# FUNKTIONELLE ASYMMETRIEN UND CEREBRALE ASYMMETRIEN KORTIKALER AKTIVIERTHEIT

**Inauguraldissertation zur Erlangung der naturwissenschaftlichen Doktorwürde am Fachbereich I – Psychologie – der Universität Trier**

**vorgelegt von:**

**Alexander Lürken**

**Gutachter:**

**Prof. Dr. D. Bartussek**

**Dr. E. Naumann**

2000

Meinen Söhnen

Vincent und Frederik

# Danksagung

Bis zur Fertigstellung dieser Arbeit sollten fast vier Jahre vergehen. In dieser Zeit durfte ich auf die Unterstützung vieler Freunde und Kollegen bauen. In erster Linie gilt mein aufrichtiger Dank meinem Betreuer und damaligen Chef, Herrn Dr. Naumann, der mich schon als Hiwi in väterlicher Weise führte und unterstützte. Seiner Hilfe, Weitsicht und schließlich auch perönlichem Vertrauen verdanke ich nicht nur den erfolgreichen Abschluß dieser Arbeit. Prof. Dr. Bartussek hat mir im Laufe meiner Tätigkeit uneigennützig jede Freiheit gelassen und stand dennoch jederzeit als kompetenter Ansprech- und Diskussionspartner zur Verfügung. Mein Forschungsvorhaben konnte erst nach dem Aufbau eines eigenen EEG-Labors beginnen. Ohne die selbstlose Unterstützung in Punkto Hardware, Software, Lötarbeiten sowie technischer Tipps von Helmut Peifer, ohne den fleißigen Pioniergeist bei der Schnittstellenentwicklung unseres ehemaligen Ziwis Joachim Hahn, ohne den unermüdlichen Ehrgeiz unserer Programmier-Hiwis Hannes Ruge (der oft bis in die Nächte die Messsteuerung implementierte) und Jan Seifert (der unzählige Releases unserer Laborsoftware immer wieder meinen Bedürfnissen anpasste) und auch ohne die Spende eines Klimagerätes von Herrn Prof. Dr. Hellhammer, hätte unser Labor niemals erfolgreich Daten liefern können. Auch möchte ich mich bei Elke Kramer und Robert Sonntag bedanken, die mir tatkräftig in über einem Jahr der Datenerhebung bei der Versuchsdurchführung halfen. Besonders bleiben mir die fachkompetenten Ratschläge von Renate Freudenreich in Erinnerung, denn ohne Sie wären so manche Messungen fehlgeschlagen. Darüber hinaus war Sie für mich, mit Ihrer ehrlichen und selbstbewußten Art, der Herzensmittelpunkt unserer Abteilung, den ich nicht nur mit fachlichen Problemen gerne aufsuchte. Mein Büronachbar und Freund, Dirk Hagemann, hat mir in zahlreichen Diskussionen wertvolle Anregungen zur Datenauswertung gegeben und auch meine Kollegin, Gabi Becker, gab mir manchen Rat. Friedemann Gerhards gab mir im Laufe der Studie eine Vielzahl fachlicher Anregungen, auf seiner fortgeschrittenen Erfahrung in der Lateralitätsforschung durfte ich aufbauen. Auch bedanke ich mich bei Ute Kannegießer und Petra Permesang, die mir sehr bei der Fehlerkorrektur und optischen Gestaltung dieses Manuskriptes halfen. Nicht zuletzt gilt mein aufrichtiger Dank meiner lieben Lebensgefährtin Heike sowie meinen beiden Söhnen Vincent und Frederik. Sie mußten im Laufe der Zeit oft auf mich verzichten und gaben mir dennoch Rückhalt, falls mich der Glaube an die Forschung verließ. In besonderer Erinnerung bleiben mir die vielen Arbeitssonntage bei Käthe und Kurt, wo es den weltbesten Gänsebraten und Käsekuchen zur Kräftigung gab. An dieser Stelle möchte ich mich bei allen genannten und ungenannten Helfern nachdrücklich bedanken.

# Inhaltsverzeichnis


1 EINLEITUNG ..... 1

2 THEORETISCHER TEIL ..... 2

**2.1 Asymmetrie, Lateralität und Hemisphärizität ..... 2**
2.1.1 Einführung und Überblick ..... 2
2.1.2 Grundlagen der Hirnasymmetrie ..... 8
2.1.3 Prinzip der Hemisphärizität ..... 12
2.1.4 Typen der Hemisphärizität ..... 14
2.1.5 Kritische Anmerkungen zur Hemisphärizität ..... 17

**2.2 Modelle zur Erklärung von Asymmetrien ..... 22**
2.2.1 Strukturmodelle ..... 22
2.2.2 Dynamische Modelle ..... 35
2.2.3 Feld-Asymmetrie Modelle ..... 41

**2.3 VHF-Paradigma ..... 42**
2.3.1 Messung von Lateralität ..... 42
2.3.2 Lateralität und die Messung von Performance ..... 44
2.3.3 Funktionsweise des VHF-Paradigmas ..... 46
2.3.4 Bilaterale vs. unilaterale Halbfeld-Darbietung ..... 49
2.3.5 Reliabilität von VHF-Studien ..... 52

**2.4 Die Lateralität spezifischer Stimuli ..... 53**
2.4.1 Lateralität und verbale Stimuli ..... 53
2.4.2 Lateralität und Gesichter-Erkennung ..... 59
2.4.3 Lateralität und Emotionen ..... 63

**2.5 Asymmetrien im ereigniskorrelierten Potential ..... 67**
2.5.1 Das ereigniskorrelierte Potential ..... 67
2.5.2 EKP-Asymmetrien ..... 70
2.5.3 Asymmetrien in späten EKP-Komponenten ..... 73
2.5.4 EKP-Asymmetrien auf emotionale Stimuli ..... 78
2.5.5 Methodische Probleme ..... 81

**2.6 Lateralität und die P300 ..... 87**
2.6.1 Charakteristika und Interpretation der P300 ..... 87
2.6.2 Befundlage zur Asymmetrie der P300 ..... 90
2.6.3 P300 bei Split-Brain Patienten ..... 92
2.6.4 P300 als elektrophysiologisches Korrelat dieser Studie ..... 95

3 EMPIRISCHER TEIL ..... 97

**3.1 Einführung in die Wahrnehmungsexperimente ..... 97**

**3.2 Hypothesen ..... 99**
3.2.1 Hypothesen zu funktionellen Asymmetrien ..... 99
3.2.2 Hypothesen zu cerebralen Asymmetrien ..... 100
3.2.3 Hypothesen zur Interaktion der Asymmetrien auf Verhaltens- und kortikaler Ebene ..... 101

**3.3 Methode ..... 102**
3.3.1 Versuchspersonen ..... 102
3.3.2 Verbales Reizmaterial ..... 103
3.3.3 Bildhaftes Reizmaterial ..... 104
3.3.4 Erfassung der elektrophysiologischen Maße und Verhaltensdaten ..... 105
3.3.5 Experimentelle Prozedur ..... 109
3.3.6 Trialablauf ..... 112

4 ERGEBNISSE ..... 113

**4.1 Funktionelle Asymmetrien ..... 113**
4.1.1 Reaktionszeiten ..... 113
4.1.2 Trefferquoten ..... 118
4.1.3 Funktionelle Asymmetrie-Indizes ..... 123

**4.2 Cerebrale Asymmetrien kortikaler Aktiviertheit ..... 126**
4.2.1 P300-Amplitude ..... 126
4.2.2 P300-Latenz ..... 134
4.2.3 Asymmetrie-Indizes für Amplitude und Latenz der P300 ..... 145
4.2.4 Ipsi-versus Kontralaterale Verarbeitung ..... 147
4.2.5 Average-Amplituden ..... 152
4.2.6 P300-Latenz und Reaktionszeiten ..... 165

5 DISKUSSION ..... 167

6 LITERATURVERZEICHNIS ..... 178

# Abbildungsverzeichnis


Abb. 2-1: Kombiniertes Modell der Asymmetrie 23
Abb. 2-2: Asymmetrie des visuellen Systems 46
Abb. 3-1: Asymmetrie-Ebenen und deren Operationalisierung 97
Abb. 3-2: Abstände der lateralen Darbietung verbaler Stimuli 103
Abb. 3-3: Abstandsangaben der lateralen Darbietung bildhafter Stimuli 104
Abb. 3-4: Skalpverteilung der Zielelektroden und Topografie-Faktoren 105
Abb. 3-5: Trialablauf in beiden Experimenten 112
Abb. 4-1: Haupteffekt REIZ (Reaktionszeiten) 114
Abb. 4-2: Haupteffekt VHF (Reaktionszeiten) 115
Abb. 4-3: Interaktion REIZ x VHF (Reaktionszeiten) 115
Abb. 4-4: Interaktion HAND x VHF (Reaktionszeiten) 116
Abb. 4-5: Interaktion IPKO x REIZ (Reaktionszeiten) 117
Abb. 4-6: Haupteffekt REIZ (Trefferquoten) 119
Abb. 4-7: Haupteffekt VHF (Trefferquoten) 120
Abb. 4-8: Interaktion REIZ x VHF (Trefferquoten) 120
Abb. 4-9: Interaktion HAND x VHF (Trefferquoten) 121
Abb. 4-10: Interaktion IPKO x REIZ (Trefferquoten) 122
Abb. 4-11: Häufigkeitsverteilungen der funktionellen Asymmetrie-Indizes 125
Abb. 4-12: Grandmeans von anterioren und posterioren Elektrodengruppen 126
Abb. 4-13: Interaktion ANTPOST x HAND (P300-Amplitude) 128
Abb. 4-14: Interaktion HEMI x HAND (P300-Amplitude) 129
Abb. 4-15: Haupteffekt REIZ (P300-Amplitude) 130
Abb. 4-16: Interaktion REIZ x REGION (P300-Amplitude) 130
Abb. 4-17: Interaktion HEMI x REIZ (P300-Amplitude) 132
Abb. 4-18: Interaktion HEMI x VHF (P300-Amplitude) 133
Abb. 4-19: Haupteffekt REIZ (P300-Latenz) 135
Abb. 4-20: Haupteffekt VHF (P300-Latenz) 135
Abb. 4-21: Interaktion REIZ x VHF (P300-Latenz) 136
Abb. 4-22: Interaktion REIZ x HEMI (P300-Latenz) 137
Abb. 4-23: Grandmeans auf verbale vs. bildhafte Stimuli 138
Abb. 4-24: Grandmeans auf linke vs. rechte Reaktionshand (verbale Stimuli) 139
Abb. 4-25: Grandmeans auf linke vs. rechte Reaktionshand (bildhafte Stimuli) 140
Abb. 4-26: Grandmeans auf LVHF, RVHF u. Distraktoren (verbale Stimuli) 141
Abb. 4-27: Grandmeans auf LVHF, RVHF u. Distraktoren (bildhafte Stimuli) 142
Abb. 4-28: Grandmeans auf ipsi vs. kontra-lateraler Modus (verbale Stimuli) 143
Abb. 4-29: Grandmeans auf ipsi vs. kontra-lateraler Modus (bildhafte Stimuli) 144
Abb. 4-30: Kummulierte Häufigkeitsverteilung für P300– Asymmetrie-Indizes 145
Abb. 4-31: Haupteffekt COIP (P300-Amplitude) 149
Abb. 4-32: Interaktion REIZ x COIP (P300-Amplitude) 149
Abb. 4-33: Haupteffekt COIP (P300-Latenz) 151
Abb. 4-34: Effektverlauf der Average-Amplitude, Haupteffekt REIZ 153
Abb. 4-35: Effektverlauf der Average-Amplitude, Haupteffekt VHF 154
Abb. 4-36: Effektverlauf der Average-Amplitude, Haupteffekt HEMI 155
Abb. 4-37: Verlauf der Hemisphärenunterschiede der anterioren Elektrodenpaare 156
Abb. 4-38: Verlauf der Hemisphärenunterschiede der posterioren Elektrodenpaare 157
Abb. 4-39: Effektverlauf der Average-Amplitude, Interaktion HEMI x HAND 158
Abb. 4-40: Effektverlauf der Average-Amplitude, Interaktion HEMI x REIZ 159
Abb. 4-41: Effektverlauf der Average-Amplitude, Interaktion HEMI x VHF 161
Abb. 4-42: Interaktion HEMI x VHF, (verbale Stimuli, anteriore Elektrodengruppe) 163
Abb. 4-43: Interaktion HEMI x VHF, verbales Reizmaterial posteriore Elektrodengruppe 163
Abb. 4-44: Interaktion HEMI x VHF, bildhaftes Reizmaterial, anteriore Elektrodengruppe 164
Abb. 4-45: Interaktion HEMI x VHF, bildhaftes Reizmaterial, posteriore Elektrodengruppe 164
Abb. 4-46: Korrelation zwischen P300-Latenz und Reaktionszeit für verbales Reizmaterial 165
Abb. 4-47: Korrelation zwischen P300-Latenz und Reaktionszeit für bildhaftes Reizmaterial 166

# Tabellenverzeichnis

Tab. 2-1: Unterschiede zwischen Hemisphären-Spezialisierung und -Aktivierung 15
Tab. 2-2: Übersicht möglicher Moderatorvariablen der Asymmetrie 20
Tab. 2-3: Metaanalyse zum bilateralen vs. unilateralen Darbietungsmodus 49
Tab. 3-1: Versuchsplan beider Wahrnehmungsexperimente 111
Tab. 4-1: Signifikante Ergebnisse der ANOVA, AV Reaktionszeiten 113
Tab. 4-2: Signifikante Ergebnisse der ANOVA, AV Trefferquoten 118
Tab. 4-3: Übersicht der funktionellen Asymmetrie-Indizes 123
Tab. 4-4: Korrelationen zwischen den funktionellen Asymmetrie-Indizes 124
Tab. 4-5: Prozentualen Häufigkeitsverteilungen der funktionellen Asymmetrie-Indizes 125
Tab. 4-6: Signifikante Ergebnisse der ANOVA, AV P300-Amplitude 127
Tab. 4-7: Signifikante Ergebnisse der ANOVA, AV P300-Latenz 134
Tab. 4-8: Verteilungsvergleich der Asymmetrie-Indizes der P300- Amplitude und Latenz 146
Tab. 4-9: Zusammenhang zwischen Verarbeitungsform und experimenteller Bedingung 147
Tab. 4-10: Signifikante Ergebnisse der Colp-Analyse, AV P300-Amplitude 148
Tab. 4-11: Signifikante Ergebnisse der Colp-Analyse, AV P300-Latenz 150
Tab. 4-12: Effektverlauf der Average-Amplitude, Haupteffekt REIZ 153
Tab. 4-13: Effektverlauf der Average-Amplitude, Haupteffekt VHF 154
Tab. 4-14: Effektverlauf der Average-Amplitude, Haupteffekt HEMI 155
Tab. 4-15: Effektverlauf der Average-Amplitude, Interaktion HEMI x ANTPOST 156
Tab. 4-16: Effektverlauf der Average-Amplitude, Haupteffekt HAND und Interaktionen 158
Tab. 4-17: Effektverlauf der Average-Amplitude, Interaktion REIZ x HEMI 159
Tab. 4-18: Effektverlauf der Average-Amplitude, Interaktion HEMI x VHF 160
Tab. 4-19: Effektverlauf der Average-Amplitude, HEMI x REIZ (x VHF) 161
Tab. 4-20: Korrelationen zwischen den funktionellen u. kortikalen Asymmetrie-Indizes 166

# Abkürzungsverzeichnis

| | |
|---|---|
| EEG | Elektroencephalogramm |
| EKP | Ereigniskorreliertes Potential |
| AEP | Akustisch evoziertes Potential |
| VEP | Visuell evoziertes Potential |
| CNV | Contingent Negative Variation |
| SW | Slow-Wave |
| LPC | Late Positive Complex |
| | |
| RH | Rechte Hemisphäre |
| LH | Linke Hemisphäre |
| VHF | Visuelles Halbfeld |
| RVHF | Rechtes visuelles Halbfeld |
| LVHF | Linkes visuelles Halbfeld |
| BVHF | Bilaterales visuelles Halbfeld |
| GFH | Gesichtsfeldhälfte |
| | |
| PET | Positron Emission Tomographie |
| MEG | Magnetoencephalogramm |
| FRMI | Functional Magnetic Resonance Imaging |
| | |
| CC | Corpus Callossum |
| FR | Formation Retikularis |
| TL | Temporallappen |
| | |
| IHTT | Interhemispheric Transmission Time |
| IRM | Indirect Relay Model |
| DAM | Direct Access Model |
| TQ | Trefferquote |

# 1 Einleitung

Die Lateralitätsforschung hat bis dato eine Vielzahl an Hinweisen für einen linkshemi-sphärischen Leistungsvorteil für die Verarbeitung verbalen Materials und umgekehrt einen rechtshemisphärischen Vorteil für die Verarbeitung bildhaften Materials aufzeigen können. Zum einen basieren die Befunde aus Untersuchungen an der klinischen Population und zum anderen aus einer Vielzahl an Experimenten an gesunden Probanden. Erstere Forschungsmethoden ergaben eindeutige Evidenzen aus Versuchen mit Split-Brain Patienten, Personen mit einer Lobektomie oder Teilläsionen sowie durch invasive Methoden wie die direkte Hemisphärenstimulation oder der Hemisphärenanästhesie. Doch aufgrund der teilweise geringen Anzahl untersuchter Personen, sind die Resultate aus den klinischen Untersuchungen nicht ohne weiteres auf die Gesamtpopulation übertragbar. Aus diesem Grunde sind weitere Erforschungen an der Normalpopulation notwendig, um verläßliche Aussagen über Lateralität machen zu können. Die experimentellen Befunde aus der gesunden Population stützen sich zum Großteil u.a. auf Ergebnisse aus Experimenten mit elektrophysiologischen Messungen, durch die Erfassung von lateralen Augenbewegungen oder Rückschlüssen anhand kognitiver Tests oder der Messung von funktionellen Asymmetrien.

Aber auch nach über 25 Jahren jüngster Lateralitätsforschung existiert eine sehr inkonsistente Befundlage sowohl zu funktionellen als auch zu kortikalen Hemisphärenasymmetrien. Bei den kortikalen Asymmetrien ist zwischen tonischer und phasischer Aktiviertheit zu unterscheiden. Es fällt auf, daß bis heute kaum Studien existieren, in denen Verhaltensasymmetrien und Asymmetrien phasischer kortikaler Aktiviertheit in einer experimentellen Umgebung gemeinsam untersucht wurden. Darüber hinaus gibt es nur wenige Studien, in denen mit Hilfe eines VHF-Paradigmas ereigniskorrelierte Potentiale auf lateralisert dargebotene Stimuli unterschiedlicher Reizklassen verglichen wurden. Der Großteil der Autoren schloß von funktionellen Verhaltensasymmetrien auf zugrunde liegende cerebrale Asymmetrien, ohne dabei auf ein allgemeingültiges Erklärungsmodell zur Vorhersage und Integration beider Asymmetriemaße zurückzugreifen.

Im Mittelpunkt dieser Arbeit steht die Analyse des Verhältnisses zwischen funktionellen Asymmetrien der Verhaltensebene sowie den cerebralen Asymmetriemaßen phasischer kortikaler Aktiviertheit. Eine Vielzahl von Evidenzen existieren im Zusammenhang mit der Verarbeitung spezifischen Reizmaterials und unterschiedlichen Asymmetriemaßen aus Verhaltensdaten oder elektrophysiologischen Parametern. Die Assoziation zwischen verbalem Reizmaterial und der linken Hemisphäre sowie zwischen bildhaftem Reizmaterial und der rechten Hemisphäre scheint besonders in der Psychometrik der Verhaltensebene als weitgehend gesichert. Sehr viel

inkonsistenter fällt hingegen die Befundlage einer Vielzahl von EEG-Untersuchungen aus. Besonders die Ergebnisse aus Studien mit der Messung von ereigniskorrelierten Potentialen lassen sich kaum mit den Resultaten der Verhaltensexperimente in Einklang bringen. Daher besteht ein Ziel dieser Arbeit darin, die Beziehung zwischen Asymmetrien aus Verhaltens-maßen (Reaktionszeiten und Treffgenauigkeit) und Parametern des ereigniskorrelierten Potentials in Abhängigkeit von der Verarbeitung hemisphärenspezifischen Reizmaterials, näher zu beleuchten.

Das zentrale elektrophysiologische Maß dieser Arbeit stellt das ereigniskorrelierte Potential dar, kurz EKP. Das EKP bildet die durch einen Reiz ausgelösten hirnelektrischen Veränderungen ab, die eng mit Prozessen der Informationsverarbeitung zusammenhängen. So sollen mit Hilfe des EKP die spezifischen funktionellen Asymmetrien der Performance der Verhaltensebene in Zusammenhang gebracht und näher untersucht werden.

Insgesamt stehen drei Zusammenhangsebenen unterschiedlicher Asymmetriemaße zur Diskussion. Einmal die Ebene funktioneller Verhaltensasymmetrien, dann die Ebene der kortikalen Asymmetrien und schließlich die Wechselwirkungsebene zwischen funktionellen Asymmetrien der Verhaltensebene und cerebralen Asymmetrien kortikaler Aktivierung. In diesem Zusammenhang stellt sich einerseits die Frage, wie und ob alle drei Asymmetrie Ebenen miteinander interagieren und andererseits, ob sich die Wechselwirkungen in Abhängigkeit von abstrakten/verbalen und emotionalen/bildhaften Reizmaterial verändern.

Die Experimente dieser Arbeit setzen das in der psychophysiologischen Wahrnehmungsforschung bereits etablierte visuelle Halbfeldparadigma (VHF-Paradigma) ein, den Probanden werden unterschiedliche visuelle Stimuli lateralisiert auf einem Computermonitor dargeboten. In diesem Untersuchungsrahmen bearbeiten die Versuchspersonen in zwei unterschiedlichen Experimenten zum einen abstrakte verbale Stimuli und zum anderen emotionale bildhafte Stimuli. In beiden Studien werden als abhängige Variablen die Reaktionszeit, die Treffergenauigkeit sowie der Verlauf des ereigniskorrelierten Potentials jedes experimentellen Trials erhoben. Als Parameter des EKP werden die Peaks sowie ihre Latenzen der jeweiligen Komponenten berechnet.

Die P300-Komponente findet in dieser Studie eine besondere Berücksichtigung. Im Focus steht hierbei die Fragestellung, ob das EKP und i.e.S. die P300-Komponente überhaupt zur Erfassung und Interpretation von lateralisierten kognitiven Prozessen geeignet ist.

Falls ja, (a) welche lateralisierten kognitiven Prozesse können durch die P300 abgebildet werden und (b) ob eine evozierte EKP-Asymmetrie durch die Art des Reizmaterials (verbal vs. bildhaft) moderiert wird?

*Asymmetrie, Lateralität und Hemisphärizität*

Der theoretische Hintergrund dieser Arbeit gliedert sich in drei Hauptsegmente: Die Kapitel 2.1 (Asymmetrie, Lateralität und Hemisphärizität) und 2.2 (Modelle zur Erklärung von Asymmetrien) bilden den ersten Teil. Sie zeigen den aktuellen Wissensstand der heutigen Lateralitäts-Forschung auf. Hier erfolgt zuerst eine Einführung in das Verständnis von Lateralität und der zugrundeliegenden physiologischen Asymmetrie sowie der Asymmetrie verschiedener Funktionalitäten des Verhaltens. In diesem Zusammenhang wird das Prinzip der grundlegend Hemisphärizität erläutert und kontrovers diskutiert. Die Darstellung psychophysiologischer und neurophysiologischer Erkenntnisse hinsichtlich der Hirnasymmetrie und der damit verbundenen funktionellen Asymmetrien wird dem Leser ebenfalls vermittelt. Die theoretischen Modelle in Kapitel 2.2 skizzieren den derzeitigen wissenschaftlichen Konsens zur Erklärung von Asymmetrien, obgleich sie lediglich einen phänomenologischen Charakter aufweisen.

*Das VHF-Paradigma*

Das zweite theoretische Segment dieser Arbeit bildet das Kapitel 2.3 (VHF-Paradigma). Einführend werden die Methoden zur Messung von Lateralität kritisch beleuchtet und darüber hinaus werden wichtige Aspekte zur Messung von Performance-Asymmetrien in der Lateralitätsforschung aufgeführt. Weiterhin beschäftigt sich dieses Segment mit der experimentellen Umgebung und möglicher Störfaktoren in der Durchführung des visuellen Halbfeldparadigmas. Hier erfolgt ein detaillierter Einblick in die Methode des VHF-Paradigmas unter besonderer Berücksichtigung der Erfassung von Asymmetriemaßen der Verhaltensebene. Die Funktionsweise des VHF-Paradigmas wird erklärt und die Auswirkung möglicher Störvariablen wird aufgezeigt. Weiterhin werden unterschiedliche experimentelle Modalitäten dieses Paradigmas gegenüber gestellt. Zum Ende dieses Kapitels erfolgt eine Bewertung des gegenwärtigen Forschungsstandes zur Reliabilität von VHF-Studien.

*Lateralität spezifischer Stimulustypen*

Das dritte Theoriesegment dieser Arbeit, die Beschreibung von spezifischen Asymmetrien der Verhaltensebene sowie Asymmetrien kortikaler Aktiviertheit in Bezug auf die Verarbeitung hemisphärenspezifischen Reizmaterials, wird durch das Kapitel 2.4 (Die Lateralität spezifischer Stimulustypen) eröffnet. Dieses Kapitel zitiert eine Vielzahl von Evidenzen des heutigen Forschungstandes zur Lateraliät spezifischer Stimulustypen. Aus Untersuchungen mit verbalen, gesichterlichen und emotionalen Stimuli wird anhand von Ergebnissen zur Performance der Verhaltensebene ein Überblick der Lateralitätsforschung aufgezeigt.

*Asymmetrien im ereigniskorrelierten Potential*

Die Verknüpfung der Maße der funktionellen Asymmetrie der Verhaltensebene und Asymmetriemaßen der cerebralen kortikalen Aktiviertheit steht in dieser Arbeit im Mittelpunkt. Daher bildet das dritte Hauptsegment (Kapitel 2.5, Die P300 und Kapitel 2.6, EKP-Asymmetrien) einen zentralen Anteil an dem theoretischen Grundgerüst. Nach einer kurzen Einführung in das ereigniskorrelierte Potential werden einige prägnante Ergebnisse der elektrophysiologischen Lateralitätsforschung aufgezeigt.

Mit der technischen Entwicklung der digitalen Informationsverarbeitung Anfang der 80er Jahre fand die Aufzeichnung von EKP innerhalb von Experimenten eine große Verbreitung. Die Lateralitätsforschung der Verhaltensmaße hatte jedoch schon in den 70er Jahren ihren Höhepunkt und wurde mit dem Einzug der erleichterten Messbarkeit von elektrophysiologischen Parametern zehn Jahre später neu angefacht. Doch das Problem einer inkonsistenten Befundlage der EKP-Ergebnisse aus Asymmetrie-Studien konnte auch nicht durch eine Vielzahl von Untersuchungen und deren Replikationsversuche gelöst werden. So skizzieren Kapitel 2.5.2 (EKP-Asymmetrien), 2.5.3 (Asymmetrien in späten EKP-Komponenten) und 2.5.4 (EKP-Asymmetrien auf emotionale Stimuli) i.e.S. einen Streifzug durch die heterogene Befundlage der EKP-Forschung aus Asymmetrie-Studien. Abschließend wird eine Auswahl von grundlegenden methodischen Probleme in der Erforschung von Asymmetrien durch das EKP diskutiert.

*Lateralität und die P300*

Eine EKP-Analyse ist besonders informativ, da Interaktionen von kognitiven und motorischen Interferenzen durch die Parameter des EKP getrennt werden können. So lassen insbesonders langsame kortikale Potentiale Interpretationen auf zugrunde liegende komplexe kognitive Prozesse der Informationsverarbeitung zu. Die P300-Komponente ist die meist untersuchte Komponente des ereigniskorrelierten Potentials und zudem ermöglicht sie es, bestimmte Rückschlüsse hinsichtlich der kognitiven Bearbeitung von komplexen hemisphärenspezifischen Reizmaterials zu ziehen. Das Kapitel 2.6 (Lateralität und die P300) startet mit einer Beschreibung der Charakteristka und Interpretationsmöglichkeiten der P300 (s. Kapitel 2.6.1). Spezifische Ergebnisse zur Befundlage der Asymmetrie in der P300 werden anschließend aufgeführt und in Kapitel 2.6.3 (P300 bei Split-Brain Patienten) steht die Frage der Lateralität der P300 im Mittelpunkt. Schließlich wird argumentiert, warum die P300 als elektrophysiologisches Korrelat in dieser Studie Verwendung findet.

