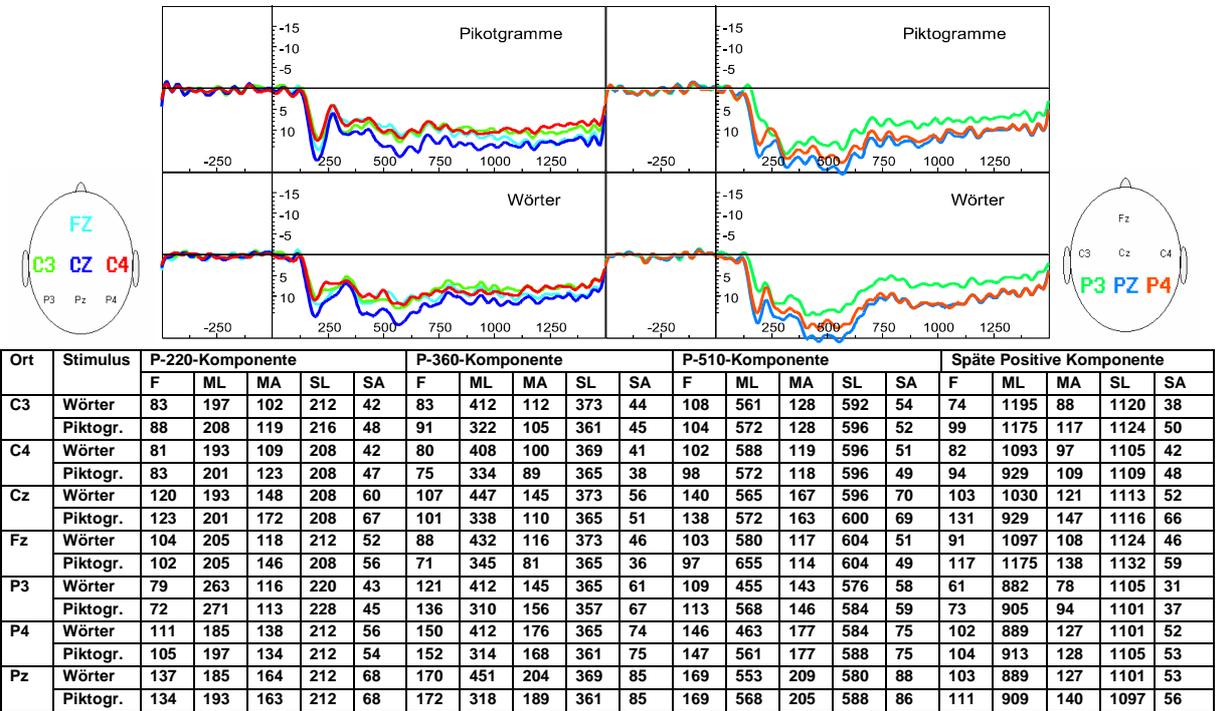
Proband Nr.25, männlich, 24 Jahre alt

(Arbeits-Nr. M5526)