*Die Experimente*

Die Studie basiert auf zwei unterschiedlichen Experimenten. In diesen Untersuchungen werden jeweils 44 Versuchspersonen messwiederholt einer EEG-Messung während der Bearbeitung einer experimentellen Aufgabe an einem Computermonitor unterzogen. Beide Untersuchungen sind Wahrnehmungsexperimente, wobei den Probanden entweder abstrakte Wörter oder emotionale Gesichter präsentiert werden. Die Darbietungsweise der experimentellen Reize erfolgt im Rahmen eines visuellen Halbfeldparadigmas, in dem die Stimuli bilateral auf dem Monitor eingeblendet werden. Die Versuchsperson haben die Aufgabe, einen bestimmten Zielreiz verbaler oder bildhafter Art zu identifizieren und dessen Darbietungsseite mittels eines Tastendruck zu kennzeichnen. Zu der Studie wurden ausschließlich RechtshänderInnen zugelassen.

In beiden Experimenten werden als abhängige Variablen die Reaktionszeit und die Treffergenauigkeit zur Abbildung der funktionellen Asymmetrien sowie der Verlauf des ereigniskorrelierten Potentials jedes experimentellen Trials zur Erfassung der kortikalen Aktiviertheit erfasst. Die P300-Komponente des EKP findet in dieser Studie eine besondere Berücksichtigung. Als Parameter werden insbesondere der Peak dieser Komponente sowie ihre Latenz berechnet. Darüber hinaus dienen Average-Amplituden eines periodischen Zeitkontinuums als ergänzende elektrophysiologische Parameter zur Interpretation der Ergebnisse.

# 2 Theoretischer Teil

## 2.1 Asymmetrie, Lateralität und Hemisphärizität

### 2.1.1 Einführung und Überblick

Die Erforschung der Lateralität des Verhaltens hat eine längere Geschichte als die der Psychologie. Seit 1960 wurden ca. 7000 wissenschaftliche Artikel zum Thema Lateralität publiziert (Beaumont, 1997). So existiert eine Vielzahl an verschiedensten Befunden zu dieser Thematik, was aber nicht bedeutet, daß man gegenwärtig Lateralität versteht. Eine Reihe von fundamentalen Fragen bleiben bis dato unbeantwortet.

*Der biologische Kontext*

„Warum haben wir zwei Gehirne?"; (Young, 1962). Überraschender Weise gibt es bis heute keine eindeutige Antwort auf diese Frage. Der biologische und evolutionäre Kontext scheint in diesem Zusammenhang eine wesentliche Rolle zu spielen. So glauben wir, bspw. bestimmte lateralisierte Aspekte unseres Verhaltens grundsätzlich durch die laterale Asymmetrie von physiologischen und neurologischen Strukturen erklären zu können. Doch warum ist das Nervensystem einer Vielzahl von Tieren geteilt, und warum sind afferente und efferente Strukturen weitgehend kontralateral organisiert?

Darüber hinaus gibt es eine Vielzahl unterschiedlicher Annahmen darüber, wie eine kontralaterale Organisation entsteht. Bodian (1962) unterstrich die Wichtigkeit, daß unilaterale Stimuli auf Seiten des kontralateralen Muskels eine Art defensiven Reflex hervorrufen. In diesem Sinne bildet die kontralaterale Organisation eine Art präventiven Mechanismus, in dem die effektive neurale Kontrolle sich kontralateral zu den sensorischen und motorischen Exekutiven befindet. Diese Annahme wurde in der Literatur nicht weiter vertieft, dennoch liefert sie als einzige eine überzeugende Erklärung für dieses Phänomen (Beaumont, 1997).

Z.B. die Tatsache, daß das Nervensystem geteilt ist, erregte ungleich mehr Aufmerksamkeit in der Forschung. In diesem Zusammenhang vertreten u.a. Springer und Deutsch (1995) die weit verbreitete Annahme, daß die laterale Duplizierung einen Schutz vor einem Totalausfall bietet und so im Falle eines Schadens noch Restkapazitäten zur Verfügung stehen. Allerdings entspricht dieses Konzept nicht dem biologischen Prinzip der onthogenitischen Optimierung. Eine mögliche

Reservekapazität als Ursache für das Vorhandensein von zwei Hemisphären erscheint in diesem Zusammenhang als fraglich.

Ein anderer Ansatz (Corballis, 1983) basiert auf der Annahme, daß die laterale Spezialisierung besonders ein Phänomen des Menschen darstellt. Eine Zweiteilung des Nervensystems und die damit einhergehende, laterale Spezialisierung, soll die Entwicklung von speziellen und komplexen Fähigkeiten bei Kindern erleichtern. Andere Ansätze gehen davon aus, daß ein geteiltes Gehirn besser in der Lage ist, gegensätzliche oder verschiedene Elemente zu integrieren. Ganz sicher kann man davon ausgehen, daß das geteilte Nervensystem sehr adaptiv in der Evolution der Lebewesen war, es trat sehr früh auf und währte lange an.

Levy (1985) akzentuierte die Rolle des Corpus Callosum (CC) in der ontogenetischen Entwicklung und Lateralisation von Funktionen. Die Forscherin postuliert eine hervorgehobene Rolle des CC, wobei Sie betont, daß sich das CC relativ spät im 4. Schwangerschaftsmonat entwickelt und erst in der Evolution der Säugetiere auftrat. Sie widerspricht den zwei etablierten Annahmen, daß (a) das CC eine hemmende Funktion auf die jeweils andere Hemisphäre haben soll während die komplementäre aktiv ist und (b), daß es einzig zum interhemisphärischen Transfer dient. Darüber hinaus soll ihrer Ansicht nach, das CC ebenso eine kritische Rolle in der Entwicklung der hemisphärischen Organisation bilden und außerdem in Aufmerksamkeits- und Regulations-Funktionen involviert sein.

Beaumont (1997) bezeichnet es als Torheit, die cerebralen Hemisphären als unabhängige subkortikale Systeme zu betrachten. Nach seiner Ansicht, sollte man die funktionellen Dichotomien in der Lateralitätsforschung focussieren.

*Das Verständnis von Lateralität*

Vor mehr als 100 Jahren haben Marc Dax und Paul Broca entdeckt, daß eine Verletzung der linken Gehirnhälfte die Unfähigkeit zu sprechen hervorruft, daß aber im Gegensatz dazu eine Schädigung der rechten Hemisphäre die Sprache nicht beeinträchtigt. Seit dieser Zeit wird allgemein akzeptiert, daß die linke Hemisphäre eine Sonderrolle bei der Sprache spielt. Bis in die jüngere Zeit dagegen blieben die besonderen Funktionen der rechten Gehirnhälfte ein Rätsel. Das Verständnis von Lateralität wird durch folgende drei Aspekte erschwert:

A) Eine Lateralität (Asymmetrie) von Funktionen kann sowohl durch Umwelteinflüsse als auch durch genetisch bestimmte Faktoren, zum Beispiel Geschlecht und Händigkeit beeinflußt werden.

B) Lateralität ist ein relatives, kein absolutes Maß, da beide Hemisphären an der Kontrolle fast jeden Verhaltens beteiligt sind. Obgleich also die linke Hemisphäre für die Sprachproduktion von besonderer Wichtigkeit ist, verfügt auch die rechte Hemisphäre ebenfalls über Sprachfähigkeiten.

C) Das funktional asymmetrische Gehirn ist nicht nur allein ein Charakteristikum des Menschen - Tiere haben funktional als auch anatomisch gesehen ebenfalls ein asymmetrisches Gehirn.

*Die Signifikanz von Verhaltensasymmetrien*

Eine weitere Kontroverse stellt die Erklärung von gemessenen Verhaltensasymmetrien durch cerebrale Lateralisation dar. Essentiell ist die Tatsache, daß eine Involviertheit der cerebralen Hemisphären bei solchen Lateralitätseffekten immerhin nur indirekt erschlossen und nicht direkt beobachtet wird. In den frühen 80er Jahren (Beaumont, 1982) gab es einen weiten und bedeutenden Zuspruch für die Erklärung von Verhaltensasymmetrien durch die cerebrale Lateralisation. Doch erst in letzter Zeit findet eine Neubewertung dieser Zusammenhänge statt und die Validität der damaligen Schlußfolgerungen wird in Frage gestellt (Beaumont, 1997). Schon in den 70er Jahren wurde der Einfluß von Lesegewohnheiten, Abtastungsmuster und Stimulusorientierung auf Lateralitäteffekte diskutiert (White, 1972). Solche Faktoren wurden aber lediglich als Moderatorvariablen behandelt, jedoch nicht maßgeblich als ursächliche Quelle für die Generierung von Lateralitätseffekten betrachtet.

So berichtete Boles (1985) von zwei Experimenten in denen die Faktoren Wortorientierung, Buchstabensymmetrien und Darbietungsreihenfolge als mögliche Einflußgrößen auf die Verhaltensasymmetrie variiert wurden. Der erwartete rechts visuelle Halbfeld Vorteil (RVHF) interagierte nicht mit diesen Faktoren, was die hemisphärische Interpretation der gemessenen Asymmetrien unterstützte. Doch diese Interpretation der Ergebnisse wurde von Kirsner (1986) in Frage gestellt. Ihrer Ansicht nach lassen sich die Befunde von Boles ausschließlich durch systematische Wahrnehmungsverzerrungen (Bevorzugung von bestimmten Anfangsbuchstaben) sowie durch den Einfluß von retinaler -Exzentrizität und –Schärfe erklären, das Konzept der hemisphärischen Spezialisierung blieb in ihrer Argumentation unberücksichtigt. Letztere Interpretation wurde unmittelbar darauf von Bryden (1986) und Hellige (1986) attakiert. Bryden manipulierte die Lokalität der dargebotenen Wörter und korrelierte sie mit den gemessenen visuellen Felddifferenzen, ohne einen Effekt zu finden. Hellige stellte lediglich das experimentelle Design von Kirsner und Schwartz in Frage.

Unterstützung bekam die Kritik von Kirsner und Schwartz an dem Konzept der hemisphärischen Spezialisierung durch Sergent (1983). Dieser geht davon aus, daß bestimmte perzeptuelle Eigenschaften eines wahrgenommenen Reizes bedeutsam für die resultierende Verhaltensasymmetrie sind. Für den Autor stellt die räumliche Komposition eines Reizes den wichtigsten Einflußfaktor auf die Asymmetrie dar. Weiterhin stellt er die Generalisierbarkeit der Laborergebnisse in Frage, denn die relativ kurze Darbietungszeit und die Kontrolle der retinalen

Stimulusexzentrizität, welche typisch und unabdingbar bei visuellen Halbfeldexperimenten sind, kommen unter normalen Bedingungen nicht vor.

Alles in allem werfen die genannten Einwände einen beträchtlichen Schatten auf die Attributon von Verhaltenasymmetrien durch cerebrale Asymmetrien. Bis heute sind eine ganze Reihe alternativer Erklärungsansätze und konfundierter Störfaktoren im Zusammenhang mit Verhaltensasymmetrien erkannt worden. Es mag ein schwerwiegender Trugschluß sein, daß laterale Asymmetrien hauptsächlich durch die laterale Spezialisierung der cerebralen Hemisphären zu erklären sind (Beaumont, 1997). Zudem hat sich herausgestellt, daß besonders visuelle Halbfeldexperimente sowie dichotische Gehörunterschungen sehr unreliabele und instabile Befundmuster zeigen Hannay (1986), Hellige (1996) und Hugdahl (1988). Die Ergebnisse neuerer Untersuchungen zeigen deutlich, daß der Einfluß von extracerebralen psychlogischen Faktoren vernachlässigt wurde. Keine experimentelle Untersuchung kann valider sein als ihre Reliabilität und besonders der Grad der Validität vieler Untersuchungen steht bis dato in Frage (Beaumont, 1997).

*Dichotomien*

Bis heute werden einfache Dichotomien benutzt, um die laterale Spezialisierung der beiden cerebralen Hemisphären zu charakterisieren. Eine solche Dichotomie wäre bspw. die Unterteilung von analytisch vs. holistisch, von verbal vs. räumlich, von seriell vs. parallel. Bradshaw und Nettleton (1983) postulierten diese Unterteilung mit einem Zusatz, daß ein Kontinuum der Funktionen zwischen den Hemisphären existiert und die Unterschiede eher quantitativer als qualitativer Natur seien. Hingegen spricht Corballis (1983) von einer „Überdichotomisierung" wenn man die funktionellen Unterschiede zwischen den Hemisphären zu stark betont und dabei die funktionellen Überlappungen vernachlässigt. Auch Beaumont (1997) spricht von einer „naiven" Betrachtungsweise, wenn man eine fixe Hemisphärenspezialisierung dichotomisiert. Gerade diese einfache und funktionell trennbare Ansicht wird oft mit einer Theorie zur Erklärung von Gehirnfunktionen verwechselt (Bryden, 1982). Doch ohne eine eindeutige Definition von „analytisch, holistisch, verbal, räumlich" im Zusammenhang mit den dahinterliegenden Mechanismen, erfahren wir nichts über die eigentlichen Gehirnfunktionen. Warum sollen Hemisphärenunterschiede auf ein einziges Prinzip reduziert werden, zumal man davon ausgehen kann, daß die zugrundeliegenden Prozesse der lateralen Asymmetrien eher multifaktioreller Natur sind? Die extremste Ausführung der hemisphärischen Dichotomie ist das Konzept der Hemisphärizität. Viele Reviews (Beaumont, 1984; Gordon, 1996) betonen, daß es keine wissenschaftliche Basis für dieses Konzept gibt und daß es eher zu Mißverständnissen führt als Erklärungscharakter hat.

Nicht nur die Hemisphären sind normalerweise vielfältig miteinander verschaltet, sondern sie sind ebenso in nicht unterteilte, subkortikale Strukturen (u.a. assoziiert mit Aufmerksamkeitsprozessen, Arousal, Emotionen) eingebunden. Aus diesem Grunde ist es schon fraglich, die Funktionen der Hemisphären in einfache Dichotomien zu untergliedern. Bis heute standen besonders spezifische kognitive Fähigkeiten im Mittelpunkt der Lateralitätsforschung, sicherlich ein weiterer Grund dafür, daß das Konzept der hemisphärischen Dichotomien weit verbreitet ist.

*Lateralisierte Informationsverarbeitung in einem normalen Gehirn*

Die grundlegende Frage lautet: Was wissen wir über die kognitive Architektur des normalen Gehirns und welchen Anteil haben dabei die lateralen Komponenten? Die gängigsten Modellannahmen basieren auf analogen Informationsprozessen aus der Computertechnologie. Unter der Annahme, daß eine solche Funktionsweise zugrunde liegt, zerlegen und erklären wir das System in und durch eine Anzahl von Subprozessen. Jeder dieser Prozesse hat seine interne Struktur und in seiner Interaktion mit den anderen Komponenten bildet das Ganze eine spezifische Architektur. Die Struktur dieser Komponentenprozesse bzw. das übergeordnete System kann grundsätzlich in drei Kategorien klassifiziert werden: In serielle, parallele oder hybride informationsverarbeitende Prozesse (Beaumont, 1997). Sicherlich lassen sich diese globalen Prozesse in sich wiederum in unterschiedliche Teilprozesse unterteilen, doch die nachfolgenden Annahmen befassen sich mit der generellen Struktur des Systems in Hinblick auf die anatomische Unterteilung des Cortex in zwei Hemisphären.

Sicherlich ist es möglich, daß das Verarbeitungssystem gänzlich in sequentielle Prozesse zerlegt werden kann. Bestimmte Stufen der Verarbeitung legen diese Annahme nahe (Beaumont, 1997), so daß die Asymmetrie entweder auf der relativen Ineffizienz bestimmter Teilprozesse oder auf einer transkallossale Übertragungsverzögerung basiert. Ein solcher Erklärungsansatz der Asymmetrie ist allerdings problematisch, denn werden bei dieser Sichtweise die vielzähligen und redundanten Wiederholungen der meisten Hauptfunktionen in jeder Hemisphäre ausgeschlossen. Ebenso problematisch ist es, die relative Modulation der Hemisphärenasymmetrie durch Aufgabenvariablen und Aufmerksamkeitskomponenten nur im Lichte einer alleinigen seriellen Organisation zu betrachten. Ferner besteht in der Forschung weiterhin Unklarheit darüber, wie sich in einem ausschließlich seriellen System Funktionen lateralisieren und warum bestimmte Funktionen mehr mit der einen als der anderen Hemisphäre assoziiert werden können. Angesichts dieser Kontroverse wird die Existenz der parallelen Verarbeitung durch eine Vielzahl von Modellen postuliert (s. Kapitel 2.2). Die duale Natur der Hemisphären unterstützt die parallelisierten Annahmen auf einfache Art. Doch auch letztere Theorien sind wenig aussagekräftig darüber, wie solche Parallelprozesse aufgebaut oder wie sie koordiniert sind. Die Organisation der parallelen

Systeme ist nicht so einfach strukturiert, wie sie auf den ersten Blick erscheinen mag. Ein paralleles System bietet im Vergleich zu einem sequentiellen System einen beträchtlichen Geschwindigkeitsvorteil, obgleich demgegenüber ein Mehraufwand an der Verschaltung der parallelen Verarbeitungselemente besteht. Falls alle Prozesse parallel verlaufen, so wäre die Gesamtverarbeitungszeit eines kompletten Prozesses durch die Verarbeitungszeit des langsamsten Teilprozesses determiniert. Weiterhin kann angenommen werden, falls zwischen den parallelen Elementen eine Unabhängigkeit besteht, daß für einige dieser Teilprozesse funktionelle Spezialisierungen möglich wären. Das Vorhandensein einer abhängigen Verknüpfung zwischen zwei Teilprozessen läßt hingegen auf eine serielle Verbindung schließen. Bemerkenswert ist in diesem Zusammenhang anzumerken, daß die meisten Computerfunktionen seriell ausgeführt werden und parallelverarbeitende Systeme nur zwecks Performancegewinnung verwendet werden. Außerdem werden bestimmte parallel verarbeitende Teileinheiten wiederum in sequentielle Teilprozesse zerlegt. Genau betrachtet, kann die Parallelverarbeitung mehrer Subsyteme sich auf verschiedene Art und Weise hinderlich auf die Performance auswirken. So kann bspw. ein Deadlock entstehen, gemeint ist der Zustand, indem ein Subsystem auf das Ergebnis des zweiten Subsystems wartet, das zweite jedoch wartet auf das Ergebnis des ersten Subsystems. Ein weiterer Zustand wäre der eines gemeinsamen Resourcenkonfliktes, welcher zu einer Blockade der beteiligten Subsysteme führen kann. Somit können Deadlock, Resourcenkonflikt und andere Probleme der Parallelverarbeitung ursächlich für die Variabilität der Performance temporaler Prozesse sein. Für den interessierten Leser sei hier auf die Modelle von Oatley (1978), Johnson-Laird (1983) und Shallice (1988) verwiesen.

Alles in Allem ist es aufgrund einer Reihe von plausiblen Einwänden eher unangebracht, dem kognitiven System ein reines seriell oder parallel verarbeitendes Modell zu Grunde zu legen. Eine hybride Architektur aus Parallelkomponenten in einer Integration eines seriellen Rahmens scheint besser die unterschiedlichen Funktionsweisen des Gehirns zu charakterisieren. Doch wie passt in dieses Konzept die spezifische Betrachtungsweise der beiden Hemisphären?

Es scheint unbestreitbar, daß beide Hemisphären auf einer bestimmten Verarbeitungsebenen relativ seperate Ein- und Ausgabe-Prozesse ausführen. Auf der Eingabe-Ebene erhält jede Hemisphäre sensorische Daten von dem lateral gegenüberliegenden Raum, die lateralisierte Ausgabe-Ebene kontrolliert die gegenüberliegende Körperhälfte. Zwischen diesen Teilen liegen die mehr oder weniger zentralen psychologischen Vorgänge in denen Einschätzungs-. Analyse- und Entscheidungsprozesse involviert sind. Einfach betrachtet, besteht das System aus einem Satz parallel verarbeitender Eingabeprozesse (lose zwischen den beiden Hemisphären verbunden), welche ihrerseits in einen Satz zentral intergrierter Prozesse münden und schließlich in einen Satz paralleler Ausgabeprozesse divergieren. Wobei die zentralen Prozesse sowohl die sequentiellen als

auch die parallelen Verarbeitungseinheiten beinhalten. Subkortikale Einflüsse sollen besonders die zentralen Komponenten beeinträchtigen (Beaumont, 1997). Eine solche Betrachtungsweise würde im Wesentlichen die Aufteilung von spezifischen kognitiven Prozessen auf die Hemisphären stark in Frage stellen. Doch gibt es auch Evidenzen dafür, daß die Hemisphärenasymmetrie einzig durch eine kognitive Aufgabe (z.B. mittels einer Buchstaben Klassifikations-Task) verändert werden kann.
Doch eine Einschränkung hinsichtlich der oben beschriebenen Prozesse müssen wir durch den Einbezug der Sprache machen. Es gibt eindeutige Evidenzen für die Lateralisation von Sprache aus dem klinischen Forschungsbereich und speziell von Split-Patienten. Ein allgemein relevanter Test aus der Neuropsychologie ist bis heute noch nicht erfunden. Sprache bietet mehrere Besonderheiten. So bestehen Korrelationen mit manuellen Fertigkeiten, der Intelligenz und dem Gebrauch von Handwerkszeugen (Corballis, 1983; Springer, 1995), obgleich die Ursache für ihre zentrale Rolle in dem Bedarf der bilateralen Kontrolle von feinen Muskelfasern des Gesichts und cranialer Nervenbahnen zu liegen scheint (Beaumont, 1997). Keine andere Funktion bedarf solch einer hoch entwickelten Kontrolle eines motorischen Systems entlang der Körpermittellinie. Der relative Grad einer Lateralisation wird durch die Assoziation mit linguistischen Funktionen bestimmt. So mag eine beobachtete Lateralisation in einer lin-guistischen als auch in einer non-linguistischen kognitiven Aufgabe eine relativ aufgabenunabhängige Ursache haben, d.h. die gemessene Lateralität wird weitgehend von der spezifischen Lateralisation der Sprache und nicht durch den kognitiven Aufgabentyp (z.B. bildhaft vs. verbal) bestimmt. Grundlegend sind in diesem Sinne ausschließlich die relativen peripheren Ein- und Ausgabe- Funktionen, welche natürlicherweise aufgrund ihrer strukturellen Organisation innerhalb des Gehirns lateralisiert sind.
Letztere Hypothese unterstützt die Tatsache, daß man hinsichtlich verbalen und nonverbalen Aufgaben zwischen dem Grad und der Qualität der beobachteten Lateralisation unterscheiden muß – analog zum Einfluß von relativen peripheren Faktoren und zentralen Einflußfaktoren. Eine der wichtigsten Implikationen dieser Betrachtungsweise ist, daß es somit nicht möglich ist, eine alleinige kognitive Manipulation der Lateralität durch ‚nonverbale' Aufgaben zu provozieren. Nach Ansicht des Autors (Beaumont, 1997) existiert keine experimentell ‚nonverbale' kognitive Aufgabe, ohne den Einfluß von linguistischen Problemlösestrategien oder Prozessen.

### 2.1.2 Grundlagen der Hirnasymmetrie

*Charakteristika der anatomischen Asymmetrie des Menschen*

Die rechte Hemisphäre scheint ein wenig größer und schwerer als die linke Hemisphäre zu sein. Hingegen scheint die linke Hemisphäre mehr graue Substanz zu haben. Weiterhin weisen die

Temporallappen eine ausgeprägte Asymmetrie auf. Das Planum Portale (kortikales Gebiet posterior vom auditorischen Cortex gelegen) ist auf der linken Seite größer, dagegen ist der primäre auditorische Cortex rechtshemisphärisch größer (Geschwind, 1968). Die Asymmetrie des Cortex im Temporallappen entspricht der funktionellen Asymmetrie des Thalamus, wobei der linke Thalamus in bezug auf die Sprache dominante Funktionen ausübt (Eidelberg, 1982). In beiden Gehirnhälften verläuft die Fissura lateralis unterschiedlich. Der unterhalb der Fissura gelegene Cortex scheint deshalb auf der rechten Seite größer. Das Broca-Areal ist rechts und links unterschiedlich organisiert. Diese Asymmetrie spiegelt möglicherweise eine funktionelle Dissoziation dieser Regionen wider, wobei die linke Seite bei der Sprachproduktion eine Rolle spielt und die rechte möglicherweise die Klangfarbe der Stimme beeinflußt. Verschiedene Neurotransmitter sind ebenfalls asymmetrisch verteilt (Falzi, 1982). Hinsichtlich der Anatomie der Hemisphären gibt es weitere Unterschiede, die rechte Hemisphäre erstreckt sich weiter nach vorne als die linke und die linke Hemisphäre erstreckt sich wiederum länger nach hinten als die rechte. Darüber hinaus werden die Einzelheiten der anatomischen Asymmetrien durch Geschlecht und Händigkeit beeinflußt (Kolb, 1996).

Es gibt einige anatomische Evidenzen für die Spezialisierung der jeweiligen Hemisphären auf die Verarbeitung verbalen bzw. bildhaften Materials. Die visuellen Bahnen vom Optic Chiasma verlaufen unterhalb der Temporallappen zum occipitalen Cortex. Der tertiäre Cortex wiederum, vorwiegend in den Occipitallappen anzusiedeln, hat Ausläufer zu den unteren und mittleren Temporalwindungen. Das visuelle Defizit, sich an Gesichter zu erinnern, die Prosopagnosie, entsteht häufig durch Läsionen dieser Regionen des Temporallappens. Doch haben die Temporallappen ebenfalls eine wichtige Rolle bei der Wahrnehmung und Verständnis von Sprache. Besondere Bedeutung haben hier die Systeme des oberen Temporallappens, wo Temporal-, Parietal und Occipitallappen zusammenstoßen (Wernicke-Zentrum und Gyrus Angularis). Das verbale als auch das bildhafte System scheinen zum größten Teil auf einen Temporallapen lateralisiert zu sein. Aber auch Aufmerksamkeitsprozesse können lateralisiert sein. Läsionen der LH können die Wahrnehmung von RVHF dargebotenen Items beeinträchtigen, jedoch Läsionen der RH können die Wahrnehmung von in beiden Gesichtsfeldern Dargebotenem erschweren.

*Übliche Methoden zur Untersuchung der cerebralen Lateralität*

Cerebrale Lateralität läßt sich durch eine Vielzahl unterschiedlicher Methoden untersuchen. Im Folgenden sind nur die einfachen Unterscheidungskriterien zur Klassifikation der jeweiligen Verfahren aufgeführt. Mischformen werden ebenfalls praktiziert.

Grob unterteilt, kann man zwischen Untersuchungen an der Normal- und der klinischen Population unterscheiden. Zu den Untersuchungsmöglichkeiten an der klinischen Population

gehören u.a. spezifische Rückschlüsse anhand von Patienten mit neurologischen Krankheiten, Untersuchungen an Patienten mit lateralisierten Läsionen, Patienten mit einer Kommissurotomie (Durchtrennung des Corpus Callosum, auch Split-Brain Patienten genannt), gezielte Reizung des Cortex oder Natriumamobarbitalinjektionen in die Halsschlagader zur lokalen Anästhäsie lateraler Gehirnregionen. Im Allgemeinen jedoch wird der Großteil der Erkenntnisse aus Experimenten an der Normalpopulation gewonnen. Hierzu zählen Rückschlüsse aufgrund der anatomischen Asymmetrie des menschlichen Gehirns oder Erkenntnisse durch elektrophysiologische Messungen, der Messung von lateralen Augenbewegungen, aber auch gezielte Experimente mit bestimmten kognitiven Tests zur Messung von Asymmetrien. Auf der Verhaltensebene werden aus der Performance (i.e.S. Reaktionszeiten und Trefferquoten) Rückschlüsse auf funktionelle Asymmetrien geschlossen.

*Rückschluß auf das gesunde Gehirn*

Doch sind die Asymmetriebefunde der klinischen Population auf die Funktionsweisen des gesunden Gehirns einfach übertragbar? Es ist nicht unproblematisch von einem funktional gestörten Gehirn Rückschlüsse auf die Funktion eines gesunden Gehirn zu schließen. Wenn die Ergebnisse auf eine spezifische funktionelle Differenzierung einer Hemisphäre hinweisen, so bedeutet das noch nicht, daß in dieser Hemisphäre eine bestimmte Funktion zu lokalisieren ist. Sie besagen vielmehr, daß die jeweilige Hemisphäre bestimmte Instruktionen gibt, die für die spezifischen Funktionen notwendig sind. In diesem Zusammenhang muß die Frage gestellt werden, welches diese Funktionen sind. Ein möglicher Ansatz zur Beantwortung dieser Frage ist die Untersuchung des gesunden Gehirns (Kolb, 1996). Die Lateralitätsforschung schließt von der Funktion bestimmter Gehirnareale auf andere – was nur an gesunden, intakten Gehirnen möglich ist.

*Implikationen und Ausblicke*

Es gibt physiologische und anatomische Unterschiede zwischen den Hemisphären. Allerdings besteht das Problem darin, diese Unterschiede zu den funktionellen Asymmetrien in Beziehung zu setzen. Gibt es überhaupt einen Zusammenhang zwischen der anatomischen und der funktionellen Asymmetrie und wenn ja, welchen? Einen Brückenschlag könnte der Aussagegehalt von elektrophysiologischen Untersuchungen der Gehirnaktivität darstellen. Doch eine mögliche Evidenz hinsichtlich elektrophysiologischer Asymmetrien ist sehr schwierig zu evaluieren, weil eine ganze Reihe methodischer Schwierigkeiten in dieser Forschungsmethode inhärent sind. Beaumont (1997) zieht bspw. in seinem Überblicksartikel den Schluß, daß bis heute keine einzige EEG-Untersuchung einen eindeutigen Zusammenhang zwischen elektrophysiologischen Asymmetrien und kognitiver

Aufgabenperformance aufzeigen konnte. Weiterhin beschreibt er, daß neuere Befunde der bildgebenden Verfahren diese Verbindung ebenfalls nicht herstellen können. Hinsichtlich des heutigen Wissenstandes ist es schwer, mögliche konfundierte Faktoren und Methodenartefakte in den bisherigen EEG-Untersuchungen ausschließen zu können.

### 2.1.3 Prinzip der Hemisphärizität

*Hemisphärizität - ein kritischer Überblick*

Hemisphärizität bedeutet, daß bestimmte kognitive Prozesse mit einer überwiegenden Aktivität mit einer der beiden Hemisphären assoziiert sind. Der Begriff der Hemisphärizität wurde in dem Artikel von Bogen (1972) geprägt. Ihre Schlußfolgerungen basierten auf Ergebnissen von Reaktionszeit- und Augenbewegungs- sowie elektrophysiologischen Messungen.

Auch diese Autoren postulierten, daß die LH eine Spezialisierung für verbale Prozesse aufweist. Untermauert wurde die Hypothese, daß die RH von Kommissur-Patienten eine sehr eingeschränkte Kapazität für verbale Ausdrücke hatte (Bogen, 1972). Doch diese Annahme wurde durch besondere linguistische Fähigkeiten der RH von Split-Brain Patienten (z.B. Levy, 1983 oder Gazzaniga, 1983) relativiert.

Methodische bzw. empirische Unzulänglichkeiten in den Experimenten führen bis heute dazu, daß sich die Befundlage hinsichtlich der Hemisphärizität sehr heterogen darstellt. Grob betrachtet, wird das Prinzip der Lateralen Spezialisierung sehr kontrovers diskutiert. Einige Protagonisten: (Beaumont, 1982; Bradshaw, 1981; Dimond, 1974; Kinsbourne, 1978) sowie einige Antagonisten: (Corballis, 1980 und McCallum, 1979).

Die Hemisphärizität wird im Allgemeinen anhand vier folgender Methoden untersucht:

Untersuchung Lateraler Augenbewegungen, elektrophysiologischer Messungen, sowie durch Fragebögen und kognitiver Tests.

*Elektrophysiologische Messungen der Hemisphärizität*

- mehrheitlich EEG Frequenzband-Studien, weniger EKP Untersuchungen
- Die Aussagekraft der EEG Untersuchungen ist nicht eindeutig, die meisten Streitfragen/Kontroversen drehen sich um methodische Fragestellungen (s. Kapitel 2.5.5), wie z.B.:
    - die Positionierung der Zielelektroden
    - die Wahl der geeigneten Referenzelektrode
    - die Selektion der Ableitungsparameter als abhängige Variablen
    - die Wahl der geeigneten Analysemethode
    - Art der kognitiven Aufgaben während des Experimentes
- Grundsätzlich ziehen die Mehrzahl der Autoren die Schlußfolgerung, daß die Lateralisation von kognitiven Prozessen sehr uneinheitlich durch EKP-Studien beschrieben wird (Rugg, 1982). Wenige Autoren postulieren jedoch, trotz der fundamentalen methodischen Kontroversen, die Lateralisation von EEG-Komponenten.

- Furst (1976a) zeigte als einer der wenigen, eine Korrelation zwischen der EEG-Alpha-Asymmetrie und Performance in einer Serie von visuell-räumlichen Aufgaben.

Darüber hinaus existieren anatomische Unterschiede zwischen den Hemisphären sowie Unterschiede zwischen den Personen. Homologe Elektrodenpositionen auf dem Skalp sind nicht gleich zu setzen mit homologen Elektrodenpositionen auf dem cerebralen Cortex. Diese zwei Tatsachen relativieren eine valide Interpretation einer Vielzahl von bisherigen EEG-Befunden. Sicherlich mag es eine Reihe Lateralitätsbefunde in der EEG-Forschung geben. Doch kein experimentelles Paradigma hat sich bis heute durchsetzen können, welches einen reliablen Index lateraler Hemisphärenfunktionen zu erfassen ermöglicht (Beaumont, 1984). Dies gilt weder für die EEG-Frequenzbandanalysen *noch* für EKP-Studien.

*Kognitive Tests*

Eine Vielzahl der Befunde resultiert aus klinischen Studien mit Patienten mit kortikalen Läsionen. Die grundlegende Logik aller Tests ist, daß die Leistung der Probanden hinsichtlich der Bearbeitung einer experimentellen Aufgabe ein valider Parameter zur Interpretation von Asymmetrien ist. Ein weiteres methodisches Problem der kognitiven Aufgaben basiert auf der Tatsache, daß man nur eine grobe Vorstellung darüber hat, was einen „verbalen" oder „nonverbalen" Test ausmacht. Die Annahme, daß verbale oder nonverbale Aufgaben-Performance ein direkter Index für die relative funktionelle Performance der linken oder rechten Hemisphäre ist, wird nicht durch die Literatur bestätigt (Beaumont, 1984). Zusammenfassend betrachtet, kann die Messung der kognitiven Performance als Messung der Hemisphärizität nicht als valider Indikator eingeschätzt werden.

*Validität der Studien*

Im Allgemeinen wird fälschlicherweise davon ausgegangen, daß die Performance von kognitiven Tests als *indirekter* und elektrophysiologische Messungen als *direkter* Indikator für cerebrale Hemisphärenfunktionen gelten kann. Doch alle Methoden sind sehr mit technischen Problemen behaftet. Die Frage nach der Validität dieser Messungen drängt sich auf. Eine überzeugende Methode wäre, daß mit einer validen Messungen der Hemisphärizität eindeutig die Lateralität der cerebralen Läsion identifiziert werden könnte. Eine andere Methode ist der Einsatz von VHF-Studien oder dichotischen Gehörtests als Versuch zur Validierung von Messinstrumenten zur Testung der Hemisphärizität. In diesem Zusammenhang nutzten Bogen (1972) die VHF-Technik unter lateraler Darbietung von Gesichtern und Buchstaben. Die erwartete entgegengesetzte Asymmetrie der beiden kognitiven Modi blieb aus.

Es ist schwer zu unterscheiden, warum das Prinzip der Hemisphärizität so unsicher dasteht: Einerseits wegen der geringen experimentellen Qualität mancher Studien oder andererseits aufgrund einer unklugen Definition des theoretischen Prinzips der Hemisphärizität?

### 2.1.4 Typen der Hemisphärizität

*Hemisphären Spezialisierung versus Hemisphären Aktivierung*

Hemisphären Spezialisierung ist als aufgabenspezfisch, als State-determiniert definiert. Hemisphären Aktiviertheit ist als ein Unterschied zwischen den Aktivitäten der Hemisphären in der Baseline in Abwesenheit jedweder Aufgabe definiert, sie ist Trait-determiniert.

*Hemisphären Spezialisierung (STATE)*

Die Hemisphären Spezialisierung (HS) bezieht sich auf Unterschiede zwischen den Hemisphären während der Verarbeitung sensorischer Informationen. Die Spezialisierung ist phasisch, d.h. schnell veränderlich und u.U. von kurzer Dauer, abhängig von der Art der sensorischen Stimulation oder spezifischen experimentellen Aufgabe. Darüber hinaus ist die HS situationsdeterminiert, z.B. in der Art und Weise, daß Personen unterschiedliche Lateralitäten aufweisen, obwohl nur der Zeitpunkt der Messung verändert wurde. Ein typisches Beispiel für einen situationsbedingten Einfluß auf die HS zeigt eine Untersuchung von Asbornsen (1992) in welcher die Versuchspersonen eine Umkehrung der Lateralität während der Durchführung eines dichotischen Gehörtests in einem Erregungszustand zeigten. Der Erregungszustand wurde dadurch induziert, indem den Versuchspersonen ein elektrischer Reiz appliziert wurde. Die Autoren betonen, daß bei gleicher Aufgabenstellung der aktuelle Gemütszustand einer Person erhebliche Auswirkungen auf den lateralisierten Verarbeitungsprozess von Informationen auf beide Hemisphären haben kann. Der Effekt kann einerseits als Verschiebung der Hemsiphärendominanz von einer Hemisphäre zur anderen interpretiert werden oder aber auch als Wechsel in der Interaktion zwischen den Hemisphären in Abhängigkeit der Gemütsverfassung der Versuchsperson. Die Autoren schlußfolgern, daß bei der Untersuchung der Hemisphärenspezialisierung die Kontrolle von situationsbedingten Faktoren, wie z.B. der Erregungszustand einer Person, unumgänglich ist, um die Resultate valide interpretieren zu können. Bei der Untersuchung von der Spezialisierung von Hemisphären sucht man generell eher nach allgemein gültigen Regeln der Lateralität und so ist es angebracht, die Effekte der individuellen Unterschiede auf die Lateralität durch die experimentelle Kontrolle etwaiger Moderatorvariablen zu minimieren.

*Hemisphären Aktivierung (TRAIT)*

Untersuchungen welche sich mit der Hemisphären Aktivierung (HA) beschäftigen, versuchen im Gegensatz zu Untersuchungen zur HS die individuellen Unterschiede zwischen den Versuchspersonen zu maximieren. Sie focussieren Trait-Effekte der Lateralität. In diesem Zusammenhang wären hier besonders die Arbeiten von Hagemann et al. (1998 und 1999) zu nennen. Bei dieser Fragestellung steht nicht eine spezifische situationsbedingte Aufgabenstellung im Mittelpunkt, wie in den Untersuchungen zur HS, sondern hier werden tonische, auf die Langzeit bezogene Veränderungen der Lateralität gemessen, welche mit stabilen Persönlichkeitsmerkmalen von Personen einhergehen. Ein weiteres typisches Beispiel für diese Fragestellung repräsentiert die Studie von Davidson (1990), in welcher einige Personen eine höhere rechtsfrontale und andere Personen eine relativ höhere linksfrontale kortikale Aktivierung im EEG-Alphaband über einen längeren Zeitraum zeigten. Die nachfolgende Tabelle 2-1 zeigt stichwortartig die Unterschiede zwischen HA und HS zusammengefaßt:

**Tab. 2-1: Unterschiede zwischen Hemisphären-Spezialisierung und -Aktivierung**

| Hemisphären Spezialisierung | Hemisphären Aktivierung |
|---|---|
| aufgabenabhängig | Aufgabenunabhängig |
| phasische Reaktionen | tonische Veränderungen |
| situationsabhängig | Situationsunabhängig |
| minimiert individuelle Unterschiede | maximiert indviduelle Unterschiede |

Die Autoren ziehen einen engen Zusammenhang mit diesem Trait-ähnlichem Zustand tonischer kortikaler Aktiviertheit und der Affektivität sowie der Emotionalität von Personen. Der vielleicht stärkste Effekt in der Lateralitätsforschung ist der Effekt der Händigkeit. Linkshändige Personen zeigen deutliche Unterschiede in der Hemisphärenasymmetrie im Gegensatz zu Rechtshändern, unabhängig von situationsbedingten Einflüssen (Peters, 1995).

*Funktionelle Lateralität versus Strukturelle Lateralität*

Eine weitere Möglichkeit zur Unterscheidung von Lateralität stellt die Differenzierung zwischen funktioneller und struktureller Lateralität dar. Der Großteil der Lateralitätsforschung hat sich bislang mit den unterschiedlichen Verhaltensreaktionen der linken oder rechten Gehirnhälfte beschäftigt - typischerweise im Zusammenhang mit der lateralisierten Darbietung von bestimmten Stimuli, um zu ergründen, welche Hemisphäre besser zur Bewältigung einer bestimmten Aufgabe geeignet sei. Wie auch immer die Ergebnisse dieser Experimente ausfielen, zeigte schon Geschwind

(1968), daß das Gehirn in seinem anatomischen Aufbau asymmetrisch ist. Die Autoren beschrieben eindeutige anatomische Unterschiede in verschiedenen Nuklei und Neuronenverbänden. Solche Asymmetrien sind über den ganzen Cortex verteilt, innerhalb der frontalen, der temporalen und der parietalen Lappen (Einzelheiten der anatomischen Asymmetrien siehe Zusammenfassung in Kolb, 1996).

Der Einsatz der hochauflösenden MRI-Tenchnik hat weitere Aufschlüsse hinsichtlich des Zusammenhangs zwischen struktureller und funktioneller Lateralität gegeben, Nicht immer ist eine anatomische Asymmetrie ein eindeutiger Hinweis für eine funktionelle Asymmetrie gleicher Richtung. Ein Beispiel:

Das Planum Temporale im posterioren Bereich des Temporallappens scheint paradoxerweise gleich zweierlei zu determinieren: Einerseits die Störung der Dyslexia aber auch das Gehör von musikalischen Ausnahmetalenten. Larsen et al. (1990) fanden heraus, daß nur 6 von 19 Kindern mit Dyslexia eine linksgerichtete Asymmetrie im temporalen Planum aufwiesen, während in der Kontrollgruppe ohne Dyslexia 12 von 17 Kindern ein erwartungsgemäß links-hemisphärisch größeres Planum hatten. Darüber hinaus entdeckten die Autoren, daß die Kinder mit einer Dyslexia (und einer anormalen temporalen Planum Asymmetrie) auffällige Schwierigkeiten bei der phonologischen Dekodierung verbalen Materials hatten. Larsen et al. schlußfolgerten, daß die Abwesenheit einer Asymmetrie des temporalen Planums eher bei Kindern mit einer Dyslexia anzutreffen sei und so ein Prädiktor für phonologische Störungen darstellt. Eine ganz andere Art des Zusammenhangs mit der Asymmetrie des temporalen Planums wurde kürzlich durch die Arbeiten von Schlaug (1995) aufgezeigt, in welcher Musiker mit einem perfekten Gehör untersucht wurden. Professionelle Musiker mit einem guten Gehör zeigten im Gegensatz zu Nichtmusikern einen mehr als doppelt so starken Zusammenhang mit einer linksgerichteten Lateralität des temporalen Planums. Die Ergebnisse dieser Studie sind besonders interessant, da auch solche Gehirnareale in einem Verarbeitungsprozess involviert scheinen, die typischerweise eher den rechtshemisphärischen Funktionen zugeordnet werden. Hugdahl (1990) zieht daraus den Schluß, daß gerade moderne MRI Techniken in der Lage sind, die Beziehung strukturellen und funktionellen Asymmetrien des Gehirn aussagekräftig zu untersuchen. Die neuen Techniken stellen die konventionelle Aussage der verbalen/nonverbalen Dichotomie im direkten Zusammenhang mit der Spezialisierung der linken/rechten Hemisphäre in Frage.

*Dynamische (oder kognitive) Modulation der Lateralität*

Als dynamische Modulation der Lateralität bezeichnet (Hugdahl, 1990) die Veränderung der Richtung der Lateralität während eines Informationsverarbeitungsprozesses in Abhängigkeit der Allozierung bestimmter Ressourcen der rechten oder linken Hemisphäre. Eine bestehende

Lateralität für eine bestimmte Aufgabe wechselt also die Richtung oder wird nur abgeschwächt, wenn sich solche Faktoren wie Aufmerksamkeit oder die Lateralität des Blickwinkels verändern. Bei derselben Person und demselben Stimulus kann ein Wechsel von einer rechten zu einer linken Hemisphären Dominanz alleinig durch die Art der kognitiven Instruktion determiniert sein – vorausgesetzt, der Stimulus enthält unterschiedliche Informationsniveaus, z.B. bei der Darbietung von verbalen Materials die Bildhaftigkeit der einzelnen Substantive.

Ein anderes Beispiel:
Ein visueller Stimulus kann sich aus unterschiedlichen Informationsteilen zusammensetzen. Hugdahl (1990) bezeichnet solche Teile als lokale und globale Strukturen und demonstrierte diesen Zusammenhang anhand einer grafischen Darstellung von Buchstaben. Die Darstellung eines großen Buchstabens (global) könnte sich aus vielen kleinen Buchstaben (lokal) zusammensetzen. Hugdahl und Andersson (1989) zeigten ihren Versuchspersonen solche großen Buchstaben, welche sich wiederum aus vielen kleinen gleichen oder ungleichen Buchstaben zusammensetzten. Zwei Buchstaben wurden gleichzeitig bilateral in einem visuellen Halbfeldparadigma dargeboten. Die Aufgabe der Versuchspersonen war es, zu unterscheiden, ob innerhalb einer Paardarbietung die großen oder die kleinen Buchstaben gleich oder ungleich waren. Als abhängige Variable wurden die Reaktionszeit und die Fehlerrate erfaßt. Hugdahl und Andersson vermuteten, daß die Lateralität für Vorschulkinder größer sei, als für Schulkinder mit der Fähigkeit zu lesen. Die Ergebnisse zeigten, daß sowohl Vorschul- als auch Schulkinder stark beeinträchtigt wurden, wenn der Stimulus in die rechte Hemisphäre projiziert wurde, besonders aber wenn die Versuchspersonen aufgefordert waren, die kleinen (lokalen) Buchstaben zu benennen. Zusammengefaßt zeigten die Resultate einen Wechsel der Hemisphärendominanz derart, daß Vorschulkinder eher einen rechtshemisphärischen und Schulkinder eher einen linkshemisphärischen Vorteil bei der Verarbeitung der globalen Stimuli zeigten. Die Autoren setzen diesen Wechsel der Lateralität mit dem Wechsel einer verbalen versus bildhaften Verarbeitung der Stimuli analog.

### 2.1.5 Kritische Anmerkungen zur Hemisphärizität

*Die Bedeutung von Spezialisierung*

Innerhalb des Nervensystems existieren Zellverbände, die spezifische Reaktionscharakteristika in Hinblick auf visuelle, auditorische, olfaktorische oder taktile Stimulationen aufweisen. Diese

Zellverbände werden auch als spezialisierte Zentren bezeichnet, mit der Eigenart, bestimmte Reaktionen auf spezielle Stimuli zu geben.

Stichwort Verwechslung zw. Lokalisation versus Spezialisierung: Laut Efron (1990) bildet in der Neuropsychologie die unscharfe Trennung zwischen Lokalisation und Spezialisation die Quelle einer Vielzahl von epistemiologischen Missverständnissen. So ist es z.B. alleinig nicht möglich, die Funktion des linken frontal Temporallappens eindeutig zu definieren, aufgrund der Tatsache, da mehr als 95% der Personen mit Läsionen in dieser Region an Sprachstörungen leiden. Genauso ist es unzulänglich, die Funktion des Striatums eindeutig daraus zu erschließen, wenn Personen erblinden, falls diese Region bilateral beschädigt ist. Doch die wichtigste Frage in diesem Zusammenhang lautet: Was ist der eigentliche Nutzen aus der Erkenntnis, daß ein Areal für die Sprache und ein anderes für das Sehen spezialisiert ist? Nach Efron (1990) absolut nichts! Nur aus der Lokalisation bestimmter Areale ist noch lange nichts über deren spezifische Funktion erklärbar. Neue PET-Studien zeigen deutliche Evidenzen dafür, daß viele unterschiedliche Gehirnareale bei der Verarbeitung unterschiedlicher kognitiver Aufgaben in beiden Hemisphären metabolisch aktiv werden. Die bildgebenden Verfahren zeigen recht deutlich, daß kognitive Funktionen durch verschiedene neurale Schaltkreise unterstützt werden. Diese aber an anatomisch unterschiedlichen Orten liegen und daß dieselben Schaltkreise an mehreren verschiedenen kognitiven Aktivitäten beteiligt sind. So z.B. die jeweilige Aktivität bestimmter Gehirnareale bei der Bewegung einer Hand und bei der Vorstellung, diese Hand zu bewegen. Der Autor postuliert, daß diese physiologische Evidenz zu der falschen Annahme geführt hat, daß die (oben geschilderte) sogen. Spezialisierung einer Funktion, in spezifischen cerebralen Arealen zu lokalisieren sei. In diesem Zusammenhang wären auch solche Fehlschlüsse zu nennen, welche aufgrund bestehender Korrelationen zwischen der Seite einer Läsion und eines bestimmten kognitiven Symptoms geschlossen werden. Ein korrelativer Zusammenhang zwischen der Lateralität einer neuronalen Störung und eines bestimmten kognitiven Symptoms spiegelt noch keine Ursache-Wirkung-Richtung, kurz Kausalität wider. Die Ursache für einen korrelativen Zusammenhang kann durch die Parallelität zweier Ereignisse nicht erklärt werden. Eine Vielzahl von Befunden zur Hemisphärizität basieren auf Korrelationen zwischen der Lokalität einer Läsion und eines Symptoms. Hier wird fälschlicherweise von dem Symptom auf die zugrundeliegende Funktion eines geschädigten cerbralen Gewebes geschlossen.

Ein Beispiel:

Mehr als 95% der Personen unserer Population entwickeln eine Sprachstörung, wenn ihr linker frontaler Temporallappen beschädigt wird. Die Existenz dieser hohen Korrelation zeigt unzweifelhaft, daß diese Gehirnregion bestimmte neuronale Schaltkreise beinhaltet, welche Sprachfunktionen unterstützen. Aber dieser Zusammenhang bedeutet nicht zwangsläufig, daß

diese Areale Sprache ausführen. Es ist eher wahrscheinlich, daß diese Zelleinheiten eine Vielzahl von Funktionen ausführen, die mit Sprache im Zusammenhang stehen. Efron (1990) warnt davor, nicht das Symptom mit der Funktion zu verwechseln.

Darüber hinaus gibt es eindeutige Evidenzen, welche die oft zitierte Dominanz der linken Hemisphäre für Sprachfunktionen relativieren. Ross und Mesulam (1979) zeigten schon sehr früh, daß die Beschädigung cerebraler Areale der rechten Hemisphäre spiegelbildlich zur linken Hemisphäre, auch sehr oft zu einer Störung prosodischer und intonationaler Eigenschaften der Sprache führten.

Der typische RVHF-Vorteil bei der Wahrnehmung von Wörtern wird im allgemeinen auf die Übertragungszeit der Informationen der rechten zur linken Hemisphäre zurückgeführt, wo die Verarbeitung des linguistischen Materials erfolgen soll. In der Literatur gibt es zahlreiche Evidenzen dafür, daß die Richtung und das Ausmaß der Performance-Asymmetrie innerhalb der rechtshändigen Population eine große Variation aufweist. In diesem Zusammenhang fanden Hines et al. (1980) Test-Retest Korrelationen von nur .29. Auch Chiarello et al. (1984) fanden in einer Studie mit Rechtshändern, in der Wörter entweder im linken oder rechten visuellen Halbfeld dargeboten wurden, daß nur 62% der Versuchspersonen einen signifikanten linken- oder rechten-Halbfeldvorteil zeigten – und daß nur entweder während des Test- oder des Retest- Durchlaufs. Darüber hinaus kehrte sich bei 23% der untersuchten Personen in diesem Experiment sogar die Halbfeld-Asymmetrie um. Die Autoren schlußfolgerten, daß der allgemein gültige RVHF-Vorteil für verbales Material für weniger als 42% der Personen als stabil betrachtet werden kann. Diese Beobachtungen decken sich mit den Ergebnissen aus dicho-tischen Gehörtests (Speaks, 1982). Aufgrund dieser Resultate könnte man die typische linkshemisphärische Dominanz im Zusammenhang mit der Verarbeitung verbalen Materials als relativiert betrachten. Efron (1990) führt die anatomische Beschaffenheit des Cortex als weiteres Argument dafür auf, daß die linke Hemisphäre im allgemeinen eher mit der Sprachverarbeitung assoziiert wird. Die Retina des rechten visuellen Halbfelds ist über neuronale Bahnen mit dem linken Striatum des Cortex verbunden. Umgekehrt ist die Retina des linken visuellen Halbfelds mit dem rechten Striatum des Cortes verbunden. Es besteht die allgemeine Annahme, daß die neuronalen Verbindungen des rechten Striatum des Cortex einen längeren und komplizierteren Weg zu den linkshemisphärischen Sprachzentren durchqueren als die des RVHF, was zu einem RVHF-Vorteil bei der Verarbeitung verbalen Materials führt.

Außerdem geht Efron (1990) in seinem Buch davon aus, daß die Mehrzahl der Lateralitätsforscher von der allgemeinen Annahme abweichen, daß die Richtung beobachtbarer Asymmetrien ein einfaches Abbild für die Spezialisierung einer Hemisphäre geben. Der anwachsende Trend in der Lateralitätsforschung ist eher die Identifikation einzelner experimenteller Faktoren, welche die

rechts/links Performance-Asymmetrien determinieren und moderieren. Der Autor führt eine umfangreiche Liste möglicher Einflußfaktoren auf, welche die rechts/links Asymmetrie beeinflussen:

Wie aus Tabelle 2-2 offensichtlich wird, handelt es sich dabei um eine Vielzahl möglicher Moderatorvariablen im Zusammenhang mit VHF-Experimenten. Der Autor machte den Versuch, die aufgelisteten Einflußfaktoren in drei Hauptkategorien zu unterteilen: Solche Asymmetrie moderierenden Faktoren wären solche, welche (a) auf Versuchspersonen, (b) auf das Stimulusmaterial und (c) auf methodische Variablen zurück zu führen sind. Jede der aufgeführten Moderatorvariablen kann mehr oder weniger das Ausmaß der rechts/links Asymmetrie verstärken, abschwächen oder sogar umkehren. Falls eine solche Vielzahl von Faktoren eine bestehende Asymmetrie beeinflussen können, wie kann man sicherstellen, daß bspw. ein rechts visueller Halbfeldvorteil bei einer bestimmten Aufgabe das Resultat einer zugrundeliegenden linkshemisphärischen Spezialisierung ist und nicht Ergebnis einer Modulation der zuvor beschriebenen Störvariablen?

**Tab. 2-2: Übersicht möglicher Moderatorvariablen der Asymmetrie**

| Versuchsperson | Stimulus | Methode |
|---|---|---|
| Geschlecht | Intensität | Benennen |
| Alter | Lokalisation | Übereinstimmung finden |
| Händigkeit | Kontrast | Lokalisieren |
| Bildung | Größe | Ermitteln |
| Sprache | Komplexität | Reaktionszeit |
| Umgebung | Wahrnehnungschwelle | Randomisierung |
| Strategie | Anzahl | Konkurrierende Aufgaben |
| Praxis. Geübtheit | Schwierigkeit | Evozierte Potentiale |
| Aufmerksamkeit | Verbalisierbarkeit | Wiedererkennen |
| Imagination | Darbietungsdauer | Selektiver Bericht |

Liste von möglichen Moderatorfaktoren, von denen man derzeit annimmt, daß sie Einfluß auf die rechts/links Performance-Asymmetrien im Zusammenhang mit VHF-Experimenten haben (Efron, 1990).