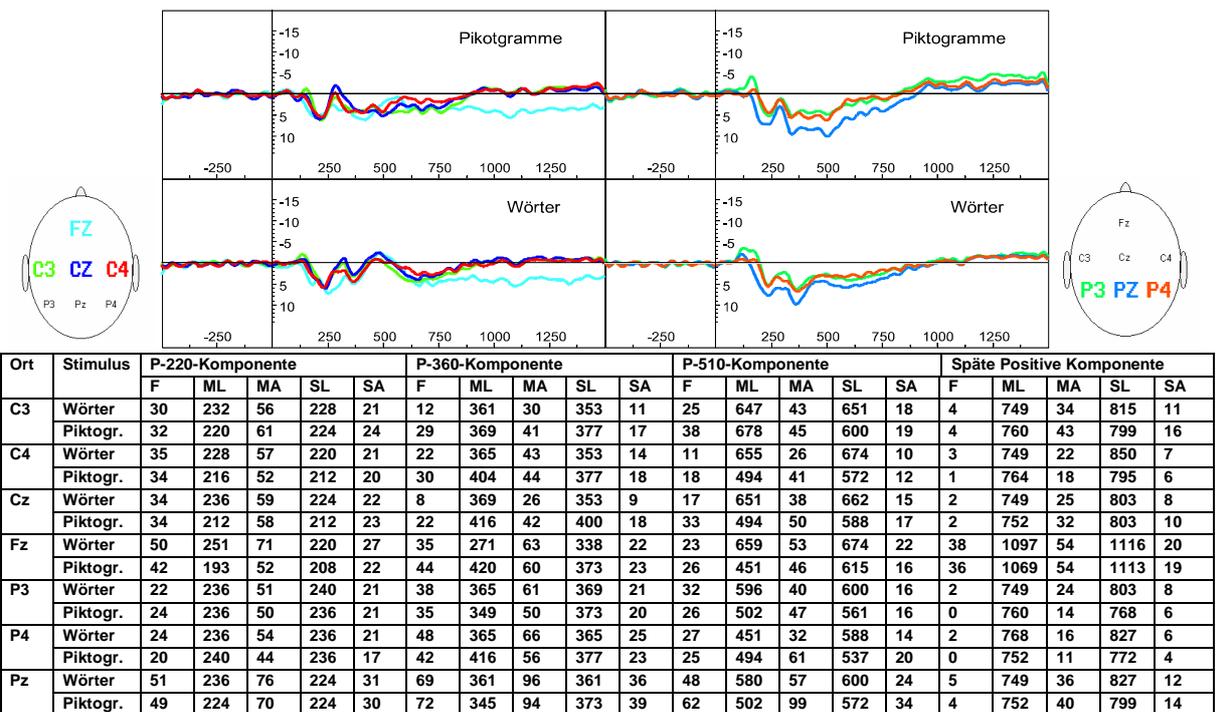
Proband Nr.26, weiblich, 26 Jahre alt

(Arbeits-Nr. F5528)



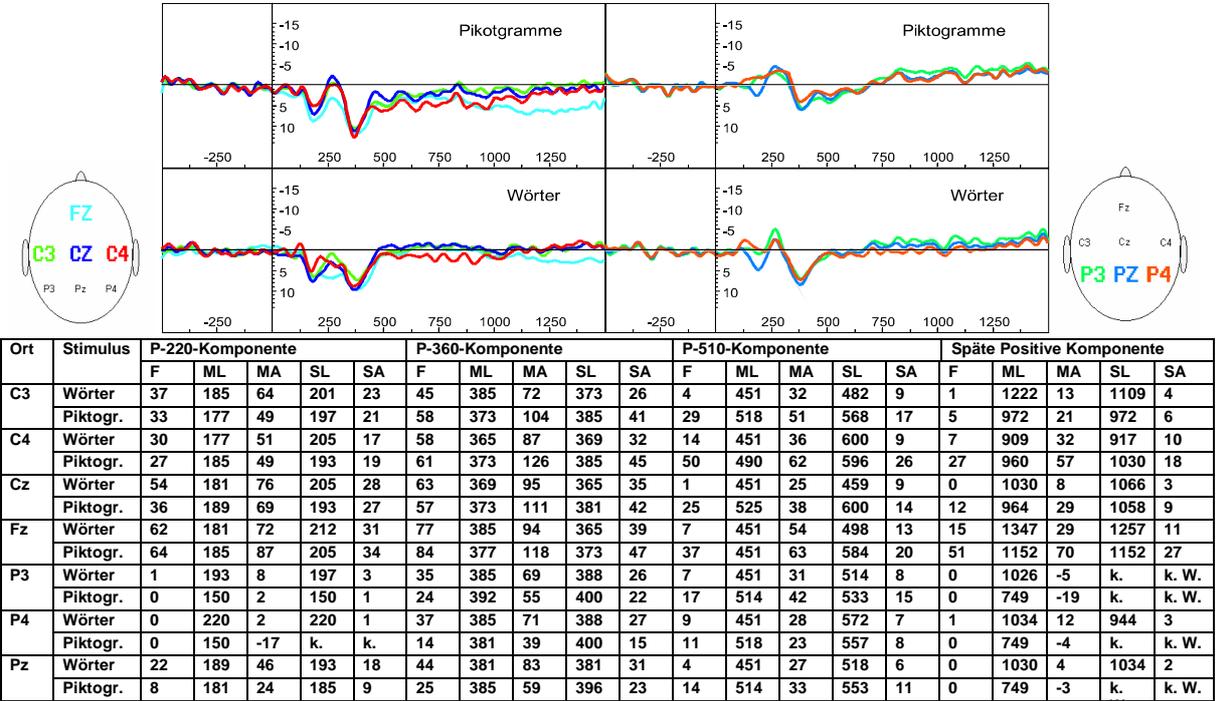
Proband Nr.27, männlich, 26 Jahre alt

(Arbeits-Nr. M5529)