Weiterhin stellt sich die Frage, welche der Moderatorvariablen in welcher Art und Weise Einfluß auf die Lateralität hat und ob es Interaktionen zwischen ihnen gibt? Unglücklicherweise beantwortet niemand aus der Lateralitätsforschung diese Frage und nur die wenigsten Forscher haben diesem Problem überhaupt Beachtung geschenkt. Efron (1990) geht davon aus, daß es wahrscheinlich unmöglich sein wird, in der Lateralitätsforschung experimentelle Paradigmen zu entwickeln, mit denen die Kontrolle der Moderatorfaktoren konstant gehalten werden kann. Das Konzept der Hemisphären Spezialisierung hat nach Ansicht des Autors, unter der Betrachtung der oben aufgeführten Aspekte, wenig Chancen auf Erfolg, rechts/links Performance-Asymmetrien valide zu erklären. Nach seiner Meinung machen es die bisherigen Verfahren der Lateralitätsforschung nur schwer möglich, präzise Vorhersagen zu machen. Es bleibt bei einer Vielzahl von Untersuchungen nur der Versuch, mit post hoc Interpretationen bestehende Phänomene zu erklären.

## 2.2 Modelle zur Erklärung von Asymmetrien

Modelle zur Erklärung von Asymmetrien kann man hauptsächlich in zwei Kategorien unterteilen: Einerseits in fixe Strukturmodelle und andererseits in dynamische Prozessmodelle. Diese beiden Hauptkategorien kann man in unterschiedliche Unterkategorien gliedern.

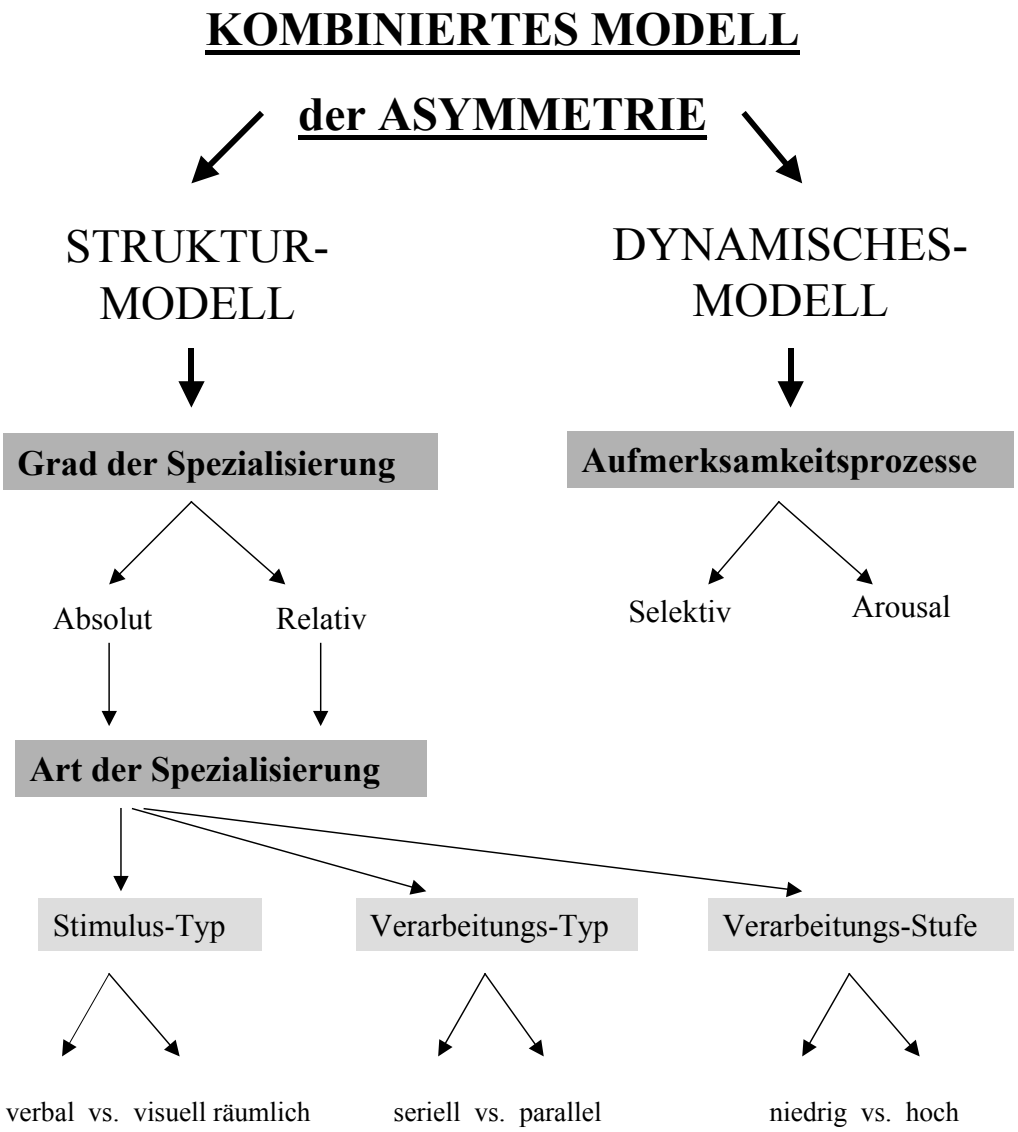
### 2.2.1 Strukturmodelle

Die Hauptprämisse der Strukturmodelle geht von der Annahme aus, daß funktional kognitive Asymmetrien auf strukturellen Gehirnasymmetrien basieren, welche die lateralisierten Funktionen mediieren. Jede Hemisphäre ist hinsichtlich bestimmter Prozesse im Zusammenspiel mit der Verarbeitung bestimmter Typen von Material spezialisiert. Die Stimuli, welche auf der einen Körperseite wahrgenommen werden, werden direkt in die kontralaterale Hemisphäre (die Eingangshemisphäre) projiziert und diese Hemisphäre ist hinsichtlich ihrer Leistung der anderen Hemisphäre überlegen, wenn hier die spezialisierten Strukturen lokalisiert sind. Die Hemisphärenasymmetrie ist dann am größten, wenn das Stimulusmaterial direkt an die Stelle im Gehirn gelangt, wo die prädistinierten Verarbeitungsareale liegen.
Strukturelle Modelle implizieren also die Existenz von anatomischen Unterschieden. Wenn demnach anatomische Unterschiede erkannt werden, so dienen sie im Kontext von Strukturmodellen als theoretische Erklärungsgrundlage von Performanceasymmetrien. Diese Annahme findet eine Vielzahl von Evidenzen. Zum Beispiel derart, daß Personen mit einer invertierten funktionellen Performanceasymmetrie auch umgekehrte anatomische Asymmetrien aufweisen (sehr oft bei Linkshändern).
Gerade neuroanatomische Gehirnasymmetrien sind oft mit solchen Funktionen in Verbindung zu bringen, die starke Performanceasymmetrien aufweisen (z.B. im Zusammenhang mit verbalen Aufgaben). Darüber hinaus ist oft das Muster der anatomischen Asymmetrien hoch mit der Händigkeit einer Person korreliert, welche wiederum die funktionellen Asymmetrien moderiert (Geschwind, 1968). Witelson (1977) zeigte, daß bei 70% aller Menschen das Planum Temporale des Temporallappens um rund 40% größer in der linken Hemisphäre ist als in der rechten. Diese Gehirnregion ist Bestandteil des Wernicke-Areals welches wesentlich an den Prozessen zum Sprachverständnis beteiligt ist. Überdies scheint es einen Zusammenhang dieser Region mit Händigkeit zu geben (Hochberg, 1978). Die aufgezählten Evidenzen stärken maßgeblich das Strukturmodell. Die Schlußfolgerung scheint gut begründet, daß strukturelle neuroanatomische

Unterschiede mit funktionellen Asymmetrien eng verbunden sind – und möglicherweise auch kausal determinieren.

Strukturmodelle können unterteilt werden hinsichtlich des Grades an Spezialisierung und der Art und Weise der Spezialisierung. Der Grad der Spezialisierung kann entweder absolut oder relativ sein. Die Beschaffenheit der Spezialisierung kann in analoger Weise variieren.

**Abb. 2-1: Kombiniertes Modell der Asymmetrie**



Einen Überblick des geschilderten Zusammenhanges zeigt Abbildung 2-1. Der Unterschied zwischen den Hemisphären kann als Spezialisierung für unterschiedliche Stimuluskategorien (Stimulus-Typ), als Spezialisierung für unterschiedliche Prozesse (Verarbeitungs-Typ) oder als Spezialisierung für unterschiedliche Stadien der Verarbeitung (Verarbeitungs-Stufe) aufgefaßt werden. Strukturmodelle generieren unterschiedliche Implikationen abhängig von dem Grad und der Art der Spezialisierung welche postuliert wird.

*Grad der Spezialisierung:*

a. das absolute Spezialisierungsmodell
b. das relative Spezialisierungsmodell

*a) Das absolute Spezialisierungsmodell*

Das absolute Spezialisierungsmodell geht davon aus, daß eine funktionelle Lateralität in sich abgeschlossen ist. D.h. nur diejenige Hemisphäre, welche für eine bestimmte Funktion spezialisiert ist, kann diese Funktion auch ausführen. Eine Reihe von Implikationen folgen aus dieser Annahme:

- Im Falle einer Hemisphärenektomie sollten lateralisierte Funktionen komplett ausfallen.
- Im Falle einer Kommissurtomie sollte eine bestimmte Aufgabe nur dann gelöst werden können, wenn die Stimuli direkt in die für diese Aufgabe spezialisierte Hemisphäre geleitet werden.
- Bei einer Normalperson sollten Reaktion und Aufgabenbewältigung invariant am schnellsten erfolgen, wenn die Stimuli direkt in die passende Hemisphäre geleitet werden.
- Der Unterschied zwischen der Zeit, welche benötigt wird, um eine bestimmte Aufgabe zu lösen, wenn die Stimuli direkt in die spezialisierte Hemisphäre projiziert werden und dem Zeitraum, welcher benötigt wird, wenn die Stimuli in die unspezialisierte Hemisphäre projiziert werden, spiegelt die Spanne wider, welche bei der Informationsübertragung zwischen den Hemisphären über das Corpus Callossum verstreicht (IHTT = inter-hemispheric transfer-time). Diese Differenz sollte bei gleich bleibender Aufgabenstellung konstant bleiben und sollte die Größenordnung der neuronalen Übertragungszeit zwischen den Hemisphären abbilden.
- Physiologische Messungen der Gehirnaktivität während der Verarbeitung einer solchen Aufgabe, sollte eine erhöhte Aktivität der spezialisierten Hemisphäre widerspiegeln, bei zeitgleicher Nichterhöhung der Aktivität der unspezialisierten Hemisphäre.

Obwohl die Effekte von links- oder rechtsseitigen Hemisphärenektomien eindeutig zu trennen sind, derart daß eine linksseitige Hemisphärenektomie Sprachfähigkeiten in stärkster Weise beeinträchtigt und gleichzeitig visuoräumliche Fähigkeiten unberührt bleiben, ist es

konsequenterweise nicht immer so, daß in diesem Falle Sprachfunktionen gänzlich verloren gehen. Die verbleibende Sprachfähigkeit bei Rechtshändern sollte die sprachliche Performance der rechten Hemisphäre widerspiegeln. Hinsichtlich dieses Phänomens scheint ein Modell, welches die linke Hemisphäre ausschließlich mit Sprache in Zusammenhang bringt, in Frage gestellt zu werden. Es gibt eine Vielzahl von frühen Studien, welche den Einfluß der rechten Hemisphäre hinsichtlich bestimmter Sprachprozesse aufzeigen (Gazzaniga, 1967; Gott, 1973).
Aber nicht nur bei neurologischen Patienten zeigt sich der Einfluß der rechten Hemisphäre bei der Sprachverarbeitung. In Experimenten mit gesunden Versuchspersonen wird üblicherweise ein rechtsvisueller Halbfeldvorteil bei der Verarbeitung verbalen Materials vorhergesagt. Bei VHF-Studien zeigte sich aber bei nur 70% der Personen mit nachgewiesener links-hemisphärischer Dominanz für Sprache (durch einen Natriumamytal-Test), der vorhergesagte rechtsvisuelle Halbfeldvorteil. Bei dichotischen Gehörtests schwankt der Prozentsatz derjenigen Personen mit einem REA (right ear advantage) sogar nur zwischen 65 und 85% (Searleman, 1977). Obwohl ein rechts visueller Feldvorteil statistisch über einen gesamtes Experiment nachgewiesen wird, fluktuiert der Halbfeldvorteil von Trial zu Trial und von experimentellen Block zu Block. Die Asymmetrie der Performance ist nicht einheitlich für alle Personen und auch nicht konsistent innerhalb einer Person (Ward, 1977; Hagemann, 1999). Diese Veränderungen können nicht mit einem absoluten Strukturmodell der Asymmetrie erklärt werden. Zwar kann dieses Modell die Variabilität zwischen den Personen hinsichtlich funktioneller Asymmetrien erklären, jedoch nicht die Variabilität der Lateralität innerhalb einer Person.

Probleme entstehen, wenn Unterschiede bezüglich der Reaktionszeit für linke und rechte Halbfelddarbietung eines Stimulus nur der IHTT zugeschrieben werden. Aufgrund früher Studien schienen die gefundenen Unterschiede sehr groß zu sein. Schätzungen der neuralen Übertragungszeit, welche neurologische Methoden verwendeten, reichten von 3 bis 15 ms. Ledlow, Swanson und Kinsbourne (1978) versuchten die Onset-Latenzen von evozierten Potentialen von direkten und indirekten Projektionen zu messen (ipsilateral bzw. kontralateral zur verarbeitenden Hemisphäre gelegene Darbietungsseite). Der Unterschied zwischen der direkten und der indirekten Projektion betrug 15 ms und wurde der IHTT zugeschrieben.
In VHF-Studien sind Unterschiede in den Reaktionszeiten von Verhaltensreaktionen allgemein viel größer, häufig über 50 ms. Diese großen links/rechts Unterschiede müssen folglich etwas anderes als die IHTT reflektieren. Außerdem ist es fraglich, Veränderungen in den links-rechts Reaktionszeit-Unterschieden auf Übertragungszeiten zwischen den Hemisphären zurück zu führen. Es wurde vermutet, daß die IHTT zwar nicht konstant ist, jedoch aber mit der Komplexität der dargebotenen Stimuli variiert. Doch die Ergebnisse unterstützen diese Annahme in keiner Weise.

Z.B. berichtete schon Cohen (1973) über Resultate aus einem Experiment, in dem die Stimulation entweder aus zwei, drei oder vier Buchstaben bestand, doch der links-rechts Unterschied verminderte sich mit zunehmender Stimuluskomplexität (114 ms für zwei Buchstaben, 63 ms für drei Buchstaben und 33 ms für vier Buchstaben). In gleicher Weise wurde von Carmon et al. (1984) vermutet, daß die IHTT mit dem Grad der Ezentrität der lateral dargebotenen Stimuli variiert. Mehr peripher dargebotene Stimuli sollen demnach auf weniger dichte innervierte interhemisphärische Pfade treffen. Carmon testete diese Annahme, indem er systematisch lateral dargebotene Stimuli mit einem Abstand zwischen 1° bis 8° von der Mittenfixierung zeigte. Dennoch zeigte sich keine links-rechts Unterschiede. Zusammengefaßt betrachtet, hat das absolute Spezialisierungmodell grundlegende Schwierigkeiten mit der Erklärung von links - rechts Reaktionszeit-Asymmetrien. Ein anderes Problem entsteht auch aus der Annahme heraus, daß solche Stimuli, welche in der nicht spezialisierten Hemisphäre eintreffen, auf die andere Hemisphäre zwecks Verarbeitung übertragen werden. Das Modell ist dadurch unvollständig, daß einige wichtige Aspekte dieser Aufgaben-Verteilungs-Mechanismen eher vage sind und nicht spezifiziert werden. Folglich resultiert eine Vielzahl von alternativen Möglichkeiten:

- *Automatischer Transfer:* Alle eingehenden Stimuli werden automatisch zu beiden Hemisphären übertragen, zuerst in die Eingangshemisphäre und dann zu anderen Hemisphäre über das Corpus Callosum. Beide Hemisphären erhalten die Information, jedoch nur die spezialisierte Hemisphäre kann die Information verarbeiten und führt die Aufgabe aus.
- *Bedingter Transfer:* Ein Sortierungsmechanismus existiert derart, daß eingehende Informationen zuerst klassifiziert werden und dann zur spezialisierten Hemisphäre weitergeleitet werden. Wiederum nur die spezialisierte Hemisphäre kann die Aufgabe durchführen.
- *Eine Alternative zum bedingten Transfer:* Die Eingangshemisphäre verarbeitet den eingehenden Stimulus so weit wie möglich und die Information wird erst dann in die andere Hemisphäre geleitet, wenn die betreffende Gehirnhälfte die Aufgabe nicht bewältigen kann.

Die drei Erklärungsmuster beinhalten unterschiedliche Implikationen. Reaktionszeitunterschiede reflektieren möglicherweise nicht nur einzig die Übertragungszeit, sondern auch eine Entscheidungszeit zum Transfer. Diese Interaktion erklärt möglicherweise auch, warum links-rechts Unterschiede in den Verhaltensmaßen weit aus größer sind, als diejenigen, welche nur durch die Übertragungszeit durch das Corpus Callosum erklärt wird. Gleichermaßen ist es wichtig, die oben aufgezählten Implikationen zu beachten, wenn man links-rechts Unterschiede in Fehlerhäufigkeiten interpretieren möchte. Üblicherweise steigt die Fehlerrate an, wenn die Eingangshemisphäre nicht für die eintreffenden Stimuli spezialisiert ist. Oft wird angenommen, daß die Fehlerrate deswegen ansteigt, weil die Übertragung der Informationen über das Corpus

Callosum einerseits die Verarbeitungszeit und andererseits die Verarbeitungsqualität der spezialisierten Hemisphäre beeinträchtigen. Zusammenfassend betrachtet, ist es jedoch unzureichend anzunehmen, daß Informationen gänzlich unbeeinträchtigt von den Sinnesorganen zu den Cortexarealen transportiert werden, auch nicht von einer Hemisphäre zur anderen. Eine Alternativerklärung der Fehlerraten-Asymmetrie wäre die, daß die Fehler alleinig ein Resultat der Verarbeitung der nicht spezialisierten Hemisphäre seien, weil hier die Informationen nur unzureichend verarbeitet werden. Im Folgenden wird eine kurze Beschreibung physiologische Befunde durch die Messung von Ruhe-EEG, evozierten Potentialen und Durchblutungsveränderungen im cerebralen Bereich im Zusammenhang mit der Erklärung von Asymmetrien durch absolute Strukturmodelle aufgezeigt. Einige Studien zeigten, daß die Alpha-Aktivität in der nicht spezialisierten Hemisphäre relativ stärker ansteigt, während der Verarbeitung einer bestimmten Aufgabe (Morgan, 1974). In diesem Zusammenhang zeigte die Arbeit von Furst (1976b), daß mit dem Ausmaß des Asymmetry-Index der Alpha-Power der Grad der Performance vorhergesagt werden kann. Auch schon in sehr frühen Arbeiten mit visuell evozierten Potentialen unterschieden sich bestimmte Komponenten in ihrer links-rechts Asymmetrie abhängig von der Art der zu bearbeitenden Aufgabe (Wood, 1971). Auch erste Studien mit der CBF (cerebral blood flow) – Technik zeigen deutliche Evidenzen für eine funktionelle Asymmetrie des Gehirns auf. So z.B. ist ein relativ stärkerer Anstieg der Durchblutung der linken Hemisphäre während der Verarbeitung von verbalen Informationen zu verzeichnen. Eine nonverbale Wahrnehmungsaufgabe zeigt nahezu ein umgekehrtes Durchblutungsmuster des Gehirns, also einen rechts-hemisphärischen Vorteil (Risberg, 1980). Als Fazit dieser Aufführungen ist eines zu beachten: Die nicht spezialisierte Hemisphäre ist nicht gleichzeitig gänzlich inaktiv. Die Aktivität der nicht spezialisierten Hemisphäre ist mit dem Start der Verarbeitung unspezifischer Informationen auch angestiegen. Die Autoren dieser Studie sind sich nicht sicher, ob der Anstieg in der nicht spezialisierten Hemisphäre eine kognitive Aktivität widerspiegelt oder nur ein symmetrisches Nebenprodukt einer vaskulären Organisation. Zusammenfassend betrachtet, gibt es einige Hinweise gegen das fixierte absolute Spezialisierungsmodell, welches annimmt, daß spezifische kognitive Funktionen wie verbale und visuell-räumliche Verarbeitung ausschließlich und exklusiv nur durch eine Hemisphäre erfolgen.

*b) Das relative Spezialisierungsmodell*

Grundannahme dieses Modells ist, daß der Grad der Hemisphärenspezialisierung nicht absolut sondern relativ zugunsten beider Gehirnhälften verteilt ist. Kognitive Funktionen sind in diesem Sinne nicht gänzlich auf eine Hemisphäre lateralisiert. Beide Gehirnhälften können eine bestimmte Aufgabe bewältigen, allerdings ist nur eine Hemisphäre effizienter (d.h. schneller und genauer) in der Verarbeitung spezifischer Informationen. Auch bei dem relativen Modell ist die Spezialisierung

durch die Trennung von verbalen und visuell-räumlichen Funktionen definiert. Folgende Vorhersagen lassen sich durch das Modell ableiten:

- Als Folge einer Hemisphärenektomie sollten die Funktionen der fehlenden Hemisphäre nicht gänzlich verloren gehen. Doch sollten die entsprechenden Funktionen nur noch in stark eingeschränkter Art und Weise zur Ausführung kommen.
- Bei Split-Brain Patienten sollte die nicht spezialisierte Hemisphäre trotzdem hinsichtlich einer spezifischen Aufgabe funktionieren, allerdings nur eingeschränkt.
- Bei durchschnittlichen Versuchspersonen sollte sie Performance schneller und genauer erfolgen, wenn die spezifische Information direkt in die spezialisierte Gehirnhälfte geleitet wird, jedoch langsamer und ungenauer, wenn die Hinleitung in die unspezialisierte Hemisphäre erfolgt. Gemäß dem Modell sollte die Differenz in der Performance der Eingangshemisphäre, im Vergleich zur gegenüberliegenden Hemisphäre, die unterschiedlichen Grade der Verarbeitungseffizienz und nicht Übertragungseffekte widerspiegeln. Daraus folgt der modellspezifische Schluß, daß das Ausmaß der Performance-Differenz mit dem Grad der Aufgabenschwierigkeit variiert. Je schwieriger eine Aufgabe ist, desto in adäquater wird die Reaktion der nicht-spezialisierten Hemisphäre und desto größer wird die beobachtbare Asymmetrie.
- Personen sollten in dem Ausmaß der Performance-Unterschiede variieren. Genetische Faktoren sowie Erziehungsfaktoren könnten demnach das Ausmaß der Spezialisierung beeinflussen. Z.B. wenn Personen sich hinsichtlich in ihrer Fähigkeit unterscheiden, die nicht präferierte Hand zu benutzen.

Um es vorweg zu nehmen, das relative Spezialisierungsmodell ist zu unpräzise in seinen Erklärungen, als das es schlüssig widerlegt worden wäre. Die folgenden Evidenzen belegen diese Behauptung.

Wie bereits erwähnt, setzt die Funktionsweise der rechten Hemisphäre bei Split-Brain Patienten oder Patienten mit einer Hemisphärenektomie nicht bei allen Sprachaufgaben aus. Auch die rechte Hemisphäre kann einige Sprachfunktionen (überwiegend Sprachverständnis) übernehmen, während andere sprachliche Fähigkeiten wie z.B. das Benennen von Objekten fast gänzlich verloren gehen.

Zweierlei Transfermöglichkeiten der Informationen von einer zur anderen Hemisphäre kommen in Betracht: Die der automatischen Übertragung und die des bedingten Transfers. Bei einer automatischen Übertragung könnte die spezialisierte Hemisphäre das Aktivitätsniveau der anderen selbstständig hochfahren. Alternativ zu dieser Annahme könnte ein bedingter Transfer dann erfolgen, falls die Eingangshemisphäre die eingehenden Informationen nur unzureichend verarbeiten kann. Ergebnisse aus VHF-Studien deuten an, daß eine Variation der

Aufgabenschwierigkeit eine Veränderung der resultierenden Asymmetrie nach sich zieht. Die eindeutigsten Effekte resultieren aus einer Veränderung der Stimulusqualität. Einige Experimente zeigen bspw. eine Erhöhung des VHF-Unterschiedes, wenn der lateral dargebotene Stimulus maskiert wird. Die Arbeit von Moscovitch (1976b) zeigt einen LVHF Vorteil für eine Gesichtererkennungs-Aufgabe mit maskierter Darbietung, bei unmaskierter Darbietung verschwand der Halbfeldvorteil fast gänzlich. Zu ähnlichen Ergebnissen kommt (Hellige, 1979b). Auch die Manipulation der Dauer der Stimulusdarbietung zeigt einen Einfluß auf die Asymmetrien. Rizzolatti und Buchtel (1977) erfaßten größere VHF-Unterschiede bei maskierten Gesichter-Stimuli und geringeren Expositionszeiten. Die Veränderung der Darbietungszeit mit Wirkung auf die funktionelle Asymmetrie spricht wiederum für die Aufgabenschwierigkeit als Moderatorvariable für Lateralitätseffekte. Jedoch verändern nicht alle aufgabenspezifischen Manipulationen die Hemisphäreneffekte in eine erwartungsgemäße Richtung – nicht jede Erhöhung der Aufgabenschwierigkeit führt zwangsläufig zu einer Erhöhung der Asymmetrie. In der Untersuchung von Efron (1990) führte eine Erhöhung der Aufgabenschwierigkeit sogar zu einer Umkehrung der erwarteten Asymmetrie. Zusammengefaßt kann man den Einfluß der Aufgabenschwierigkeit eher als nicht eindeutig interpretieren. Die Überlegenheit der spezialisierten Hemisphäre, und damit die Hemisphärenasymmetrie, scheint nicht unbedingt im gleichen Maße anzusteigen, wenn die Aufgabenschwierigkeit erhöht wird.

Während das relative Modell eher die interindividuellen Asymmetrieunterschiede mit den Unterschieden durch unterschiedliche Gradienten der Spezialisierung erklären kann, können die sehr geringen Korrelationen zwischen den verschiedenen Messungen der Lateralität (bspw. von Händigkeit und VHF-Unterschieden) nur schlecht erklärt werden. Darüber hinaus hat das Modell Unzulänglichkeiten, die teilweise bei VHF-Studien auftretenden Trial-zu-Trial Variabilitäten zu erklären. Alles in allem unterstützt die Befundlage nicht schlüssig das relative Spezialisierungsmodell, aber es wird auch nicht widerlegt. Ein Hauptnachteil des relativen Spezialisierungsmodell ist, daß nur die Nicht-Transfer Version Schlußfolgerungen darüber zuläßt, welche der beiden Hemisphären an der Aufgabenbewältigung beteiligt ist. Weder die Automatische-Transfer noch die Bedingte-Transfer –Erklärung lassen eine solche eindeutige Schlußfolgerung zu. Weder das absolute noch das relative Spezialisierungsmodell sind unanfechtbar. Doch beide Modelle können ihren Erklärungswert wesentlich verbessern, wenn unterschiedliche Arten der Spezialisierung mit einbezogen werden. Anstatt des Gradienten einer Spezialisierung für verbale oder visuell-räumliche Aufgaben, können eine Vielzahl weiterer Spezialisierungsarten in Frage kommen.

*Formen der Spezialiserung*

a) Spezialisierung für Typen der Verarbeitung

b) Spezialisierung für Stufen der Verarbeitung

*a) Spezialisierung für Typen der Verarbeitung*

Dem Ideal, daß jede Hemisphäre mit einer besonderen Form einer charakteristischen Verarbeitung assoziiert ist, ohne Rücksicht auf die Art des Stimulus, findet in der Literatur weitgehend Zustimmung. LH-Verarbeitung wird weitgehend als sequentiell, temporal und als analytisch charakterisiert, RH-Verarbeitung dagegen als parallel und holistisch.

Schon in den sechziger Jahren demonstrierten einige Forscher (z.B. Efron, 1963) die linkshemisphärische Vermittlung bei der Beurteilung von zeitlicher Reihenfolge. Gerade diese Art der Spezialisierung ist direkt mit sprachlichen Fähigkeiten verbunden, wie z.B. der sequentiellen Produktion verbalen Materials. Bis dato ist es unklar, ob solche sprachlichen Fähigkeiten auf der zeitlichen Verarbeitung beruhen oder ob die zeitliche Verarbeitung auf sprachlichen Fähigkeiten basieren. Der linkshemisphärische Vorteil im Zusammenhang mit einer temporalen Verarbeitung existiert nicht bei der Verarbeitung habtischer Informationen, so z.B. wird die Blindenschrift im allgemeinen besser mit der linken Hand gelesen (Hermelin, 1971).

Gerade bei Experimenten welche Reaktionszeiten als Index zur Messung von Asymmetrien verwendeten, deuten einige Befunde darauf hin, daß die linke Hemisphäre eher mit einer seriellen und analytischen Informationsverarbeitung und die rechte Hemisphäre eher mit einer parallen und holistischen Verarbeitung zu assoziieren ist. Cohen (1973) zeigte, daß die Reaktionszeiten bei der Verarbeitung von Buchstabenfeldern einen linkshemisphärischen Vorteil aufzeigten – im Sinne einer seriellen Verarbeitung: eine Erhöhung der Anzahl der Buchstaben führte zu einer Verstärkung des linkshemisphärischen Vorteils in den Reaktionszeiten, hingegen veränderten sich die Reaktionszeiten der rechten Hemisphäre nicht. Allerdings war es schwierig, diesen Befund zu replizieren und die Interpretation hinsichtlich der Verarbeitungsspezifität bleibt in Frage zu stellen. Zu beachten ist in diesem Zusammenhang auch die Tatsache, wenn Studien eine serielle vs. nicht-serielle Dichotomie aufzeigen, daß dies nicht notwendiger Weise eine analytisch vs. holistische Verarbeitung bedeutet, besonders wenn die rechte Hemisphäre eher mit paralleler als mit holistischer Verarbeitung in Zusammenhang zu bringen ist, denn die Parallelverarbeitung ist auch eine Eigenschaft der analytischen Verarbeitung. In einer anderen Studie von Bever (1976) zeigte sich linkshemisphärischer Vorteil bei der Erkennung von Anfangsphonemen doch nicht bei Konsonant-Vokal-Konsonant(CVC)-Silben. Die Erklärung dafür lautete, daß eine analytische Verarbeitung zur Erkennung von Phonemen notwendig ist, doch CVC-Silben sollten holistisch verarbeitet werden. Die Tatsache, daß Silben schneller als Phoneme erkannt wurden, galt als

ursächlich dafür, daß Silben holistisch verarbeitet werden, hingegen Phoneme einer analytischen Dekomposition unterliegen.

Eine weitere Evidenz dafür, daß die rechte Hemisphäre mit einer holistischen Verarbeitung zu assoziieren ist, zeigte sich bei Untersuchungen an Patienten mit unilateralen Läsionen an der linken Hemisphäre. Solche Personen können im allgemeinen eher bei Zeichnungen von Gegenständen die groben Umrisse benennen, haben jedoch einen Mangel bei der Detailwiedergabe. Nebes (1971) zeigte in diesem Zusammenhang, daß Personen in der Regel nach der Ertastung eines bestimmten Segmentes die Form einer Figur besser einschätzen können, wenn sie diese mit der linken Hand ertastet haben – im Ggs. zur rechten Hand. Hier stellt sich jedoch die Frage, in wie weit man bei der Ertastung von Formen von einer holistischen Verarbeitung sprechen kann. Bei diesem Typus von Aufgabe werden eher Unterschiede in der Art und Weise des Abrufs von Gedächtnisinformationen indiziert. Es gibt eine Vielzahl von Studien, in denen die Klassifikation zwischen analytischer und holistischer Informationsverarbeitung ähnlich unklar und uneindeutig verläuft. Was ist denn überhaupt ein analytisches oder ein holistisches Vorgehen bei der Informationsverarbeitung? Schon in der allgemeinen Psychologie wurde diese Fragestellung kontrovers diskutiert und so ist es nicht weiter verwunderlich, daß sich diese Unklarheit auch auf den Bereich der psychophysiologischen Forschung erstreckt. Der Versuch, alle bisher gefundenen Evidenzen bezüglich einer spezifischen Charakterisierung der linken oder rechten Hemisphäre im Sinne einer seriellen, analytischen oder holistischen Verarbeitung zu erklären, läßt eine Vielzahl von Verhaltensasymmetrie-Typen unberücksichtigt. Während das relative Modell konsistent den Grad der Zwischen-Personen- und Zwischen-Aufgaben-Variablilität erklärbar macht, kann es keine Vorhersagen über die Innerhalb-Aufgaben-Variabilität machen, solange keine weiteren Annahmen über die Veränderung von Verarbeitungsstrategien einbezogen werden.

*b) Spezialisierung für Stufen der Verarbeitung*

Ein anderes Modell (Beaumont, 1982) postuliert, daß beide Hemisphären eher für besondere Stufen der Verarbeitung spezialisiert sind, als für Kategorien der Verarbeitung oder Typen von Stimuli. Dieses Modell versucht den Ursprung der Spezialisierung zu identifizieren, in dem es die An- oder Abwesenheit von Lateralitätseffekten in unterschiedlichen Verarbeitungsstufen nachweist. Von diesem Stufenmodell gibt es wiederum eine Vielzahl von unterschiedlichen Versionen. Im Folgenden werden zwei unterschiedliche Sektionen der Stufenmodelle in Hinblick auf cerebrale Asymmetrien besprochen: Das Komponenten-Operationsmodell sowie das Informations- und Levels of Processing Modell.

Das Komponenten-Operationsmodell der Spezialisation, welches annimmt, daß die Hemisphären für spezifische Stufen der verbalen Verarbeitung spezialisiert sind, erscheint überzeugender als ein

solches Modell, welches davon ausgeht, daß sämtliche Aspekte der verbalen Informationsverarbeitung nur mit einer Hemisphäre assoziiert sind. Dieses Modell macht keine konkreten Angaben darüber, ob eine Operation früher oder später in einer Verarbeitungskette auftaucht oder ob sie einer hohen oder niedrigen Verarbeitungsstufe zu zuordnen ist. Somit wird klar, daß Komponentenmodelle weniger dazu geeignet sind, Gesamtasymmetrien durch Komponentenasymmetrien zu erklären, sofern das Muster der Interaktionen zwischen den Komponenten und ihre relative Verteilung ungeklärt bleibt. In diesem Zusammenhang resultieren die eindeutigsten Evidenzen für eine Komponenten-Operations-Asymmetrie aus Buchstaben- und Wort- Erkennungsstudien. Eine Reihe von Experimenten zeigen eine konsistente Befundlage dahin gehend, daß die Beurteilung von physikalischen Parametern verbalen Materials nur eine geringe Asymmetrie hervorrufen, während Aufgaben, welche auf einer nominalen Analyse oder einer phonologischen Analyse basieren, deutliche Evidenzen zugunsten einer linkshemisphärischen Lateralisation aufzeigten (Cohen, 1972 und 1978).

Unterschiedliche Komponenten Stufen mögen mehr oder weniger lateralisiert sein und der Grad der Lateralisation mag zwischen den Personen variieren. Das Komponenten-Operationsmodell kann eine Zwischen-Aufgaben Variabilität im Sinne einer Veränderung in der Verteilung der Komponenten in Hinblick auf die Gesamtasymmetrie erklären. Doch genau wie das Erklärungsmodell zur Typologie der Verarbeitung kann das Komponenten-Operationsmodell ebenfalls nicht die unterschiedlichen Stufen der Lateralisierung innerhalb einer Aufgabenbedingung erklären, ohne die Veränderung von Verarbeitungsstrategien mit einzubeziehen (Eine Eigenschaft des dynamischen Modells, welches später in diesem Kapitel diskutiert wird).

In Hinblick auf die Befundlage zu den cerebralen Asymmetrien werden in den folgenden Ausführungen die Ergebnisse der Informations- und der Levels of Processing-Modelle Zusammengefaßt betrachtet, da sich beide Modelle in den wesentlichen Punkten überschneiden. Beide Modelle basieren auf Techniken, mit denen versucht wird, den Locus der Spezialisierung zu identifizieren. Dabei werden die zu bearbeitenden Aufgaben in verschiedene Stufen oder Stadien der Informationsverarbeitung zerlegt. Die Genauigkeit der Schlußfolgerungen des Modells und somit die Erklärungen der Asymmetrien, hängen also von der Präzision ab, mit der die einzelnen Stufen isoliert und erklärt werden können. Zusammenfassend betrachtet, werden Asymmetrien eher mit den späteren als mit den früheren kognitiven Prozessen in Zusammenhang gebracht, z.B. eher mit Gedächtnis- als mit Wahrnehmungsprozessen.

Die Vermutung, daß Asymmetrien während der Verarbeitung von Wahrnehmungsaufgaben nur minimal auftreten und erst bei der Involvierung gedächtnisabhängiger Prozesse auftauchen, hat einige empirische Unterstützung bekommen. Doch ist die Stützung dieser Befunde durch die

Tatsache erschwert, daß Wahrnehmungs- und Gedächtnis- Prozesse schwer zu trennen sind. Experimente zeigten, daß keine Asymmetrien bei simultanen Matching-Aufgaben auftreten, jedoch erscheinen sie bei sukzessiven Matching-Aufgaben, wenn zwischen dem Target-Stimulus und dem Test-Stimulus ein größeres Intervall besteht (Moscovitch, 1976b). Die Autoren argumentieren, daß bei einem simultanen Vergleich zweier Stimuli der Einfluß des Gedächtnisses minimal ist, hingegen bei sukzessiver Verarbeitung auf die Inhalte des ikonischen Gedächtnisses zurückgegriffen werden muß.

Resümierend läßt sich feststellen, daß funktionelle Asymmetrien mit wachsendem Einfluß von Gedächtnisprozessen stärker werden. Dennoch ist es experimentell unmöglich, eine steigende Involviertheit von Gedächtnisprozessen von einer wachsenden Aufgabenschwierigkeit zu trennen, zumal der Grad der Aufgabenschwierigkeit mit dem Grad der Asymmetrie einher geht (s.o.).

Andere Stadien der Spezialisierung überlappen sich mit der Unterscheidung von Wahrnehmungs/Gedächtnis Prozessen. Solche Stadien, die mit Wahrnehmungsprozessen assoziiert werden, werden als frühe, präkategorische oder niedrigwertige Stadien der Informationsverarbeitung charakterisiert. In diesem Zusammenhang wird die Identifikation von Vokallauten, der Vergleich von simultan dargebotenen Buchstaben bzw. Formen, in ähnlicher Weise als präkategorisch eingestuft, und basiert auf der einfachen Dekodierung physikalischer Informationen. Im Gegensatz zu den Wahrnehmungsprozessen hängt die Wiedererkennung von Buchstaben und Konsonant-Phonemen von höherwertigen Stufen der Verarbeitung ab. An solchen Prozessen sind wiederum Gedächtnisrepräsentationen beteiligt, welche das Ausmaß von Verhaltensasymmetrien verstärken sollen.

In diesem Zusammenhang beschäftigten sich eine Reihe von Experimenten mit der Auswirkung der peripheren Maskierung und der zentralen Maskierung von Reizen auf resultierende Asymmetrien. Es zeigte sich der erwartete Zusammenhang: Die periphere Maskierung, welche frühe, präkategorische Stufen der Informationsverarbeitung unterbricht, erzeugt keine Asymmetrien, während eine zentrale Maskierung, welche spätere, höherwertige Stadien unterbricht, Asymmetrien erzeugt (Moscovitch, 1976a; Ward, 1977). Die Autoren vertreten die Ansicht, daß höherwertige Prozesse asymmetrisch cerebral organisiert sind. In diesem Zusammenhang soll die rechte Hemisphäre für die höherwertigen Stufen der Verarbeitung von Informationseigenschaften von Gesichtern und Formen spezialisiert sein, hingegen die linke Hemisphäre für höherwertige Prozesse zur Verarbeitung von Buchstaben und Wörtern. Somit soll die Richtung der resultierenden Asymmetrie durch die Art des Stimulus determiniert sein. So fanden Moscovitch et al. (1976a) bei der zentralen Maskierung von Gesichtern einen rechts-hemisphärischen Vorteil und in einem Experiment von Hellige (1976) in dem Polygone maskiert wurden, zeigte sich ein ähnlicher rechtshemisphärischer Vorteil. Darüber hinaus demonstrierte Hellige (1976), daß die Asymmetrie

auch bei der Darbietung von Buchstaben zu einem rechtshemisphärischen Vorteil wechselte. Im Gegensatz zu der allgemein üblichen Annahme, daß die Verarbeitung verbalen Materials mit der linken Hemisphäre zu assoziieren ist, vertrat Hellige die Ansicht, daß sämtliche höherwertigen Stufen bei der Verarbeitung visuellen Materials in Zusammenhang mit der rechten Hemisphäre zu bringen seien. Diese Annahme stand eine bestimmte Zeit mit der Behauptung von Moscovitch in Widerspruch bis Ward und Ross (1983) einen linkshemisphärischen Vorteil durch die Maskierung verbalen Materials aufzeigen konnten. Ward und Ross zeigten, daß der linkshemisphärische Vorteil mit dem Grad an Geübtheit geringer wurde, obwohl man annehmen sollte, daß eine Ausbreitung von höherwertigen Verarbeitungsprozessen mit dem Grad an Geübtheit einher gehen würde.

Solche inkonsistenten Befunde sind auch bis heute nur schwer in Einklang zu bringen. So können z.B. Maskierungseffekte einzig eine Erhöhung des Schwierigkeitgrades einer Aufgabe bewirken und somit eine Erhöhung der Asymmetrien nach sich ziehen, anstatt einer Veränderung des Grades der Verarbeitungsstufe. Im allgemeinen mögen drei Gründe für die Inkon-sistenz der Befunde sprechen. Erstens scheint es unangebracht, kognitive Prozesse in diskrete Stufen einteilen zu können. Zweitens, selbst wenn der Ansatz einer stufenweisen Verarbeitung theoretisch gerechtfertigt ist, mögen die technischen Methoden bis heute unzureichend sein, um eine valide Einteilung zu gewährleisten. Drittens, die konzeptuelle Einteilung der besprochenen Modelle sei möglicherweise unzulänglich definiert.

### 2.2.2 Dynamische Modelle

Zusammenfassend betrachtet, kann keines der bisher aufgeführten Strukturmodelle die Variabilität in den Verhaltensasymmetrien erklären. Das gilt besonders für die Trial zu Trial Variabilität bei einer Person während der Bearbeitung derselben Aufgabe. Um diese besondere Form der Asymmetrie-Variabilität zu erklären, ist es notwendig, einige weitere dynamische Mechanismen zu postulieren, welche die Funktionen der festen Strukturen kontrollieren oder beeinflussen können. In diesem Zusammenhang stellen dynamische Modelle eher eine Erweiterung der bestehenden festen Strukturmodelle als eine separate Alternative dar. Obwohl eine Zusammenfassung beider Modelltypen insgesamt weitreichender ist, kann aufgrund der Interaktion beider Modelle ein Teil ihrer Erklärungskraft verloren gehen, da die dynamischen Mechanismen nicht eindeutig definiert sind. Einige Forscher (z.B. Hellige, 1979b) tendierten dazu, die dynamischen Modelle in zwei Typen zu unterteilen: Die Aufmerksamkeit- und die Strategie-Modelle. Beaumont (1982) vertritt in seinem Buch die Annahme, daß mehr Übereinstimmung mit den Aufmerksamkeitstheorien besteht, wenn man die Annahmen der Strategie-Modelle in das bestehende Aufmerksamkeitsmodell integriert, anstatt das Strategie-Modell als separate Einheit bestehen zu lassen. Hinsichtlich dieses Ansatzes bestehen zwei unterschied-liche Arten von Aufmerksamkeitsprozessen, welche mit der Hemisphärenspezialisierung interagieren und sich wiederum in funktionellen Asymmetrien widerspiegeln. Einmal steuern Selektionsprozesse die Zuteilung von Kapazitäten und Arousal und zum anderen steuern Aktivierungsprozesse den Grad der Verfügbarkeit der kognitiven Kapazitäten. Beide Faktoren sind nicht unabhängig voneinander und stehen durchaus in einem zirkulären Zusammenhang. Die ausgewählte Strategie mag bestimmen, wieviel kognitive Kapazitäten für eine bestimmte Operation vorhanden sind, und das Ausmaß wieviel Kapazitäten verfügbar sind, bestimmt wiederum die optimale Strategie.

*Das Aufmerksamkeitsmodell*

Das Aufmerksamkeitsmodell der lateralen Asymmetrien wurde von Kinsbourne (1973) aufgestellt und ist bis heute einigen Veränderungen unterzogen worden. Obwohl das Modell in einigen Belangen unvollständig ist, ist es ausreichend, um einige Vorhersagen empirisch zu testen. Das Aufmerksamkeitsmodell basiert auf der Annahme, daß Asymmetrien, die auf strukturellen Spezialisierungen beruhen, weitgehend gering und weniger konstant sind. Es erklärt das größere Ausmaß und die Variabilität an Asymmetrien durch die Fluktuation von Aufmerksamkeitsprozessen. Eine Erhöhung der Zuteilung an Aufmerksamkeitsresourcen auf eine Hemisphäre induziert einerseits die Selektion der Wahrnehmung für den kontralateral projizierten Stimulus und andererseits wird die Verarbeitungskapazität der betreffenden Hemisphäre erhöht.

Eine Asymmetrie welche durch eine bestehende strukturelle Spezialisierung bedingt ist, wird somit erhöht aber auch verringert oder sogar umgekehrt. Der maßgebliche Faktor ist die relative Zuteilung von Aufmerksamkeitsressourcen zwischen den Hemisphären. Solch eine Kombination von einem strukturellen und einem dynamischen Modell hat natürlich eine umfassende Erklärungskraft, jede empirisch feststellbare Asymmetrie post hoc mit der Theorie in Einklang zu bringen. Falls das Modell jedoch eine Vorhersagekraft haben soll, so muß es die Faktoren kennzeichnen, welche die Allozierung von Aufmerksamkeit bedingen. Im Folgenden werden einige Faktoren aufgeführt, welche die Aktivierung (oder Priming) einer bestimmten Hemisphäre durch die Allozierung von Aufmerksamkeit bedingen.

*Priming for Stimulus-Location*

Auch in VHF-Experimenten können Versuchspersonen ihre Aufmerksamkeit auf ein bestimmtes Halbfeld richten, ohne dabei die Augen zu bewegen (Posner, 1980). Die Aufmerksamkeitsrichtung auf ein bestimmtes Halbfeld führt dann zu einer relativen Leistungserhöhung für dieses Feld im Vergleich zu dem nicht beachteten Feld. Falls eine Stimulus-Lokalisierung vorhersagbar ist, leiten die Versuchspersonen ihre Aufmerksamkeit auf den erwarteten Punkt. Selbst wenn keine Lokalisierung vorhersagbar ist, mögen eine Vielzahl von Personen eine subjektive Strategie entwickeln, die es ihnen ermöglicht, eine Vorhersage hinsichtlich des relativ schwierigeren Halbfeldes zu machen, mit dem Ziel, ihre Gesamtleistung zu verbessern. Die Entwicklung einer subjektiven Strategie kann eine durch strukturelle Spezialisierung bedingte VHF-Asymmetrie vollkommen reduzieren.

*Priming for Stimulus Type*

Einige experimentelle Ergebnisse stärken die Annahme, daß die vorherige Kenntniss über den dargebotenen Stimulustyp die entsprechende Hemisphäre primen kann. So z.B. kann sich ein linkshemisphärischer Vorteil für Wörter und Buchstaben vergrößern, wenn die Darbietung verbaler Stimuli bekannt ist. Wie sich diese Leistungssteigerung erklären läßt, ist allerdings unklar. Es gibt unterschiedliche Erklärungsansätze. Die Erwartung eines bestimmten Stimulustyps kann bspw. eine Vorselektion bestimmter Verarbeitungsstrategien determinieren, welche wiederum asymmetrisch repräsentiert sein können. Genauso könnte eine Erwartungs-haltung diejenige Hemisphäre voraktivieren, welche für den spezifischen Stimulustyp spezia-lisiert ist. Die Voraktivierung kann dann zu einer Perfomancesteigerung der prädistinierten Hemisphäre führen. Im Sinne von Kinsbourne (1975) würde die Erwartungshaltung zu einer Orientierung der Wahrnehmung sich auf das visuelle Halbfeld richten, welches kontralateral zur geeigneten Hemisphäre liegt. Nach Kinsbourne's Theorie sollte das kontralateral zur aktivierten Hemisphäre

liegende visuelle Halbfeld, die beste Leistung erzielen, hingegen das ipsilateral gelegene die geringste und das zentrale Feld eine mittlere Leistung vermitteln.

Es ist bis dato schwierig, diese Erklärungsansätze empirisch zu prüfen und es gibt eine Reihe von kontroversen Befunden. Außerdem bleibt die Antwort auf die Frage, ob ein Priming unter bewußter Kontrolle geschieht oder ob dieser Prozeß eher unbewußt und automatisch verläuft, bis heute offen. Soweit Priming die Selektion von Strategien bedingt, mag dies unter bewußter Kontrolle geschehen, soweit Priming jedoch Kapazitäten durch Arousal-Mechanismen bindet, ist es eher als automatisch einzuordnen.

Das dynamische Modell postuliert im Falle des Ausbleibens von Aufmerksamkeitseffekten auf die Asymmetrie, daß die bestehende VHF-Asymmetrie nur durch eine strukturelle Spezialisierung zustande gekommen sein kann. Diese Asymmetrie sollte sehr gering ausfallen, denn der Einfluß von Aufmerksamkeitseffekten auf Asymmetrien soll stärker sein als die der strukturellen Spezialisierung. Doch das ist nicht immer der Fall. So z.B. fanden Berlucchi et al.(1974) einen deutlichen rechtshemisphärischen Vorteil für die Gesichtererkennung und einen klaren linkshemisphärischen Vorteil für die Erkennung von Buchstaben in einer gemischten Darbietungserie von Gesichtern, wo es für die Versuchsperson keine Möglichkeit gab, eine Erwartungshaltung hinsichtlich des kommenden Stimulustyps aufzubauen. Solche deutlichen Asymmetrien können nicht immer durch das Aufmerksamkeitsmodell erklärt werden und eine Verteilung von strukturellen Faktoren scheint ausgeprägter, als das es die Aufmerksamkeitshteorie erlaubt.

*Priming durch Übung*

Die Auswirkungen von Übung auf laterale Asymmetrien sind sehr unterschiedlich. Eine Asymmetrie, welche anfänglich nicht auftritt, kann durch Geübtheit zum Vorschein kommen, sie mag sogar ihre Richtung durch Übung umkehren oder eine Asymmetrie kann mit steigender Übung abnehmen und gänzlich verschwinden. Es ist durchaus möglich, daß diese Fluktuationen der Asymmetrie aus einer Entwicklung oder einer Modifikation einer Strategie, aber auch aus einer Veränderung der Aktiviertheit, bspw. durch Ermüdung resultieren können.

*Priming durch übereinstimmende Aufgaben*

Ein weiteres grundlegendes Prinzip des Aufmerksamkeitsmodells ist die Annahme, daß der Grad der Aktiviertheit einer Hemisphäre durch eine übereinstimmende Aufgabe erhöht werden kann. Die zusätzliche, aber übereinstimmende Aufgabe aktiviert eine bestimmte Hemisphäre in gleicher Weise wie die eigentliche Aufgabe, so daß eine Steigerung der Asymmetrie zugunsten der Zielhemisphäre erfolgt. Die eindeutigsten Ergebnisse stammen aus den Experimenten von Kinsbourne (1973). Hier sollten die Versuchspersonen eine Lücke in einem Quadrat suchen und dabei eine Reihe Wörter im Gedächtnis behalten – es resultierte ein linkshemisphärischer Leistungsvorteil. Zum anderen sollten die Versuchspersonen eine Melodie im Gedächtnis behalten – es resultierte erwartungsgemäß ein rechtshemisphärischer Leistungsvorteil. Im Allgemeinen sind Evidenzen für das rechtshemisphärische Priming schwerer zu finden. Dazu gibt es eine Vielzahl von sich widersprechenden Studien. Beaumont (1982) zieht aus diesem Grunde die Schlußfolgerung, daß Priming eher eine generelle, nicht spezifische Performancesteigerung innerhalb der angesprochenen Hemisphäre verursacht, bedingt durch eine Wahrnehmungs-orientierung oder ein generelles Arousal und nicht durch die Aktivierung eines aufgaben-spezifischen kognitiven Mechanismus.

Einen weiteren kontroversen Aspekt des Aufmerksamkeitsmodells bildet der Grad der Performance der ungeprimten Hemisphäre. Kinsbourne (1975) behauptete, daß beide Hemisphären in einer reziproken Balance zueinander stehen, so daß die Aktivierung einer Gehirnhälfte zu einer Deaktivierung der anderen führen würde. Doch konnte diese Annahme auch durch eine Reihe von Studien nicht bestätigt werden. Manchmal blieb die Performance der ungeprimten Hemisphäre unverändert, während die geprimte Gehirnhälfte eine Steigerung zeigte. Gerade dieses Befundmuster ist nur sehr schwer mit dem Wahrnehmungslokus des Primings in Einklang zu bringen. Denn laut Kinsbourne sollte eine Wahrnehmungsorientierung auf das kontralateral gelegene Halbfeld gleichzeitig eine geringere Leistung hinsichtlich des ipsilateral gelegenen Feldes induzieren. Doch manchmal erzeugt ein Priming eine Leistungsverbesserung durch beide visuelle Halbfelder, allerdings oft mit der relativ größeren Steigerung in dem visuellen Halbfeld, welches kontralateral zur Zielhemisphäre liegt. Dieses Ergebnismuster wird oftmals spekulativ durch eine Kombination von selektiven und allgemeinen Arousal erklärt. Eine Alternative zu dieser Erklärung wäre die Annahme, daß die selektive Aktivation und die absolute Spezialisierung miteinander interagieren. Hierbei würden alle Reaktionen durch die geprimte Hemisphäre vermittelt werden. Unter dieser Bedingung sollten alle Reaktionen, welche durch eine kontralaterale Stimulation hervorgerufen werden, verstärkt werden und solche Reaktionen, die mit einer ipsilateralen Stimulation ausgelöst wurden, lediglich durch die Übertragungszeit zwischen den Hemisphären vermindert sein.

*Interferenzen innerhalb einer Hemisphäre*

Interferenzen innerhalb einer Hemisphäre können bspw. dann auftreten, wenn motorische Reaktionen und kognitive Aufgaben zusammen treffen und dieselbe Hemisphäre beanspruchen. Beide Aufgabentypen können sich gegenseitig behindern, wenn sie im Wettbewerb um dieselben funktionellen Resourcen stehen. So zum Beispiel kann die Reaktion der rechten Hand während der Bearbeitung einer verbalen Aufgabe in ihrer Reaktion beeinträchtigt werden (Lomas, 1976). Die Erklärung der Autoren lautet, daß sich die neuronalen Strukturen zur Ausführung beider Aufgaben innerhalb der linken Hemisphäre überschneiden. Interessanterweise ist eine große Anzahl von verbalen konkurrierenden Gedächtnisinhalten notwendig, um eine primäre kognitive Aufgabe zu beeinflussen, jedoch nur eine geringe Einheit, um eine motorische Aufgabe zu stören. Obwohl der Grad der neuronalen Überlappung bei einer kognitiven-kognitiven Doppelaufgabe größer ist, als bei einer kognitiven-motorischen Doppelaufgabe, sollte letztere Aufgabentypus weniger interferieren.