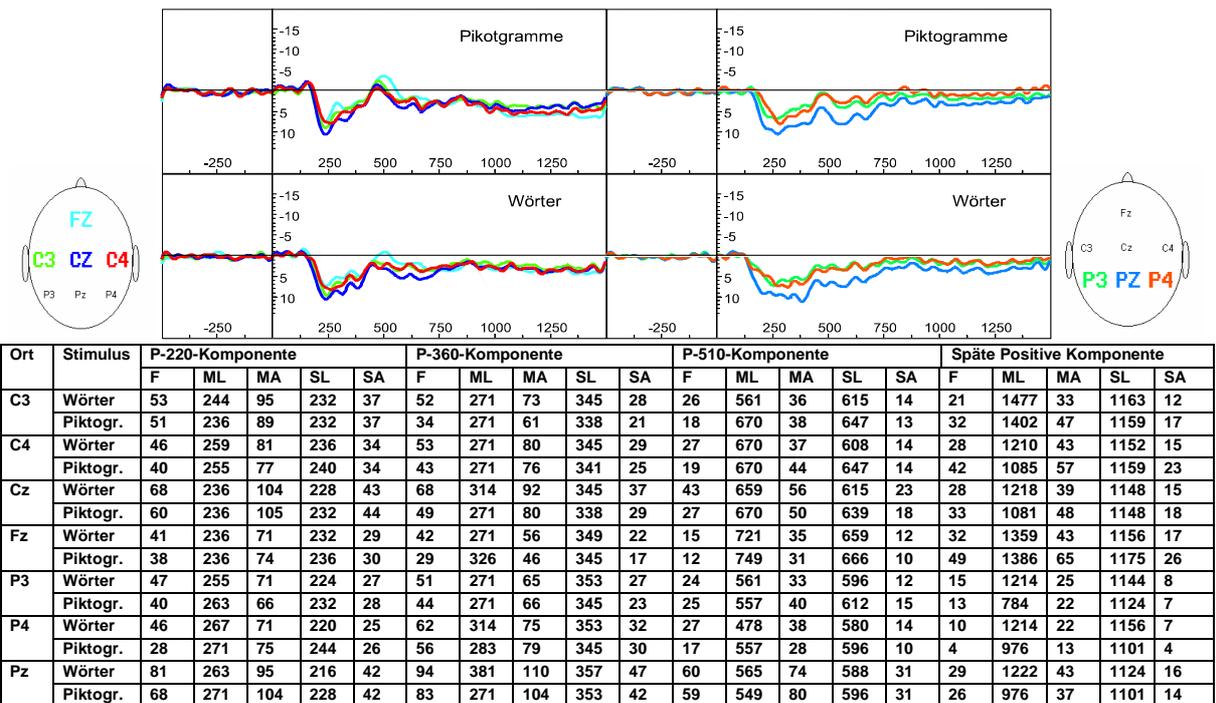
Proband Nr.28, weiblich, 22 Jahre alt

(Arbeits-Nr. F5530)



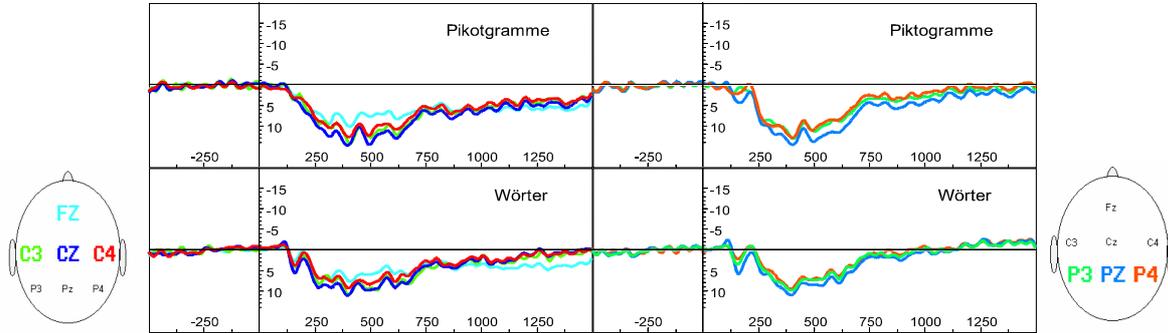
Proband Nr.29, männlich, 21 Jahre alt

(Arbeits-Nr. M5531)



Proband Nr.30, weiblich, 26 Jahre alt

(Arbeits-Nr. F5532)



Ort	Stimulus	P-220-Komponente					P-360-Komponente					P-510-Komponente					Späte Positive Komponente				
		F	ML	MA	SL	SA	F	ML	MA	SL	SA	F	ML	MA	SL	SA	F	ML	MA	SL	SA
C3	Wörter	42	267	81	224	26	81	404	107	365	41	77	525	96	588	40	21	780	43	1015	14
	Piktogr.	57	267	95	224	33	110	408	141	369	55	102	502	127	588	52	47	776	68	1077	25
C4	Wörter	32	267	67	224	22	75	400	91	365	38	62	498	83	580	33	16	882	37	1003	11
	Piktogr.	51	271	88	224	29	105	400	125	365	52	92	490	122	584	48	44	862	69	1077	23
Cz	Wörter	52	263	90	220	31	91	396	110	361	45	77	482	97	584	40	18	874	44	979	14
	Piktogr.	67	271	104	224	37	123	396	146	361	61	110	494	143	588	57	54	862	81	1081	28
Fz	Wörter	33	259	68	232	25	65	408	75	361	33	51	482	59	592	26	36	886	47	1128	19
	Piktogr.	49	271	69	224	27	84	408	100	361	42	69	619	82	596	35	55	979	65	1120	28
P3	Wörter	12	271	42	224	13	70	396	94	369	37	50	478	72	572	28	1	795	11	831	4
	Piktogr.	31	271	88	240	29	104	408	130	365	52	80	502	112	576	43	18	866	39	995	13
P4	Wörter	17	271	46	216	16	78	396	97	369	40	51	486	71	568	30	2	882	16	866	5
	Piktogr.	27	271	86	236	28	106	400	127	365	53	74	490	110	572	41	12	854	34	960	11
Pz	Wörter	33	271	58	208	22	86	392	109	369	44	64	529	86	572	35	5	886	23	874	8
	Piktogr.	46	271	96	224	30	122	404	144	365	61	101	494	136	580	54	30	866	57	1034	18