Zusammenfassend betrachtet, ist es durchweg möglich, individuelle Verschiedenheiten in Verhaltensasymmetrien durch Aufmerksamkeitsfaktoren und / oder durch strukturelle Unterschiede zu erklären. Personen mögen sich in ihren preferierten kognitiven Strategien bei der Stimulusbearbeitung unterscheiden, ebenfalls auch in ihren Verarbeitungskapazitäten und genauso in dem Auftreten von selbstinduziertem Priming und möglichen Intereferenzen. Besonders die letzten Phänomene treten dann auf, wenn Personen mit sich selbst sprechen (Aktivierung der linken Hemisphäre) oder sich Bilder (Aktivierung der rechten Hemisphäre) vorstellen. Die Kombination des strukturellen und dynamischen Modells der Hemisphäreasymmetrie mag sicherlich eine ganze Reihe von Fragen beantworten, die durch das absolute Strukturmodell auftreten. Das kombinierte Modell kann sowohl die auftretende Variabilität zwischen und innerhalb der Personen erklären. Die Schwäche des Modells besteht allerdings darin, daß fast jedes Ergebnismuster an das Modell angepaßt werden kann. Es ist schwieriger ein Ergebnis vorherzusagen, als ein unvorhergesagtes Ergebnis zu erklären. Das vorliegende Modell ist in seiner Vorhersagekraft nicht eindeutig genug und zu unpräzise. Eine Reihe von Forschern attribuieren zu voreilig Asymmetrie-Effekte auf die Veränderung von Aufmerksamkeits-prozessen, ohne zu gewährleisten, daß eine solche Veränderung überhaupt stattgefunden hat. Eine Abhilfe und zugleich Absicherung für eine solche voreilige Schlußfolgerung wäre die Verbindung von der Erfassung von direkten physiokogischen Indizes in Verbindung mit Paramtern der Verhaltensmessung.

*Bewertung der strukturellen und dynamischen Modelle*

Besonders wenn Beobachtungen als reliabel erscheinen, so bedeutet dies nicht, daß die resultierenden Schlußfolgerungen notwendigerweise valide sind. So können zum Beispiel senso-

rische und motorische Asymmetrien Effekte hervorrufen, welche fälschlicherweise auf asymmetrische Repräsentationen kognitiver Funktionen attribuiert werden.

Die verfügbaren Modelle können in zwei Kategorien unterteilt werden. Einmal die festen Strukturmodelle und zum anderen die dynamischen Modelle. Die Kategorie der Strukturmodelle teilt sich weiterhin in absolute und relative Spezialisierungsmodelle auf.

Die absolute Spezialisierungs-Version, welche davon ausgeht, daß eine bestimmte kognitive Funktion ausschließlich auf eine Hemisphäre lateralisiert ist, findet durch die Ergebnisse der Forschung wenig Unterstützung.

Das relative Spezialisierungsmodell hingegen, welches davon ausgeht, daß eine bestimmte kognitive Funktion mehr oder weniger bevorzugt, besser oder effizienter durch eine Hemisphäre relativ zur anderen ausgeführt werden kann, liegt konsistenter im Einklang mit der Befundlage empirischer Ergebnisse. Das relative Modell versucht die unterschiedlichen Formen der Spezialisierung zu erklären.

Eine weitere Subausführung des Spezialisierungsmodells geht davon aus, daß nur bestimmte Stufen der kognitiven Prozesse oder bestimmte Operationen in einer Hemisphäre spezialisiert sind. Doch diese theoretischen Annahmen lassen sich nur schwer oder sogar unmöglich experimentell überprüfen.

Allen festen Struktur Modellen ist es gemeinsam, daß keines von ihnen die bisher gefundenen Asymmetrien hinreichend erklären kann. Insbesondere die Trial zu Trial - Variabilität der Asymmetrien innerhalb einer Person während der Ausführung derselben Aufgabe kann von diesem theoretischen Ansatz nicht erklärt werden. Kombiniert man jedoch das strukturelle Modell mit einem dynamischen Modell, so läßt sich diese Unzulänglichkeit auflösen, indem Aufmerksamkeitsfaktoren mit einbezogen werden. Das kombinierte Modell erklärt Verhaltensasymmetrien durch eine Interaktion von mehreren Faktoren. Allerdings erweist sich das Modell als sehr flexibel und anpassbar. Daher können manchmal bestimmte Resultate nur post hoc erklärt werden, ohne sie durch das Modell vorhersagen zu können.

### 2.2.3 Feld-Asymmetrie Modelle

Üblicherweise weisen die meisten Asymmetrien welche durch tachistoskopische Paradigmen ausgelöst wurden, generell stärkere RVHF- (als LVHF-) Vorteile auf (Iaccino, 1993). Dieser Shift gilt insbesondere konsistent für Ergebnisse, welche auf der Darbietung verbaler Stimuli wie Wörter oder Buchstaben basieren. Zwei unterschiedliche Modelle zur Gehirnasymmetrie werden diesbezüglich von Springer und Deutsch (1995) postuliert. Das direkte Zugriffs-Modell (Direct Access Modell / DAM) nimmt an, daß die erste Hemisphäre, welche die tachistoskopisch applizierte Information zuerst erhält, diejenige ist, welche auch die Information verarbeitet. Wenn bspw. durch das RVHF verbales Material direkt der LH dargeboten wird, würde diese Gehirnhälfte die eingehende Information verarbeiten (und in diesem Falle, würde ein RVHF Vorteil resultieren, weil die LH auf die Verarbeitung verbalen Materials spezialisiert ist). Wenn jedoch die RH einen direkten Input über das LVHF erhält, würde die rechte Hälfte diese Information verarbeiten, obwohl sie gar nicht prädistiniert ist, verbale Informationen zu handhaben. In diesem Falle, würde ein LVHF nicht entstehen, denn die betreffende Hemisphäre ist nicht auf das Material spezialisiert. In umgekehrter Art und Weise argumentiert das indirekte Übertragungsmodell (Indirect Relay Model / IRM). Die Grundannahme besteht darin, daß immer diejenige Hemisphäre die eingehende Information verarbeitet, welche am besten geeignet ist, das Material zu verarbeiten. Falls die eingehende Information die entsprechend spezialisierte Hemisphäre direkt erreicht, resultiert ein deutlicher VF Vorteil für diese Gehirnhälfte. Doch wenn die nicht spezialiserte Hemisphäre direkt angesprochen wird, ist eine Übertragung der Information zur geeigneten Gehirnhälfte über das Corpus Callossum notwendig, um dort die Verarbeitung der Information erfolgen zu lassen. Falls also LVHF dargebotenes verbales Material durch die RH erfaßt wird, würde eine relative Benachteiligung für das LVHF resultieren, da die eingehende Information erst über das Corpus Callossum zur spezifischen Hemisphäre transferiert werden müßte. Diese Übertragung würde nicht nur eine zeitliche Verzögerung mit sich bringen, sondern auch einen Verlust an Information. Unabhängig davon, welches Modell zur Erklärung herangezogen wird, das Endergebnis ist dasselbe: Eine Hemisphäre hat dann einen relativen Verarbeitungsvorteil gegenüber der anderen, wenn der Typ des Stimulusmaterials oder der Aufgabentyp mit der entsprechenden Hemisphäre assoziiert werden kann. Corballis (1983) versucht, noch einen Schritt weiter zu gehen. Der Autor postuliert, daß die Funktionen der LH eine generelle Dominanz gegenüber der der RH haben.

# 2.3 VHF-Paradigma

## 2.3.1 Messung von Lateralität

*Was kann man aus Lateralitätsuntersuchungen über Gehirnfunktionen erfahren?*

Lateralitätsuntersuchungen. bilden u.a. eine sinnvolle Ergänzung zur Untersuchung neurologischer Patienten. Sie bilden einen wesentlichen Anteil an der heutigen Theoriebildung über Art und Herkunft cerebraler Asymmetrien. Dennoch muß betont werden, daß solche Untersuchungen Gehirnfunktionen nur indirekt erfassen können und daß sie eine Reihe methodischer Unzulänglichkeiten aufweisen. Folgende Probleme wären in diesem Zusammenhang zu erwähnen: Lateralitätsmessungen korrelieren nur gering mit den invasiven Methoden zur Erfassung cerebraler Asymmetrien. So zeigen zum Beispiel dichotische Hörtests bei etwa 80% der rechtshändigen Versuchspersonen eine Überlegenheit des rechten Ohres bei gesprochenen Wörtern (Kolb, 1996). Doch durch Natriumamytaltests sowie Cortexreizungen läßt sich zeigen, daß die Sprache bei über 95% der rechtshändigen Personen maßgeblich in der linken Hemisphäre repräsentiert ist (Kolb, 1996).

Wodurch könnte diese Diskrepanz verursacht sein? Mehrere Möglichkeiten sind denkbar. Es könnte sein, daß der Test verschiedene Variablen erfaßt, von denen die relative cerebrale Dominanz nur eine ist. Es könnte aber auch sein, daß dichotische Hörtests mit anatomischen Asymmetrien enger korrelieren als die Reizversuche und der Natriumamytaltest. So bestehen eindeutige Evidenzen dafür, daß nur etwa 75 bis 80% aller Gehirne rechtshändiger Personen im Bereich des sensorischen Sprachfeldes (Wernickesches Areal) linkslateral etwas größer sind als rechts. Folgt man hingegen den Ergebnissen des Natriumamytaltests, so sollen bei 99% der Gehirne die Sprache in der linken Hemisphäre repräsentiert sein. Strauss, Kosaka und Wada (1983) sind davon ausgegangen, daß es zwischen der Anatomie und dem Verhalten eine fixe Korrelation gibt und haben zur Unterstützung dieser Hypothese einige Ergebnisse publiziert.

Dennoch bleibt die Frage offen, warum sowohl der Natriumamytaltest als auch Untersuchungen gehirngeschädigter Patienten einen solch großen Prozentsatz von Personen mit links-hemisphärisch organisierter Sprache ausweisen. Die bekanntesten Lateralitätsmessungen korrelieren nicht sehr stark miteinander. Man sollte aber annehmen, daß zumindest tachistoskopische und dichotische Lateralitätsmessungen bei der gleichen Versuchsperson eine hohe Übereinstimmung aufweisen. Das ist jedoch nicht der Fall. Es mag also trotz allem sein, daß diese Tests nicht wirklich das Gleiche messen; und es gibt auch keinen einfachen Weg, um

individuelle Unterschiede der neuronalen Organisation des Cortex oder der funktionellen Repräsentation im Cortex mit der jeweiligen Leistung bei Lateralitätstests in Beziehung zu setzen. Interindividuelle Unterschiede der Gehirne gesunder Versuchspersonen vergrößern sicherlich die Varianz der Testergebnisse. Gegenwärtig besteht keine Möglichkeit, zwischen Anatomie und Leistung eine systematische Beziehung herzustellen (Kolb, 1996). So können verschiedene Handlungsstrategien, welche einzelne Personen bei Lateralitätsaufgaben einschlagen, deren Leistungen signifikant verändern. Werden die Probanden zum Beispiel aufgefordert, besonders auf diejenigen Wörter zu achten, die bei einer dichotischen Aufgabe dem linken Ohr dargeboten werden, so verhindern sie – falls sie dies tatsächlich tun – die normalerweise auftretende Präferenz des rechten Ohres für Wörter. Schließlich können Lateralitätseffekte auch einfach das Resultat bestimmter Erfahrungen sein, statt auf biologischen Faktoren zu beruhen. Dieser Verdacht wird durch die Beobachtung erhärtet, daß eine wiederholte Untersuchung an der gleichen Person oft keine konstanten Resultate erbringt.

Die Kritik bezüglich der Nützlichkeit der Lateralitätsstudien erreicht ihren Höhepunkt in einem sehr sachverständigen und provokativen Buch von Efron (l990). Seiner Theorie zufolge sind die durch Lateralitätsuntersuchungen zutage gebrachten Unterschiede vollständig durch die Art und Weise zu erklären, mit der das Gehirn sensorische Informationen „abtastet". Man stelle sich das folgende Experiment vor: In einer waagerechten Reihe werden für 100 ms sechs Zahlen präsentiert. Jeweils drei Zahlen fallen in jede Gesichtsfeldhälfte, das heißt, die Ziffern l, 2 und 3 in die linke und 4, 5, 6 in die rechte. Die Versuchspersonen sollen nun die Zahlen wiederholen. Die meisten behaupten, die Reihenfolge der Zahlen sei 4, 5, 6, l, 2, 3 gewesen. Es scheint also, daß die Versuchspersonen zunächst den Inhalt der rechten Gesichtsfeldhälfte von links nach rechts abtasten, und dann den der linken. Man beachte, daß dieses Abtasten nichts mit einer Augenbewegung zum Lesen der Zahlen zu tun hat, denn die Zahlen sind nur für l00 ms zu sehen, also viel zu kurz für eine Orientierungbewegung der Augen. Das Abtasten erfolgt also, nachdem der visuelle Stimulus bereits wieder verschwunden ist. Man würde erwarten, daß die Genauigkeit des Abtastens abnimmt, je länger dieser Vorgang dauert, da die Information mit der Zeit schwächer wird. Weitere Experimente haben diese Vermutung bestätigt. Efron (l990) hat zahlreiche Untersuchungen dieser Art durchgeführt und ist zu dem Schluß gekommen, daß das Gehirn zur sequentiellen Abtastung sensorischer Informationen tendiert. Wenn dies zutrifft, muß es notwendigerweise manche Stimuli vor den anderen untersuchen. Wenn tatsächlich eine Tendenz vorliegt, Stimuli in einer Gesichtsfeldhälfte früher zu beachten, so würde dies allein schon zu einer Asymmetrie in den Leistungen der beiden Hemisphären führen, ohne daß daran Unterschiede in der Verarbeitungskapazität der beiden Gehirnhälften beteiligt sein müssen. Natürlich existiert immer eine Variabilität bezüglich der Hälfte, die zuerst abgetastet wird. Aber

dies ist ein anderes Problem, denn Efron (l990) behauptet nicht, daß die beiden Hemisphären funktional und anatomisch identisch seien, sondern vielmehr, daß die offensichtliche Lateralität nicht per se als Erklärung von Asymmetrie-Effekten dienen kann, und daß wir eher kritisch sein müssen, wenn wir von einer „Spezialisierung" der Hemisphären sprechen.

### 2.3.2 Lateralität und die Messung von Performance

Es ist üblich in VHF-Studien, vokale Reaktionen, Genauigkeit oder Reaktionszeiten zu messen. Der Unterschied zwischen den vokalen Reaktionen zur Reaktionszeitmessung ist der, daß bei letzterer manuelle Reaktionen in den Reaktionsprozess der Versuchsperson mit einfließen. Die Messung der Genauigkeit einer Halbfeldreaktion stellt wohl die einfachste aber dafür auch die unschärfste Methode zur Messung von Lateralitätseffekten dar. Die Reaktionszeitmessung hingegen ist sensitiver und eine direktere Erfassung als die Genauigkeitsmessung, erfordert aber mehr Berücksichtigung methodischer Aspekte in der Interpretation, was im Folgenden diskutiert wird. Die überwiegende Anzahl der VHF-Studien gewinnt die Reaktionszeiten aus Aufgaben, in denen die Versuchspersonen zwischen zwei Möglichkeiten unterscheiden müssen. Z.B. ob ein Wort oder ein Non-Wort dargeboten wurde. Young (1982) rät in seinem Kapitel dazu, daß der Apparat zur Erfassung der manuellen Reaktion mittig zur Versuchsperson positioniert sein sollte. Auf diese Art und Weise sollen unerwünschte Seiteneffekte vermieden werden, derart daß die schnellste Reaktion immer auf der Seite erfolgt, auf welcher der Stimulus gezeigt wird. Auch ist die Art der motorischen Reaktion zu beachten. Feinmotorische Reaktionen (wie z.B. unterschiedliche Fingerreaktionen) beanspruchen vergleichsweise mehr kontralaterale cerebrale Kontrolle als einfache Reaktionen (z.B. eine Handbewegung) (Brinkman, 1973).

Gerade in Studien mit Reaktionszeitmessung ist es wichtig, die Fehlervarianz der abhängigen Variable gering zu halten (Schmuller, 1980). Aus diesem Grund haben in vielen VHF-Studien die Versuchspersonen die Möglichkeit, die auszuführende Aufgabe eingehend zu üben. In diesem Zusammenhang ist es sinnvoll, fehlerhafte Antwort-Trials zu eliminieren, aber auch solche mit besonders kurzen oder langen Reaktionszeiten. Allerdings gibt es bis dato keine allgemeingültige Prozedur zur Handhabung des Problems (Young, 1982). Die ideale Ausgangslage zur Auswertung der Reaktionszeiten wäre, daß die Versuchspersonen angeleitet werden, möglichst schnell und genau zu reagieren, d.h. also die Vermeidung von zu langen Reaktionszeiten und zu großen Fehlerquoten. Es sollten auch Deckeneffekte vermieden werden, da dadurch das Auffinden von Halbfeldeffekten erschwert wird. Zu hohe Fehlerquoten sind ebenfalls zu vermeiden, weil oftmals

komplexe kognitive Strategien der Versuchspersonen bei der Bearbeitung der Aufgabe dahinterstehen können, welche nicht mit der experimentellen Induzierung übereinstimmen. Besonders verwirrend ist der Effekt, wenn Stimuli in einem visuellen Halbfeld schneller aber gleichzeitig ungenauer erkannt werden. In einem solchen Fall erscheint eine cerebrale Hemisphäre gleichzeitig schneller aber auch ungenauer bei der Verarbeitung eines lateral dargebotenen Reizes. Im Zusammenhang mit der Reaktionszeitmessung in VHF-Studien sollen hier zwei weitere Probleme genannt werden.

Ersteres basiert auf der Annahme, daß eine schnellere Reaktion aus einer effektiveren und effizienteren Informationsverarbeitung der entsprechenden Hemisphäre resultiert, was aber nicht so sein muß.

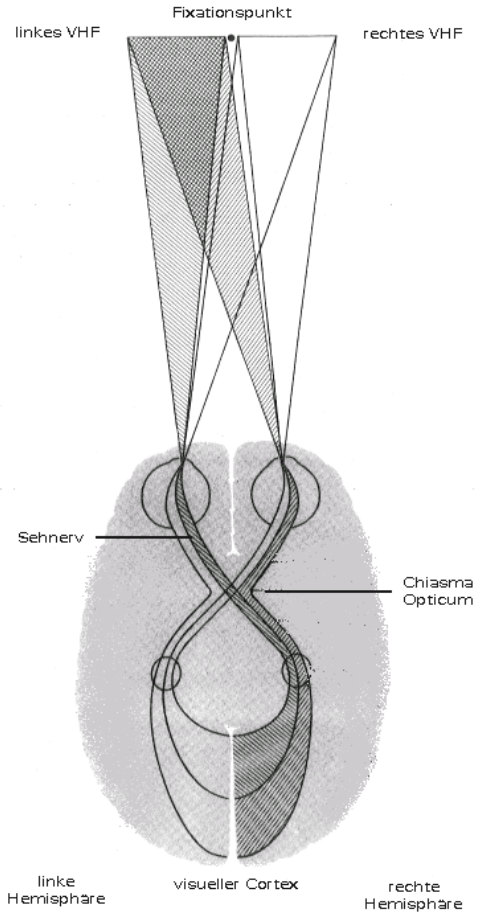
Das zweite Problem ergibt sich aus der Fragestellung, wie man die Interpretation von zwei unterschiedlichen Datensätzen, respektive zwei unterschiedlichen Reaktionsarten, miteinander verbindet. Young (1982) mutmaßt in diesem Zusammenhang, daß beide Probleme den Mangel an fundierten theoretischen Modellen zur Erklärung von kognitiven Prozessen hinsichtlich unterschiedlicher Reaktionszeiten widerspiegeln.

### 2.3.3 Funktionsweise des VHF-Paradigmas

*Die Asymmetrie des visuellen Systems*

Die Organisation des visuellen Systems macht es möglich, jeder Hemisphäre getrennt visuelle Informationen zuzuleiten. Abbildung 2-2 zeigt die Beziehung zwischen beiden Gesichtsfeldhälften und den jeweiligen Projektionen zum visuellen Cortex: Visuelle Reize im linken Gesichtsfeld werden auf den rechten visuellen Cortex abgebildet, Reize im rechten Gesichtsfeld verarbeitet dagegen der linke visuelle Cortex.

**Abb. 2-2: Asymmetrie des visuellen Systems**




Verwendet man zur Stimulusdarbietung ein Tachistoskop, so können visuelle Reize jeder Gesichtsfeldhälfte individuell dargeboten werden. Die Versuchspersonen werden aufgefordert, einen zentral gelegenen Punkt (oder ein zentrales Kreuz) auf dem Bildschirm zu fixieren (s. Abbildung 2-2). Anschließend wird ca. 50 bis 180 ms lang ein Stimulus in eine Gesichtsfeldhälfte projiziert. Die Zeit ist kurz genug, um das Bild zu verarbeiten, bevor sich die Augen vom

Fixationspunkt weg bewegen können. Vergleicht man die Genauigkeit, mit der eine gegebene Information von den beiden visuellen Feldern verarbeitet wird, so kann man daraus ableiten, welche der beiden Hemisphären für die verschiedenen Arten der Informationsverarbeitung am besten geeignet ist. In den frühen fünfziger Jahren verwendeten Mishkin und Forgays zum ersten Mal ein Tachistoskop und konnten damit zeigen, daß gesunde rechtshändige Personen Wörter im rechten Gesichtsfeld genauer wiedererkennen als im linken Gesichtsfeld. Die Forscher glaubten, daß erworbene richtungsspezifische Lesegewohnheiten (von links nach rechts) für diesen Unterschied verantwortlich sind. Die ein Jahrzehnt später durchgeführten Untersuchungen an Split-Brain-Patienten sprechen aber für eine andere Erklärung: Informationen aus nur einer Gesichtsfeldhälfte werden am besten durch jene Hemisphäre verarbeitet, die für solche Informationen spezialisiert ist. Bietet man der linken Hemisphäre Wörter dar, dann werden sie dort rascher verarbeitet als bei der Darbietung für in die „stumme" rechte Hemisphäre. Diese Folgerung war nicht nur deshalb bedeutend, weil sie mit den klinischen Ergebnissen zur Spezialisierung der Cortexhälften in Einklang stand, sondern auch, weil sie nahelegte, daß Differenzen in den kognitiven Verarbeitungsvorgängen der linken und rechten Hemisphäre möglicherweise auf einem grundlegenden Unterschied in den Wahrnehmungsprozessen zwischen beiden Hemisphären beruhen. Die sichersten Belege dafür, daß Untersuchungen mit einem Tachistoskop auch funktionelle Unterschiede im Gehirn messen, bestehen darin, daß die bei tachistoskopischen Untersuchungen festgestellten Asymmetrien weitgehend denen der neurologischen Patienten entsprechen. So werden zum Beispiel bei gesunden Personen Informationen aus dem rechten Gesichtsfeld besser verarbeitet, wenn sie aus Wörtern oder Buchstaben bestehen. Ein Vorteil des linken Gesichtsfelds gilt für Reize, die in der rechten Hemisphäre besser verarbeitet werden, zum Beispiel Gesichter und andere visuell-räumliche Reize.

Die Kontrolle der Fixierung der Mitte durch die Versuchsperson vor der lateralisierten Reizdarbietung ist eine wichtige Prämisse für eine ausgeglichene Stimulation der einzelnen Hemisphäre. Gerade bei einer bilateralen Reizdarbietung kann es vorkommen, daß Versuchspersonen sich kurz vor Reizeinsatz für eine Seite entschließen und diese Lokalität fixieren. Der Informationsfluß der anderen Reizseite wird dadurch benachteiligt. Um den Einfluß dieser Störvariable möglichst gering zu halten, können unterschiedliche Gegenmaßnahmen ergriffen werden. Eine Methode ist die Darbietung eines zentralen Kontrollstimulus, z.B. in Form eines Fixierkreuzes. Die Probanden sollen diesen Reiz (mittig) fixieren und unmittelbar darauf erfolgt die eigentliche Reizdarbietung. Aber auch die Art des Fixierreizes kann Einfluß auf die resultierenden Asymmetrien haben. So zeigten Kershner et al. (1977) im Falle eines geometrisch geformten Fixierstimulus einen nachfolgenden LVHF Vorteil, jedoch im Falle eines Buchstabens oder Zahl als Fixationspunktes einen RVHF Vorteil. Neben diesen Autoren nehmen auch andere an (Hellige,

1976; Mancuso, Lawrence, Hintze, und White, 1979), daß der Typ des Stimulus eine Art Voraktivierung in der jeweils spezialisierten Hemisphäre auslöst und somit die Asymmetrie durch den nachfolgenden Reiz moderiert wird. Doch die Einwände hinsichtlich der Fixationsmethode basieren nicht auf konsistenten Ergebnissen. So konnten Duda und Kirby (1980) und Hines (1979) keine signifikanten Zusammenhänge zwischen dem Typ der Fixation und nachfolgenden Asymmetrien identifizieren.

Grundsätzlich kann man die Typen der VHF-Experimente in zwei Gruppen aufteilen. Einmal solche, welche verhältnismäßig einfache unstrukturierte Stimuli verwenden (z.B. helle Blitze oder einfache Töne) und jene Studien, die kompliziertere Stimuluskombinationen (z.B. Buchstabensequenzen) lateralisiert darbieten. Eine weiterführende Unterteilung wäre einerseits in solche Experimente, in denen Personen aktiv angefordert wurden, die lateral dargebotenen Stimuli zu verarbeiten und andererseits in solche Studien, in denen den Personen Aufgaben gestellt wurden, welche nicht explizit mit den lateral dargebotenen Stimuli assoziiert waren.

VHF-Experimente verwenden in der Regel Darbietungszeiten mit bis zu 180 ms pro visuellem Feld, um zu gewährleisten, daß nur der Zielhemisphäre die entsprechende Information appliziert wird. Obwohl die Kommissuren eine effektive Kommunikation zwischen den Hemisphären gewährleisten, existiert dennoch ein scheinbarer Informationsverlust beim Transfer von einer zu anderen Hemisphäre. Daher können Asymmetrien bei gesunden Personen festgestellt werden, obgleich die visuellen Halbfeld Unterschiede wesentlich geringer ausfallen als bei Kommissur-Patienten. Aufgrund der schwachen Effekte durch tachistoskopische Paradigmen bei gesunden Personen, ist es notwendig, größere Gruppen mit einer Vielzahl von Trials zu testen, um reliable Ergebnisse zu erreichen (Beaumont, 1982).

In einer Vielzahl von VHF-Studien wurde die Verhaltensperformance (Trefferquote und Reaktionszeit) der erzielten Antworten als abhängige Variable erhoben. Folgendes Befundmuster konnte laut Iaccino (1993) dabei konsistent festgestellt werden: Ein RVHF Vorteil bei unilateraler Buchstabendarbietung (Bryden, 1965; 1966; Zurif und Bryden, 1969), Darbietung von Zahlen (Geffen, 1972; Rizzolatti, Umilta, und Berlucchi, 1971), als auch für Wörter (Bradshaw und Gates, 1978, Bradshaw, 1981; Leiber, 1976). Ein LVHF Vorteil für einfache nonverbale Stimuli (Bryden, 1976; Davidoff, 1977; Umilta et al. 1979), Gesichtsphotographien und Cartoon-Strichzeichnungen emotionalen Ausdrucks (Berlucchi, 1974; Hillyard, 1973; Ley und Bryden, 1977, 1979; Suberi und McKeever, 1977). Darüber hinaus konnten signifikant größere LH Vorteile erzielt werden, wenn Buchstaben und Wörter bilateral im Vergleich zur unilateralen Darbietung dargeboten wurden (Hines, 1972; McKeever, 1981), s. auch Kapitel 2.3.4.

### 2.3.4 Bilaterale vs. unilaterale Halbfeld-Darbietung

Die unilaterale Darbietung visueller Stimuli scheint eher inkonsistentere und geringere Asymmetrien zu evozieren als die bilaterale (Boles, 1983). In der nachfolgenden Tabelle 2-3 sind die Ergebnisse einer Metaanalyse aufgeführt, die der Autor hinsichtlich einer Vielzahl unterschiedlicher Experimente, welche sich mit der lateralen Darbietung verbalen Materials beschäftigten, durchführte. Als abhängige Variable zur Berechnung der VHF-Differenzen dienten ausschließlich die Trefferquoten der analysierten Studien.

**Tab. 2-3: Metaanalyse zum bilateralen vs. unilateralen Darbietungsmodus**

| | Bilateral no Digit | Bilateral + Digit | Unilateral + Digit | Unilateral no Digit |
|---|---|---|---|---|
| Mittelwert | 24.9% | 21.9% | 20.5% | 8.6% |
| Stdabw. | 13.1 | 16.2 | 2.4 | 6.8 |
| Anzahl Studien | 9 | 10 | 4 | 12 |

Ergebnis der Metaanalyse (Boles, 1983), Vergleich zwischen Bilateraler und Unilateraler –Darbietungsweise: Mittelwert der absoluten Visuellen-Feld-Differenzen (in % korrekter Antworten, Trefferquote)

Die Ergebnisse der Analyse zeigen deutlich einen größeren Asymmetrie-Effekt durch die bilaterale Darbietungsweise. Interessant ist dabei auch die Tatsache, daß die Anwesenheit eines Digits als Fixierstimulus die Halbfelddifferenz bei beiden Präsentationsmodi noch zu verstärken scheint. Boles (1983) nimmt an, daß die Anwesenheit eines Digits bei unilateralen Darbietungsformen, einen impliziten zweiten Reiz darstellt. Ganz deutlich wird bei der Betrachtung der aufgeführten Resultate, daß der Asymmetrie-Effekt durch die unilaterale Darbietung ohne Digit, am geringsten ausfällt. Dieser Effekt scheint angesichts der Auswertung von 12 unterschiedlichen Studien stabil zu sein.

Die Begründung dafür, warum die bilaterale Darbietungsweise größere Asymmetrie-Effekte erzielt, basiert auf der Annahme, daß beide Hemisphären konkurrierend miteinander inter-agieren. Die konkurrierenden Prozesse führen letztendlich dazu, daß diejenige Hemisphäre sich durchsetzt, welche den erforderlichen Prozeß effizienter ausführen kann. Dabei finden entweder Inhibitionsprozesse zwischen den Hemisphären statt und/oder in Verbindung mit einem Verlust an Informationen in der jeweils benachteiligten Gehirnhälfte (McKeever, 1981; Mackavey, 1975).

Doch bevor man diese Wechselwirkung als eindeutige Erklärung für einen Asymmetrie-Effekt heranziehen kann, sollte man den Einfluß einiger anderer gewichtiger Faktoren beachten, welche mit direkten Hemisphäreneffekten nichts zu tun haben. Zwei dieser Einflußgrößen seien hier erwähnt. Ein erster Einwand wäre, daß die horizontale Darbietung von verbalen Material ohnehin

zu einem RVHF-Vorteil führt, da die wichtigsten Buchstaben zu Wort-indentifikation (die ersten) dieses Feldes (RVHF) näher an dem Fixationspunkt liegen. Doch diese Erklärungsweise würde (1) eine konsistente Asymmetriegröße über alle vier Bedingungen (siehe obige Tabelle) vorhersagen, welche aber nicht gefunden wurde, und (2) keine Asymmetrie für vertikal dargebotene Wörter prognostizieren, was jedoch der Fall ist (Mackavey, 1975; Moore, 1974). Der zweite Einwand basiert auf der Annahme, daß die vorliegenden Asymmetrien auf Maskierungseffekten beruhen. In allen der vier aufgeführten experimentellen Situationen, außer der unilateralen Bedingung ohne Digit, kann eine Maskierung durch die benachbarten Stimuli erfolgen. Diese Maskierung soll ursächlich für die Reduktion der RVHF Überlegenheit sein, indem die ersten Buchstaben des rechts dargebotenen Wortes durch den links angrenzenden Stimulus maskiert und somit schlechter erkennbar werden (Ericksen, 1974; Dolinsky, 1973).

Neben diesen beiden Einwänden gibt es noch eine Reihe weiterer Hypothesen (z.B. die konstante Aufmerksamkeitsstrategie aufgrund einer bestimmten Erwartung; die stärkere Komplexität einer bilateralen Aufgabe; die gesteigerte Motivation zur Lösung einer solch schwierigeren Aufgabe; die Unterbrechung der Orientierung durch mehrere Stimuli; die lesegerichteten Abtasttendenzen), welche man alternativ zur Erklärung der Überlegenheit der RVHF-Darbietung heranziehen könnte. Im folgenden soll auf letztere Hypothesen nicht näher eingegangen werden, da diese Erklärungsansätze in der Asymmetrieforschung eher eine unter-gordnete Bedeutung haben und darüber weitgehend eine inkonsistente Befundlage existiert.

In seinem eigenen Labor untersuchte Boles (1983) unterschiedliche Modi zur Halbfeld-präsentation visueller Stimuli. Er variierte dabei den Fixierstimulus und den Darbietungsmodus. Als Stimuli dienten Wörter bestehend aus vier Buchstaben. Der Fixierstimulus war in einer Bedingung ein Punkt in der anderen eine Zahl. Alles in allem konnte er das Befundmuster aus seiner Metaanalyse bestätigen. Wiederum zeigte sich ein deutlicher RVHF-Vorteil bei der Darbietung verbalen Materials mit dem größten Asymmetrie-Effekt für den bilateralen Darbietungsmodus mit einem Digit als Fixierstimulus. Darüber hinaus resultierte eine Überlegenheit der unilateralen Darbietung mit Digit gegenüber der unilateralen ohne Digit. Letzteres Ergebnis deutet der Autor als Evidenz gegen die Hypothese der ‚gerichteten Lesetendenz'. Die einzelnen Trials wurden in randomisierter Reihenfolge dargeboten, d.h. die Art des Fixierstimulus und die Darbietungsseite konnte von den Probanden nicht vorhergesagt werden. Boles zog deshalb eine Erklärung der gefundenen Asymmetrie-Effekte durch eine ‚gerichtete Aufmerksamkeitsstrategie' nicht in Betracht.

Doch nicht nur die Trefferquote wird durch die Art des Darbietungsmodus beeinträchtigt, sondern auch die Reaktionszeiten. Zwar zeigen eine Reihe von Studien nur einen geringen oder gar keinen Vorteil bei bilateraler Darbietung (Boles, 1990; Hardyck, 1986; Umilta, 1985). Auch Hellige (1988)

spricht von einem verkleinerten Asymmetrie-Effekt durch die bilaterale Halbfelddarbietung. Als mögliche Erklärung nimmt Hellige an, daß eine kontralaterale Aktivierung, welche durch einen lateralisierten Stimulus evoziert wird, gleichzeitig durch eine ipsilaterale Inhibition, welche aufgrund des anderen lateralisierten Stimulus entsteht, wieder reduziert wird. Doch im Gegensatz dazu berichteten Davis (1973) bspw. über signifikant verkürzte Reaktionszeiten bei einer bilateralen Präsentation verbaler Stimuli (je ein Buchstabe in je einem Halbfeld) im Vergleich zur einer unilateralen (ein Buchstabenpaar in einem Halbfeld). Einige Jahre später, versuchten Ludwig (1993) die Ergebnisse von Davis (1973) zu replizieren und mögliche Wirkfaktoren hinsichtlich des Darbietungseffektes zu identifizieren. Die Replikation gelang in allen Belangen und darüber hinaus blieb der bilaterale Darbietungsvorteil sogar robust gegenüber der Variation einer Vielzahl von Darbietungsanordnungen der Buchstaben. Die Autoren interpretieren diesen stabilen Befund gemäß dem Parallelverarbeitungsmodell von Dimond (1972). Ein geteilter Input führt zu einer gleichzeitigen Parallelverarbeitung der Informationen in beiden Hemisphären und somit zu einem Leistungsvorteil gegenüber der einseitigen Verarbeitung. Diese Befunde unterstützen nach Ansicht der Autoren das ‚kooperative Interaktionsmodell hemisphärischer Verarbeitung' (Berger, 1988; Hellige, 1990).

### 2.3.5 Reliabilität von VHF-Studien

Um interindividuelle Vergleiche zwischen Personen durch den Gebrauch von VHF-Paradigmen machen zu können, ist es notwendig, daß die verwendeten experimentellen Prozeduren reliabel sind. Doch bis dato findet die Reliabilität wenig Beachtung in den Studien. So fanden Kolb et al. (1996) eine reliable Performance in Form einer signifikanten Korrelation zwischen LVHF- und RVHF–Treffern über verschiedene experimentelle Blöcke, nur jeweils nach dem zweiten von vier experimentellen Blöcken. Die Autoren führen diese anfängliche Instabilität der Reliabilität darauf zurück, daß die Versuchspersonen während des Experiments ihre Strategie hinsichtlich der zu bearbeitenden Aufgabe wechselten. Allerdings wurde dieser vermeintliche Wechsel der kognitiven Strategie in diesem und wie in zahlreichen anderen Studien auch, nicht kontrolliert. Schon 1977 wiesen Satz et al. darauf hin, daß wenn eine starke a priori Wahrscheinlichkeit bezüglich einer bestimmten Art von cerebraler Organisation existiert, so sollten die zu erwarteten Reliabilitäten sehr hoch ausfallen, bevor valide Aussagen aufgrund eines typischen Musters gemacht werden können.

Beaumont (1982) betont das Problem der fehlenden Reliabilitäten in VHF-Studien und fügt hinzu, daß es oft gar nicht klar ist, was überhaupt gemessen wird. Um es genau zu nehmen, VHF-Studien welche Asymmetrien hinsichtlich der Verarbeitung von Stimuli focussieren, scheinen wenig in Betracht zu ziehen, in wie weit Aufgabenbedingungen, Geübtheit und unterschiedliche kognitive Strategien, aber auch der Unterschied zwischen Spracherzeugung und Sprachwahrnehmung, einen Einfluß auf die Lateralität haben.

# 2.4 Die Lateralität spezifischer Stimuli

## 2.4.1 Lateralität und verbale Stimuli

*RVHF-Vorteil und verbales Material*

Eine Vielzahl von Studien, die auf dem Paradigma der tachistoskopischen Reizdarbietung basieren, fanden weitgehend stabile Befunde für einen konsistenten RVHF Vorteil, wenn verbale Stimuli wie Buchstaben, Wörter oder Konsonant-Vokal Silben vergleichsweise im linken oder rechten VHF dargeboten wurden (MacClone, 1980). Der relative RVHF-Vorteil wurde weitgehend als eine Spezialisierung der kontralateral gelegenen Hemisphäre für die Verarbeitung verbalen Materials interpretiert. So wurden bspw. RVHF Vorteile für abstrakte Substantive, jedoch nicht für konkrete bildhafte Wörter (Day, 1977; Mannhaupt et al., 1983), hingegen für sinnhafte Wörter, jedoch nicht für sinnlose Nicht-Wörter (Leiber, 1976) gefunden. Darüber hinaus resultierte eine schnellere Verarbeitung für Sinnwörter im Gegensatz zu Nicht-Wörtern (Bradshaw, 1977).

Wörter, Buchstaben, Buchstabenfolgen und Sinnwörter werden also im allgemeinen mit einem RVHF-Vorteil in Zusammenhang gebracht. Semantische und linguistische Parameter scheinen keinen eindeutigen Bezug auf diesen Effekt zu haben. Ein RVHF-Vorteil im Zusammenhang mit der Präsentation verbalen Materials wurde sowohl mit horizontaler als auch vertikaler Reizdarbietung erzielt (Boles, 1983).

Ein RVHF-Vorteil konnte auch bei Identifizierungs-, Recognitions- und Nominal- Matching Aufgaben gefunden werden. Bei sogenannten physikalischen Identifikationsaufgaben konnte der RVHF-Vorteil nicht repliziert werden, was durch den veränderten kognitiven Kontext erklärt werden kann. Darüber hinaus stellen sich die Erklärungen der Ergebnisse von lexikalischen und semantischen Aufgaben eher als unklar dar.

Unter der Voraussetzung einer genauen Kontrolle der Augenfixation während der Reizdarbietung sowie der Kontrolle der Reaktionsfolge der Versuchsperson, werden die gleichen Ergebnisse durch eine bilaterale wie durch eine unilateralen Reizdarbietung erzielt. Die gefundenen Stimulus- und Aufgaben- bezogenen Asymmetrien variieren mit einer Vielzahl von Reaktionsarten. Der RVHF-Vorteil ist nicht abhängig von einer vokalen oder rechtshändigen Reaktionsweise. Dennoch scheint die Reaktionsfolge zwischen Handbewegung und vokaler Reaktion einen Einfluß auf die Asymmetrien zu haben.

Gedächtnisprozesse wirken in einigen aber nicht allen VHF-Experimenten mit. Obwohl Gedächtnisprozesse eindeutige Effekte auf Asymmetrien haben, können sie nicht als Hauptursache

der existierenden Asymmetrien betrachtet werden. Bspw. ist die Größe des Stimulus-Sets als relevant aber nicht als elementar bei der Interpretation der Asymmetrie einzuschätzen.

Obwohl typischerweise durch tachistoskopische Experimente ein deutlicher LH Vorteil für Buchstaben und Wörter gezeigt werden konnte, resultierte oftmals ein gegenteiliger Vorteil für die RH. So zum Beispiel, wenn das zu identifizierende Material handschriftlich dargeboten wurde (Brooks. 1973). Falls der Schrifttyp des verbalen Materials komplexer Natur war (z.B. Gothic) resultierte ebenfalls ein RH Vorteil. Beide Effekte basieren wahrscheinlich auf der räumlichen Natur dieser besonderen Stimuli (Bryden und Allard, 1978; Gordon und Carmon, 1976). Der LH Vorteil reduzierte sich ebenfalls bzw. drehte sich sogar zugunsten eines RH Vorteils um, durch die gespiegelte Darstellung von Buchstaben (Bradshaw et al., 1976; Cohen, 1975). In anderer Weise demonstrierten Mannhaupt (1983) eine Aufhebung der LH Überlegenheit für verbales Material, wenn der Inhalt der Wörter bildhafte Assoziationen zuließ.

Doch neben dem Darbietungsmaterial in tachistoskopischen Experimenten hat auch die Wahl der experimentellen Aufgabe einen Einfluß auf die resultierenden Hemisphärenasymmetrien. In einem Experiment von Bradshaw (1983) wurden die Probanden auf zweierlei Art und Weise instruiert, Buchstaben zu bewerten. Zum einen bestand die Aufgabe darin, auf namentliche Gleichheit von Buchstabenpaaren zu achten (‚Aa', ‚AA'). In dieser Aufgabe resultierte LH Vorteil, derart daß diese Paare schneller erkannt wurden, wenn sie im RVHF dargeboten wurden. Doch bestand die Aufgabe darin, die Paare auf physikalische Gleichheit zu prüfen (‚AA', ‚BB'). Hier resultierte ein RH Vorteil, d.h. schnellere Identifikation der LVHF dargebotenen Stimuli. Demnach können Buchstaben sowohl LH als RH Vorteile erzeugen, abhängig davon, ob sie als Buchstaben oder als Formen verarbeitet werden. Andere Kulturen konnten diese Ergebnisse mit ihren spezifischen Kommunikationssystemen replizieren. Japaner bspw. benutzen zwei unterschiedliche Schrifttypen, Kana ist eher lautorientiert und Kanji eher bedeutungsorientiert. Demgemäß ist grafische Komplexität der Kanji-Zeichen detaillierter und räumlicher angeordnet, hingegen besteht der Kana-Zeichensatz aus den Zeichen des westlichen Alphabetes. Japaner zeigen konsistent einen LH Vorteil bei der Darbietung des westähnlichen Zeichensatzes (Kana) und umgekehrt eine schwächeren RH Vorteil bei der Identifikation des räumlich ausgeprägten Kanji-Zeichensatzes (Hatta, 1977; Sasanuma, 1980; Sasanuma, Itoh, Mori, und Kobayashi, 1977). In einem anderen Experiment von (Hellige, 1976) wurden Einzelbuchstaben unilateral und maskiert dargeboten. Die Probanden erkannten mehr Buchstaben aus dem LVHF. Dieser LVHF Vorteil persistierte über kurze Zeitintervalle zwischen dem Buchstaben und der Maskierung, unabhängig davon, welcher Stimulus zuerst erschien. Solche Ergebnisse sprechen dafür, daß die RH leistungsfähiger bei der Extraktion relevanter visueller Merkmale von Buchstaben ist als die LH. Auch wenn die Buchstaben hinsichtlich ihrer visuellen Erfassbarkeit durch die Maskierung qualitativ gemindert sind, und dies,

obwohl Buchstaben an Sprache stark gebunden sind und daher gerne nach verbal-analytischen Gesichtspunkten als verarbeitet betrachtet werden.

Geübtheit ist eine weitere moderierende Variable bei VHF-Studien, welche in immer mehr Studien Beachtung findet. Stimulus- und Aufgaben-bezogene Geübtheit scheint grundlegend für einen RVHF-Vorteil zu sein, die längere Dauer der Ausübung einer bestimmten Aufgabe scheint eher die Asymmetrie zu verringern.

Es gibt eine Vielzahl weiterer relevanter Variablen, welche VHF-Asymmetrien moderieren. So können sich relevante Eigenschaften der räumlichen Wahrnehmung von Stimuli oder Aufgaben in einer Reduktion oder gar in einer Umkehrung des RVHF-Vorteils widerspiegeln. Genauso sollten eine Fülle von Personenvariablen als mögliche Moderatorvariablen in die Interpretation von Asymmetrien mit einbezogen werden.

Der Einfluß unterschiedlicher Moderatorvariablen kann während der Verarbeitung verbalen Materials den RVHF verkleinern oder sogar umkehren. So z.B. können situations-spezifisches Arousal (Newman, 1990) oder präattentive Prozesse (Bradshaw, 1979) Aufmerksamkeitsresourcen beanspruchen und somit einen Shift des relativen Aktivierungsübergewicht zur rechten Hemisphäre bedingen. Bspw. in einer Untersuchung von Gruzelier (1991) erzielten die Probanden wie erwartet, einen RVHF Vorteil (9 ms schneller, 4 Wochen vor einer Examensprüfung) in einer Konsonant-Vokal Unterscheidungsaufgabe. Doch als dieselben Personen zwei Tage vor der Prüfung an demselben Experiment teilnahmen, resultierte umgekehrt ein LVHF Vorteil (6 ms schneller). Das größte Problem bei der Interpretation der Ergebnisse von verbalen VHF-Studien ist eine inkonsistente Definition von „verbal" auf Stimulus- und Aufgaben- Ebene. Diese unklare Definition, vermischt mit einigen anderen methodische Unklarheiten (s.o.), muß zuerst beseitigt werden, bevor valide Schlußfolgerungen bezüglich der cerebralen Organisation von VHF-Asymmetrien in Zusammenhang mit verbalem Stimulusmaterial gemacht werden können.

Im Mittelpunkt dieser Arbeit steht die Lateralisation und Lokalisation von spezifischen sprachverarbeitender Funktionen im cerebralen Cortex. Ein Großteil der Erkenntnisse hinsichtlich der cerebralen Asymmetrie haben Untersuchungen an Patienten mit neurologischen Schädigungen ergeben, insbesondere solcher mit lateralisierten Läsionen oder solchen mit einer Kommissurotomie (Durchtrennung aller Nervenfasern des Corpus Callosum, Untersuchungen mit getrennten Cortexhälften werden auch als Split-Brain Experimente bezeichnet). Allerdings machen die Split-Brain Experimente nur einen geringen Anteil an den Lateralitätsuntersuchungen hinsichtlich der Gesamtpopulation aus. Zu gering ist die Zahl der untersuchten Patentienten, um von den Ergebnissen auf die Population valide schließen zu können. Verallgemeinerungen müssen deshalb mit Vorsicht aufgenommen werden.

Die älteste Methode zur Analyse einer Hemisphärenspezialisierung besteht darin, die Auswirkungen unilateraler Läsionen zu untersuchen, um daraus die Funktionen des betroffenen Areals abzuleiten. Nach Teuber (1955) stellt die doppelte Dissoziation die wirkungsvollste Methode zum Nachweis von lateralisierten Funktionen dar. Folgende Logik liegt dieser Analyse zugrunde: Läsionen der linken Hemisphäre rechtshändiger Patienten führen zu Sprachstörungen, welche bei Beeinträchtigung der rechten Hemisphäre nicht auftauchen. Als wesentliche Schlußfolgerung könnte gezogen werden, daß die Funktionen beider Hemisphären getrennt sind. Ein Vergleich zweier Patienten verdeutlicht die doppelte Dissoziation: Ein Patient, dem der linke Temporallappen entfernt worden war, weist nur bei Sprachtests eine Beeinträchtigung auf, wogegen der Patient mit der rechtstemporalen Lobektomie (operative Entfernung eines Hirnlappens) nur bei nichtverbalen Tests schlechter abschnitt. Aber die Leistungen beider Patienten waren bei vielen anderen Aufgaben normal (Kolb, 1996). Als eine weitere Methode zur Untersuchung von lateralisierten Funktionen des Gehirns entwickelte in den frühen dreißiger Jahren Penfield et al. die Reizung der Großhirnrinde. An dem wachen, jeweils nur lokal betäubten Patienten, werden an dem offenliegenden Cortex bestimmte Hirnregionen stimuliert und die Reaktionen des Patienten registriert. In diesem Zusammenhang haben Ojemann (1983) und seine Mitarbeiter in ihren Experimenten konkrete Hinweise auf cerebrale Asymmetrien erbracht. Auch diese Untersuchungsmethode durch invasive Mittel, ließ deutlich eine linkshemisphärische Dominanz für sprachliche Funktionen erkennen. Darüber hinaus zeigen die Befunde, daß eine Reizung des linken frontalen oder temporalen Cortexareals die Sprachproduktion beschleunigt. Die Unterbrechung der Sprache gehört zu den bekannten Folgen einer Reizung der linken Hemisphäre, aber erst vor kurzem konnte gezeigt werden, daß auch eine Reizung der rechten Hemisphäre bestimmte Verhaltensformen unterbricht. Ojemann (1983) berichtet, daß u.a. der Gesichtsausdruck einer anderen Person nicht mehr richtig erkannt wird und auch das Kurzzeitgedächtnis für Gesichter ausfällt. Alle diese Effekte resultieren fast ausschließlich aus Reizungen des tempoparietalen Cortex und entsprechen damit den visuell-räumlichen Funktionen, die man diesem Cortexteil zuschreibt.

Die Natrium-Amobarbital-Injektion in die Halsschlagader führt zu einer kurzzeitigen Anästhesie der ipsilateral zur gewählten Halsaterie gelegenen Hemisphäre. Die Anästhesie dauert einige Minuten und betrifft nur eine Hemisphäre. Dem Probanten wird bei vollem Bewußtsein die Injektion in nur eine Hemisphäre appliziert und innerhalb weniger Sekunden sind deutliche Veränderungen des Verhaltens zu erkennen. Die kontralateral zur Injektionsseite gelegenen Extremitäten sind gelähmt. Dennoch bietet dieser Zustand Gelegenheit dazu, eine Reihe von kognitiven Tests durchzuführen. Ist die injizierte Hemisphäre für Sprache nicht dominant, so führt die Person die verbale Aufgabe weiter durch, während die Halbseitenlähmung anhält. Trifft die

Injektion hingegen die sprachdominante Hemisphäre, so verstummt die Person und bleibt solange aphasisch, bis die Hemiparese abklingt. Auch diese Untersuchungsmethode zeigt deutlich einen Zusammenhang zwischen der linken Hemisphäre und den Sprachfunktionen. In einer Untersuchung von Rasmussen (1977) an einer Patientengruppe von 262 Personen resultierte aus der Hemisphärenanästhesie ein starkes Übergewicht zugunsten einer Sprachre-präsentation in der linken Hemisphäre (96% der rechtshändigen und 70% der linkshändigen Personen). Dennoch waren bei 4% der untersuchten Rechtshänder die Sprachfunktionen in der rechten Hemisphäre lokalisiert. Offensichtlich gibt es neben dem Hemisphäreneffekt der Sprachfunktionen noch einen Zusammenhang zwischen Handpräferenz und der Lateralität von Sprache. Doch die Beziehung zwischen der Händigkeit und Sprachlateralität ist allerdings nicht Gegenstand dieser Arbeit und wird an dieser Stelle nicht weiter vertieft.

In den in dieser Arbeit aufgeführten Experimenten werden ausschließlich rechtshändige Pobanden untersucht. Die Methode der Anästhesie der Hemisphären brachte hingegen keinen Aufschluß über den Zusammenhang einer möglichen cerebralen Asymmetrie mit der Gesichtererkennung. Die mittels anderer Methoden gefundenen Evidenzen bezüglich eines Zusammenhangs der rechten Hemisphäre und der Erkennung von Gesichtern konnte hiermit nicht repliziert werden, was nicht weiter verwundert, da diese Methode u.a. zu einer Einschränkung des Sehvermögens führt, insbesondere in dem kontralateral zur Injektion gelegenen Gesichtsfeld.

Läsionen der linken Hemisphäre bei rechtshändigen Patienten führen zu Sprachstörungen, welche nach Beeinträchtigung der rechten Hemisphäre nicht auftreten. Evidenzen dafür kommen von Untersuchungen an Split-Brain Patienten: Immer dann, wenn die linke Hemisphäre Zugang zu Informationen hat, ist sie initial bei der Auslösung von Sprechvorgängen. Dies verdeutlichen Untersuchungen an Split-Brain Patienten mit der Darbietung von Objekten in einem visuellen Halbfeld. Die Patienten wurden aufgefordert, das bildhaft dargestellte Objekt namentlich zu nennen. Die Benennung von rechtslateral dargebotenen Gegenständen verlief ohne Probleme, hingegen die der von linkslateral gezeigten Objekten war nicht möglich. Diese Störung zeigte sich am deutlichsten, wenn die Patienten aufgefordert wurden, mit der linken Hand den zu benennenden Gegenstand zu ertasten. Auch durch eine linksseitig sensorische Wahrnehmung und damit rechtshemisphärische Stimulation war eine Benennung des Gegenstands nicht möglich (Springer und Deutsch, 1995). In den Untersuchungen von Ojemann (1983) und seinen Mitarbeitern resultierte durch konkrete Stimulationen bestimmter Cortexareale an der linken Hemisphäre eine Blockade der Sprachfähigkeit, bei Reizung der rechten Hemisphäre wurde die Sprachfähigkeit des Probanden nur selten beeinträchtigt.

*Die Wada-Technik: Sprache*

Die Wada-Technik entspricht der invasiven Möglichkeit, mittels einer chemischen Substanz (Natriumamytal = Pharmakon, dämpft die Aktivität des Nervensystems) herauszufinden, welche Gehirnhälfte die maßgebliche verbale Seite einer Person ist. Wird es in die innere Kopfschlagader einer Seite des Kopfes injiziert, gelangt es zu den vorderen und hinteren Hirnteilen einer Hemisphäre, wo die Aktivität der Gehirnhälfte vorübergehend ausgeschaltet wird. Wird die Droge auf der verbalen Seite injiziert, verliert die Person vorübergehend die Fähigkeit zu sprechen oder Sprache zu verstehen. Bei den meisten Menschen beeinträchtigen linksseitige Läsionen (Lobektomie) das verbale Gedächtnis, während sich rechtsseitige Läsionen auf das räumliche Gedächtnis auswirken. Auch wenn es sehr viele deutliche Nachweise für die Lateralisation der einzelnen kognitiven Leistungen gibt, sollten wir uns davor hüten, diese Lokasition zu generalisieren. Untersuchungen mit dem Wada-Test haben gezeigt, daß, wenn die Injektion mit Natriumamytal auf der Seite der Läsion erfolgt, das Erkennen von verbalem und nichtverbalem Material relativ unverändert ist und daß sich wesentliche Auswirkungen nur zeigen, wenn die Injektion auf der zur Läsion entgegengesetzten Seite erfolgt (Milner, 1975).

Hintere Bereiche des Parietallappens spielen besonders bei den Sprachfunktionen eine wichtige Rolle. Besonders der linke Parietallappen bei Rechtshändern ist mit Aspekten der Rezeption der gesprochenen Sprache und mit dem Lesen befaßt.