8 Danksagung

Dem Direktor der Klinik und Poliklinik für Psychiatrie und Psychotherapie der Universität des Saarlandes, Herrn Professor Dr. med. Peter Falkai, sowie seinem Vorgänger, Herrn Professor Dr. med. Klaus Wanke, unter dessen Direktorat diese Arbeit begonnen wurde, danke ich für die Möglichkeit, diese Studie durchzuführen.

Besonderer Dank gilt meinem Doktorvater, dem Leitenden Oberarzt der Klinik und Poliklinik für Psychiatrie und Psychotherapie der Universität des Saarlandes, Herrn Privatdozent Dr. med. Günter Heinz, einerseits für seine grundlegende Einführung in das psychiatrisch-elektrophysiologische Arbeiten und Forschen, andererseits für seine durch die Jahre nie abreiende Bereitschaft, diese Arbeit mit hilfreichen Anregungen zu begleiten.

Großer Dank gebührt auch Herrn Diplom-Physiker Matthias Rubly. Er hat die Computerprogramme zur Präsentation der Stimuli, zur Aufzeichnung und Parametrisierung der Potentiale und zur Durchführung des Blair-Karniski-Tests geschrieben. Außerdem war er für alle technischen Aspekte dieser Arbeit immer ansprechbar: Vielen Dank für mancherlei „Rat und Tat“!

Nicht vergessen möchte ich die Probanden, die sich um den Preis eines Polaroid-Erinnerungsfotos freiwillig dieser EKP-Untersuchung unterzogen haben. Ihnen danke ich herzlich für ihre Zeit und für manche kritische Nachfrage.

Für anregende Diskussionen, Korrekturlesen der Entwürfe und/oder „social support“ danke ich besonders Dr. med. Andrea Schneider, Elisabeth, Mechtild und Klaus Fisseni, sowie allen Verwandten, Freunden und Kollegen, die mich ermutigt und angespornt haben.

Eine fachwissenschaftliche Publikation der zentralen Ergebnissen dieser Arbeit ist in Vorbereitung.

9 Lebenslauf

20.12.1970: geboren in Trier.

1990 Abitur am Gymnasium in Saarburg. Jugend-forscht-Preis in Mathematik.

1990 - 1998: Medizinstudium an der Universität des Saarlandes.

Stipendium der Studienstiftung des deutschen Volkes (1991–98).

Studienaufenthalte in **Frankreich** (erstes klinisches Jahr [ERASMUS-ECTS] und PJ-Tertial Chirurgie), **VR China** (Austauschprogramm der Medizinischen Fakultäten Homburg / Wuhan) und den **USA** (PJ-Tertial Innere Medizin). **USMLE** step 1 und 2.

Beginn der wissenschaftlichen Arbeit mit Ereigniskorrelierten Potentialen in der Arbeitsgruppe von Privatdozent Dr. G. Heinz, Universitätsnervenklinik Homburg/Saar.

1998 - 2003: Weiterbildung zum Facharzt für Allgemeinmedizin.

Weiterbildungsabschnitte in Innerer Medizin/Gastroenterologie (Saarlouis), Chirurgie und Unfallchirurgie (Dillingen/Saar), Allgemeinmedizin, Naturheilverfahren, TCM und Akupunktur (Königswinter).

seit Juli 2000: Weiterbildung in Psychotherapie.

Süddeutsche Akademie für Psychotherapie, Bad Grönenbach.

März 03 - Nov. 04: Wissenschaftlicher Mitarbeiter.

Abteilung für Allgemeinmedizin des Universitätsklinikums Düsseldorf und kommissarischer Leiter einer hausärztlichen Praxis in Eitorf.

seit Dez. 2004: Weiterb. in Psychosomatischer Medizin und Psychotherapie.

Klinik für Psychosomatische Medizin, Bad Grönenbach.