### 2.4.2 Lateralität und Gesichter-Erkennung

Die Gesichter-Erkennung spielt für den Menschen eine wichtige Rolle, da Gesichter eine Fülle sozialer und affektiver Informationen in der zwischenmenschlichen Interaktion vermitteln. Verschiedene Autoren vertraten die Annahme, daß ein spezifischer Analyseprozeß für Gesichter existieren muß, der analog zu der Wortanalysefähigkeit der linken Hemisphäre abläuft. Wenn das visuelle System mit Wörtern stimuliert wird, wird ein komplexer Verarbeitungsprozeß im tertiären visuellen Cortex der linken Hemisphäre ausgelöst, welcher das Wortverstehen ermöglicht. Im Gegensatz zur linken Hemisphäre soll die rechte Hemisphäre nach Teuber (1955) in der Gesichter-Erkennung eine dominante Rolle spielen. Ähnlich wie bei der Worterkennung soll bei der Identifikation von Gesichtern ein spezieller Verarbeitungsprozeß in Gang gesetzt werden. Empirische Evidenzen für diese Hypothese liefern bspw. die Untersuchungen von Yin (1995). Gerade die Wahrnehmung von Gesichtern hängt vom Blickwinkel abhängt. In Yins Untersuchungen zeigte sich eine auffällige Beeinträchtigung des Gedächtnisses für Gesichter bei Patienten mit posterioren Läsionen in der rechten Hemisphäre. Allerdings verringerte sich die Gedächtnisbeeinträchtigung, sobald die Fotografien auf den Kopf gestellt oder statt dessen andere komplexe visuelle Reize abgebildet wurden. Er folgerte daraus, daß Bilder von Gesichtern, wenn sie in normaler senkrechter Lage dargeboten werden, durch einen spezifischen Mechanismus in der rechten Hemisphäre verarbeitet werden – analog zu der spezifischen Verarbeitung verbalen Materials in der linken Hemisphäre. Dieser spezifische Verarbeitungsmechanismus soll nicht bei Vorlage von ‚verkehrten' Gesichtern in Kraft treten, so daß Patienten mit rechtshemisphärischen Läsionen diese Stimuli besser erkennen. Als spezifische Lokalisation einer rechtshemisphärischen Präferenz zur Gesichter-Erkennung assoziiert man den tertiären Assoziations-Cortex im rechten Parietallappen. Gegen diese Annahme spricht die Tatsache, daß bei Affen keinerlei Hinweise bezüglich einer Asymmetrie im temporalen Cortex vorliegen, was aber nicht auf den Menschen übertragbar sein muß. Bis dato gibt es grundlegende Zweifel an der Hypothese Teubers. Ungewiß bleibt, warum dieser Mechanismus nur auf Gesichter anspricht. In diesem Zusammenhang zeigen die Befunde von Diamond (1986), daß bei Hundeexperten dasselbe Phänomen der reduzierten Gesichter-Erkennung bei verdrehten Vorlagen von Hundegesichtern auftrat. Die Tatsache, daß Kinder Gesichter nicht besonders gut unterscheiden und durch auf dem Kopf stehende Bilder wenig beeindruckt werden, scheint die Annahme Teubers zusätzlich zu relativieren. Trotz der widersprüchlichen Befundlage zieht Kolb (1996) den Schluß, daß Gesichter durch die rechte Hemisphäre in besonderer Art und Weise verarbeitet werden. In einer Untersuchung von Kolb (1983) wurden Fotografien aus der linken oder rechten Gesichtshälfte des ursprünglichen Gesichts zusammengesetzt. Den Versuchspersonen wurde das Original vorgelegt und es wurde gefragt,

welches neu zusammengesetzte Bild dem Original am ähnlichsten sei. Fragte man gesunde Versuchspersonen nach der Ähnlichkeit mit dem Originalfoto, so wählten sie das aus den linken Gesichtshälften montierte Gesicht, und zwar unabhängig davon, ob das Bild normal oder auf dem Kopf steht. Patienten mit rechtstemporalen oder rechtsparietalen Läsionen können weder das rechte noch das linke zusammengesetzte Bild mit dem Originalgesicht in Verbindung bringen, und zwar unabhängig davon, ob die Bilder normal oder auf dem Kopf stehend dargeboten werden. Trotzdem warnt der Autoren davor, diesen Effekt ausschließlich auf die Gesichter-Erkennung zu beziehen. Eine Alternativerklärung der zuvor genannten Ergebnisse wäre bspw., daß man der posterioren rechten Hemisphäre eher eine allgemeine Spezialisierung für die Verarbeitung komplexer visueller Reize zuschreibt. So könnte man die Einschränkung der Wahrnehmung von Gesichtern bei Patienten mit Läsionen des rechten posterioren Cortex damit begründen, daß Gesichter besonders komplex sind und die Einzigartigkeit menschlicher Gesichter erst auf kleinste Unterschiede zurückzuführen sind. Unter diesem Aspekt könnte ein Defizit bei der Gesichter-Erkennung im wesentlichen mit einer Störungen der Identifizierung charakteristischer Merkmale erklärt werden. Kolb (1983) beschreibt noch ein anderes interessantes Phänomen aus seiner Untersuchung. Die meisten Rechtshänder bevorzugten hauptsächlich das linke Gesichtsfeld bzw. dasjenige Foto, welches sich aus den linken Gesichtshälften zusammensetzt. Diesen Vorgang nimmt der Autor als Begründung dafür, daß die rechtshändigen Versuchspersonen hauptsächlich das linkslaterale Gesichtsfeld bevorzugen. Interessanterweise wählen die Versuchspersonen das aus den rechten Gesichtsfeldern zusammengesetzte Gesicht gerade dann, wenn die Abbildung von ihnen selber stammt. Begründung des Autors war, das Bild von sich selbst kennt man nur als spiegelbildlich, daher fällt unsere selektive Wahrnehmung eher auf das eigene rechte Gesichtsfeld. Auch in umgekehrter Richtung konnten die typischen Annahmen bezüglich einer RH Dominanz für die Verarbeitung nonverbalen Materials relativiert werden. Einige Studien berichten über LH Vorteile (anstatt typischerweise RH Vorteil) hinsichtlich der Verarbeitung nonverbaler Stimulustypen (Marzi und Berlucchi, 1977; Marzi, Brizzolara, Rizzolatti. Umilta und Berlucchi, 1974). Ein Erklärungsansatz für diesen Shift ist die Annahme, daß die LH mit wachsender Übung, geringeren Grad an Neuigkeit der Stimuli, eigene Kompetenzen bei Verarbeitung räumlich visueller Reize erwerben kann (Umilta, Brizzolara, Tabossi, und Fairwether, 1978). Einen weiteren (unerwarteten) LH Vorteil bei der Verarbeitung nonverbalen Materials kann man erreichen, in dem man Gesichter vergleichen läßt, welche sich lediglich in einem diskriminanten Merkmal unterscheiden lassen (Patterson und Bradshaw, 1975). Die Klassifikation von Gesichtern nach ihrem Geschlecht ruft einen Effekt in gleicher Richtung hervor (Jones. 1979). Ein Erklärungsansatz für die letzteren Ergebnisse mag sein, daß die LH besser in der Kategorisierung (nonverbaler und verbaler) von dargebotenen Stimuli ist, ähnlich wie ihrer Fähigkeit, Objektdetails zu identifizieren

– im Gegensatz zur RH, welche hinsichtlich der holistischen Verarbeitungsweise überlegen sein soll. Bei der Gesichterwahrnehmung spielt auch die visuelle Vorstellung von Bildern eine wichtige Rolle. Untersuchungen der kortikalen Aktivität (EEG und EKP) sowie PET-Studien bestätigen die allgemeine Hypothese, daß Vorstellungen teilweise an denselben Stellen des Cortex repräsentiert sind wie visuelle Wahrnehmungen (Kolb, 1996). Darüber hinaus gibt es empirische Evidenzen für eine Trennung visueller Wahrnehmungsareale von visuellen Vorstellungsbereichen im Cortex (Behrmann, 1992). Dennoch postuliert Kolb (1996), daß es eher unwahrscheinlich ist, daß die neuralen Strukturen, die Wahrnehmung und Vorstellung von Objekten vermitteln, vollkommen unabhängig voneinander sind. Zusammenfassend betrachtet, deutet vieles darauf hin, daß bei der Wahrnehmung von Gesichtern als auch Wörtern, klar voneinander abgrenzbare Subsysteme für die verschiedenen Funktionen existieren. Besonders die occipitalen Regionen, eben gerade diejenigen an der Grenze zum Temporallappen, scheinen funtkionell und topografisch asymmetrisch zu sein. So scheint es vor allem eine gewisse Spezialisierung für die Erkennung von Wörtern in der linken und analog von Gesichtern in der rechten Hemisphäre zu geben (Kolb, 1996). In Experimenten wird die cerebrale Lateralität für die Verarbeitung von visuellen Stimuli in der Regel durch tachistoskopisch lateral dargebotene Stimuli operationalisiert. Die Darbietung erfolgt über das linke und/oder rechte visuelle Halbfeld. Spezifisch für emotionale Stimuli wird typischerweise ein RH (LVHF) Vorteil (i.e.S höhere Trefferquoten und Reaktionszeiten in den Verhaltensdaten) gefunden. So konnte bspw. ein LVHF Vorteil durch die Darbietung von emotionalen Gesichtern in den Experimenten von Hugdahl (1989) und Gerhards (1997) demonstriert werden. Dieser LVHF Vorteil wird als Indikator für eine RH-Dominanz bei der Involvierung emotionaler Reaktionen betrachtet (Borod, 1992). Im gleichen Maße kann man diesen Effekt aber auch als einen RH-Vorteil bei der Verarbeitung von (emotionalen) Gesichtern interpretieren. Der RH-Vorteil steigt an, wenn die lateral dargebotenen Gesichter einen emotionalen Ausdruck haben. Bei einem lediglich neutralen Gesichtsausdruck besteht allerdings auch ein Übergewicht der LH, siehe Befunde von (Suberi, 1977; McKeever, 1981). In einem anderen Experiment von Young (1985) wurde nicht die Emotionalität als möglicher Hauptfaktor hinsichtlich des RH-Vorteils bei der Gesichter-Erkennung untersucht, sondern die strukturellen Eigenschaften eines Gesichtes. In dieser Untersuchung gingen die Autoren der Frage nach, ob Aspekte in der strukturellen Konstruktion eines Gesichtes den entscheidenden Asymmetrie-Effekt bedingen. In drei unterschiedlichen experimentellen Bedingungen wurden Abbildungen von normalen, stark/leicht beschädigten Gesichtern und Strichzeichnungen dargeboten. Die Ergebnisse zeigten einen RH-Vorteil bei der lateralisisierten Darbietung von gesunden und leicht beschädigten Gesichtern. Allerdings verschwand der RH-Vorteil, sobald normale und stark unkenntliche Gesichter sowie Strichzeichnungen präsentiert wurden. Die Autoren schlußfolgerten, daß zwar beide Hemisphären die Fähigkeit besitzen,

Gesichter zu verarbeiten, doch daß die RH relativ bessere Fähigkeiten in der strukturellen Konstruktion von Gesichtsrepräsentationen aufweist. Eine Vielzahl experimenteller Befunde läßt vermuten, daß das Lösen von räumlichen Aufgaben, das Singen und das Spielen von Instrumenten durch Läsionen der rechten Hemisphäre eher beeinträchtigt werden. Die besonderen Fähigkeiten der rechten Hemisphäre bei der Gesichter-Erkennung lassen sich auch bei Split-Brain Patienten nachweisen. Die Erkenntnisse basieren auf den Untersuchungen von Levy (1972) anhand eines Tests mit Gesichtsschimären. Die dargebotenen Gesichter bestanden aus entlang der Längsachse zusammengesetzten Gesichtshälften unterschiedlicher Personen. Die Präsentation der zusammengesetzten Fotografien erfolgte durch die visuelle Halbfeldtechnik. Dadurch wurde die linke Gesichtshälfte in die rechte Hemisphäre projiziert und die rechte Gesichtshälfte in die linke (zur Technik der visuellen Halbfelddarbietung s. Kapitel 2.3 ff.). Wenn die Testgesichter jeweils hälftig den beiden Hemisphären präsentiert wurden, so war die Ungleichheit zwischen den Bildhälften den Patienten nicht bewußt. Auf die Aufforderung, das gerade gesehene Bild herauszusuchen, wählten die Split-Brain Patienten das Gesicht, welches in ihrer linken Gesichtsfeldhälfte, also in der rechten Hemisphäre, repräsentiert war. Dieser Befund untermauert die Annahme, daß die rechte Hemisphäre bei der Gesichter-Erkennung eine wichtige Rolle spielt.

### 2.4.3 Lateralität und Emotionen

*Hemisphären-Spezialisierung bei der Wahrnehmung von emotionalen Gesichtern und emotional gefärbten Wörtern*

*Inter- und intrahemisphärische Spezialisierung*

Das Konzept der interhemisphärischen Spezialisierung akzentuiert, daß spezifische Funktionen unterschiedlich in beiden Hemisphären repräsentiert sind und daß beide Hemisphären unterschiedlich bei einer Beschädigung in ihren Funktionen beeinträchtigt werden. Traditioneller Weise wird angenommen, daß die linke Hemisphäre aufgrund ihrer spezifischen Strategien (analytisch, linear, seriell, detailliert, temporär) hauptsächlich im abstrakten, logischen, sequentiellen Denken und somit dominant in verbalen/linguistischen Funktionen und komplexen numerischen Aufgaben ist. Hingegen wird der rechten Hemisphäre aufgrund ihrer spezifischen Strategien (simultan, holistisch, räumlich) eine Dominanz hauptsächlich in nonverbalen, räumlichen. Aufmerksamkeits- und melodischen Funktionen zugesprochen. Von einer intrahemisphärischen Spezialisierung wird gesprochen, wenn die strukturellen Verarbeitungsunterschiede innerhalb einer Hemisphäre liegen. Traditionell wird hier zwischen den anterioren und posterioren Regionen unterschieden.

Insgesamt ist der wissenschaftliche Konsens über die Hemisphärenasymmetrien der Emotionen weit aus größer als der der kognitiven Funktionen (Pizzagalli, 1998).

*Funktionelle Asymmetrie: Rechte Hemisphären Hypothese versus Valenz Hypothese*

Im Wesentlichen haben sich zwei Hypothesen hinsichtlich der Hemisphärenspezialisierung der Emotionen etabliert::

1) Die Rechte Hemisphären Hypothese (RHH): Die rechte Hemisphäre (RH) ist dominant für den emotionalen Ausdruck und der emotionalen Wahrnehmung, unabhängig von der Valenz der wahrgenommen Emotion.

2) Die Valenz Hypothese (VH): Die rechte Hemisphäre ist dominant für negative und die linke Hemisphäre dominant für positive Emotionen. Darüber hinaus wird die VH in zwei Subhypothesen unterteilt:
   - a) Die VH gilt sowohl für die emotionale Wahrnehmung als auch für den eigenen Ausdruck von Emotionen.

- b) Die VH gilt sowohl für die emotionale Wahrnehmung als auch für den Ausdruck, wobei die RH dominant für die Wahrnehmung von Emotionen ist, unabhängig von der Valenz.

*Die Rechte Hemisphären Hypothese (RHH)*

Eine Vielzahl von Untersuchungen unterstützt die Annahme, daß die RH dominant für den Ausdruck und die Wahrnehmung von Emotionen sei, unabhängig von der Valenz der subjektiv erlebten Emotion (Bryden, 1983). Doch wie sehen die Evidenzen für diese Annahme aus? Auf den ersten Blick sind in emotionalen Prozesse bestimmte kognitive Strategien (nonverbale, integrative, holistische) und Funktionen (Musterwahrnehmung, visuell räumliche Wahrnehmung, Vortsellungsvermögen) involviert, welche als typisch für die RH interpretiert werden. Zweitens ist die RH auf anatomischer Ebene stärker mit solchen subkortikalen Strukturen verbunden, welche verantwortlich für Arousal und Intention sind. Ein drittes Argument basiert auf der Befundlage, daß die LH mehr in Aktivierungs- und fokalen Aufmerksamkeitsprozessen involviert sei, hingegen die RH mehr an Arousal- und Habituationspozessen beteiligt sei (Tucker, 1984). Hinsichtlich der spezifischen kognitiven Prozesseigenschaften soll die RH mehr zu einer nonverbalen (emotionalen) und die LH mehr zu einer verbalen (kognitiv linguistischen) Verarbeitung neigen.

*Die Valenz-Hypothese (VH)*

Die Kernaussage der VH postuliert, daß die RH für negative und die LH jeweils für negative und positive Emotionen spezialisiert ist, unabhängig von dem kognitiven Verarbeitungsmodus (Silberman, 1986). Andere Autoren (Davidson, 1984; Hirschman, 1982) nehmen an, daß eine unterschiedliche Spezialisierung der Hemisphären ursächlich für die subjektive Wahrnehmung und Ausdruck der Valenz einer Emotion ist (Die Autoren behaupten, daß die spezifische Wahrnehmung der Emotionen, unabhängig vom Emotionstyp, in den rechten posterioren Regionen des Gehirns lokalisiert sei.). Eine plausible Annahme unterstützt diese Sichtweise. Davidson (1984) und Kinsbourne (1978) interpretieren den Grad der Angenehmheit eines Reizes als zentral in Bezug auf die Involviertheit der Hemisphären bei Emotionen: Rückzugstendenzen sind nach ihrer Ansicht eher mit der RH assoziiert wobei Annäherungsverhalten eher mit der LH in Verbindung gebracht werden kann.

*Die Wahrnehmung von emotionalen Gesichtern bei gesunden Personen*

Eine große Anzahl von Studien untersuchte die Unterscheidungs und Identifikations-Kapazitäten der beiden Hemisphären mittels tachistoskopischer Paradigmen, wobei meist als abhängige Variablen die Treffgenauigkeit und die Verarbeitungsgeschwindigkeit erhoben wurden. Fasst man die Befundlage zusammen, so zeigt sich generell ein LVHF-Vorteil bei der Betrachtung emotionaler Gesichter anhand von Fotografien, Comics und Strichzeichnungen (Bryden, 1983; Erdmann, 1990; Landis, 1979; Strauss, 1981; Suberi, 1977). Doch wenn man eine allgemeingültige RH-Dominanz für die Wahrnehmung von emotionalen Gesichtern postuliert, sollte in diesem Zusammenhang aufgezeigt werden, daß links visuelle Feldvorteile (LVHF) eher unabhängig vom gängigen rechtshemisphärischen Vorteil für Gesichter-Erkennung und räumlicher Wahrnehmung sind (Sergent, 1995).

Tatsächlich lassen sich bestimmte Fälle der Prosopagnosie (Unfähigkeit Gesichter zu erkennen) in Verbindung mit einer cerebralen Läsion auf die RH beschränken (Landis, 1986), was den starken Einfluß der RH in der Gesichter-Erkennung betont. Doch leider berücksichtigen nur wenige Studien diesen Aspekt. Üblicherweise wird in den meisten Untersuchungen keine Unterscheidung zwischen emotionaler Wahrnehmung und Figur/Form/Gestalt-Wahrnehmung eines Gesichtes gemacht. Darüber hinaus ist die Integration letzterer Befunde aufgrund von widersprüchlichen Ergebnissen erschwert. Beispielsweise demonstrierte eine Untersuchungen von Suberi (1977) eine größere RH Dominanz für hoch emotionale Stimuli und eine andere Studie von Erdmann (1990) wiederum für neutrale Reize. Andererseits spiegeln mehrere Experimente (Natale, 1983; Reuter-Lorenz, 1981; Reuter-Lorenz, 1983) Evidenzen für die unterschiedliche Hemisphärenverarbeitung von positiven und negativen emotionalen Gesichtsausdrücken wider. Ein rechts visueller Feldvorteil und gleichsam ein links visueller Feldvorteil wurde während der Verarbeitung von positiven und negativen emotionalen Gesichtern entdeckt.

Obgleich diese unterschiedlichen Befunde in direkter Weise die Valenzhypothese bestätigen, können dennoch die Ergebnisse alternativ durch unterschiedliche kognitive Stile und Strategien erklärt werden – und somit die RH Hypothese nicht eindeutig widerlegt wird. So könnte bspw. ein leicht geöffneter lachender Mund effizienter durch eine analytische Prozedur der linken Hemisphäre verarbeitet werden und ein trauriger Gesichtsausdruck könnte besser und schneller durch eine holistische und synthetische Verarbeitungsstrategie der RH erkannt werden.

*Die Wahrnehmung von emotionalen Wörtern bei gesunden Personen*

In einer Vielzahl von tachistoskopischen Experimenten wurde die Genauigkeit und die Geschwindigkeit der Verarbeitung von emotionalen und neutralen Wörtern untersucht, um die

Frage zu klären, ob die RH generell dominant für Emotionen oder nur hinsichtlich non-emotionalen Materials ist. Im Allgemeinen identifizierten die Versuchspersonen mehr Buchstaben/Wörter korrekt im rechts visuell dargebotenen Halbfeld als im linken Halbfeld. Außerdem resultiert in einer Vielzahl von Untersuchungen konsistent ein Haupteffekt für Emotion derart, daß emotionale Wörter häufiger erkannt werden als neutrale (Valenzeffekt), unabhängig von der verarbeitenden Hemisphäre. Graves, Landis und Goodglas (1981) zeigten, daß Männer emotionale Wörter genauer verarbeiten als neutrale wenn die Wörter in dem linken visuellen Halbfeld dargeboten wurden. Für die rechts visuelle Halbfelddarbietung resultierten keine Unterschiede in der Valenz der Reize. Van Strien und Heijt (1995) demonstrierten eine selektive Steigerung der links visuellen Halbfeld Leistung durch eine konkurrierende Darbietung von Wörtern mit bedrohlicher Bedeutung. Die zwei folgenden Studien (Strauss, 1983; Eviatar, 1991) zeigten keine signifikanten Unterschiede in der Leistung von der RH und der LH bei der Darbietung von emotionalen Wörtern.

Zusammengefaßt betrachtet, kann man keine allgemein gültige Schlußfolgerung derart ziehen, daß die RH dominant für die Verarbeitung emotionaler Reize und damit eine RH-Leistungssteigerung durch die Darbietung von emotionalen Wörtern zu erzielen sei. Andererseits scheint der emotionale Gehalt eines Wortes die Verarbeitung des verbalen Materials für beide Hemisphären zu verbessern.

*Schlußfolgerung und Integration der Befunde*

Die Rezension von Borod (1992) zeigt deutliche Evidenzen dafür auf, daß die rechte Hemisphäre dominant für die emotionale Wahrnehmung ist, was für den gesichterlichen als auch den prosodischen Verarbeitungskanal gilt, unabhängig von der Valenz. Bei gehirngeschädigten Patienten wird eine deutlich stärkere Einschränkung bei rechtslateral Geschädigten aufgezeigt - ebenfalls bedeutend bei der Verarbeitung von gesichterlichen und prosodischen Informationen, unabhängig von der Valenz. In einigen Studien wird innerhalb der RH den posterioren Regionen ein größerer Anteil an der Gesichterwahrnehmung zugesprochen. Dennoch sollte man bedenken, daß emotionale und neutrale Stimuli normalerweise sich nicht nur bezüglich ihres emotionalen Gehalts unterscheiden, sondern auch hinsichtlich der Komplexität der visuell- und audio-perzeptiven Strukturen. So ist es bspw. sehr schwierig zu unterscheiden, ob (1) die RH wirklich dominant hinsichtlich der Verarbeitung von Emotionen ist oder ob (2) die RH tatsächlich dominant für die Modalitäten ist, welche die Emotion vermitteln. Aufgrund dieser möglichen Einschränkung der RH Hypothese ziehen Gainotti et al. (1993) die Schlußfolgerung, daß die RH Hypothese hinsichtlich der Verarbeitung emotionaler Reize in der Vergangenheit zu sehr gewichtet wurde.

# 2.5 Asymmetrien im ereigniskorrelierten Potential

## 2.5.1 Das ereigniskorrelierte Potential

Die technische Entwicklung von Hardware und Software seit den letzten zwei Jahrzehnten erlaubt die Aufzeichnung und die Analyse von sogenannten gemittelten evozieren Potentialen oder auch allgemein als ereigniskorreliertes Hirnrindenpotential (EKP) bezeichnet. Das EKP erfaßt die durch einen äußeren Reiz ausgelösten hirnelektrischen Prozesse. Mit Hilfe des EKP ist es möglich, nicht invasiv und mit hoher zeitlicher Auflösung neurophysiologische Korrelate der Informationsverarbeitung abzubilden. Der Gebrauch von bildgebenden Verfahren in der Gehirnforschung z.B. wie die Positronen Emissions Tomographie (PET) oder das Magnet Resonanz Verfahren (MRI) bringt beachtenswerte Ergebnisse zu Tage, doch die hohen Kosten sowie die technische Kompliziertheit dieser neuen Verfahren führen dazu, daß nur kleine Stichproben untersucht werden können und somit die Befunde nur schwer auf die Population generalisiert werden können. EKP sind vergleichsweise kostengünstig und nichtinvasiv. Sie eignen sich daher besonders zur Untersuchung von cerebralen Hemisphärenunterschieden bei lateralisierten Aufgaben. EKP haben den großen Vorteil, daß sie einen festen zeitlichen Bezugspunkt hinsichtlich eines bestimmten Teststimulus haben. Daher eignen sie sich besonders zur Untersuchung von kognitiven Prozessen zum Zeitpunkt der Reizaufnahme und Reizverarbeitung. Messungen von EKP während der Verarbeitung von visuellen Halbfeldaufgaben (VHF) geben einen detaillierten Aufschluß darüber, zu welchem konkreten Zeitpunkt des Informationsverarbeitungprozesses cerebrale Asymmetrien auftreten. So zum Beispiel zeigt die Messung von EKP während einer dichotischen Tonunterscheidungs-Aufgabe, daß gerade der Zusammenhang zwischen Wahrnehmungs- und Hemisphären- Asymmetrien in der Zeit von 350 bis 550 ms am größten wird, wobei in diesem Beispiel die gefundenen Asymmetrien eher mit späteren kognitiven Prozessen, wie der perzeptuellen Evaluation, Gedächtnis oder Entscheidungsprozessen als mit frühen kognitiven Prozessen, wie Aufmerksamkeit oder sensorischer Verarbeitung, in Zusammenhang zu bringen sind (Tenke et al., 1993).

Ein entscheidender Nachteil von EKP ist, daß die resultierenden Skalp Topografien nicht eindeutig diejenigen Gehirnregionen indizieren, welche aktiv sind. Dieses Manko wird auch nicht durch hochauflösende EEG-Topographien gemindert. Dennoch, die Messung von EKP über der rechten und der linken Hemisphäre bei visuellen Halbfeldaufgaben unterstützt zwei entscheidende Aspekte: (a) EKP können hinsichtlich der Reizdarbietungsseite in Beziehung gesetzt werden, ipsi-

oder kontralateral zur Messhälfte; und (b) cerebrale Asymmetrien können in Beziehung zu Asymmetriemaßen der Verhaltensebene gesetzt werden.

Zu der Gruppe der EKP gehören die visuell und akustisch evozierten Potentiale (VEP und AEP). In den letzten beiden Dekaden ist der Gebrauch von EKP in der psychologischen und neuropsychologischen Forschung enorm gewachsen. Solche Studien umfassen ein breites Feld an Literatur (z.B. Begleiter, 1979; Callaway et al., 1978; und Lehmann und Callaway, 1979). Davon hat eine erhebliche Anzahl von Studien die EKP-Techniken eingesetzt, um Hemisphäreasymmetrien zu erforschen. Schon zum Ende der siebziger Jahre erschienen eine Vielzahl von Überblicksarbeiten zu diesem Thema (Donchin et al., 1977b; Hillyard und Woods. 1979; Marsh, 1978). Das typische experimentelle VHF-Paradigma ist verhältnismäßig einfach anzupassen, um neben der Erfassung von Verhaltensdaten die gleichzeitige Aufzeichnung von elektrophysiologischen Daten zu erlauben. Eine Darstellung und detaillierte Erklärung des VHF-Paradigmas erfolgt in Kapitel 2.3 (VHF-Paradigma) dieser Arbeit. Die exakte Darbietung von lateral dargestellten Stimuli in den lateralen Sichtfeldern, ist nur eine von zahlreichen methodischen Voraussetzungen für ein erfolgreiches VHF-Experiment. VHF-Experimente findet man in zahlreichen Variationen. Der Gebrauch von verhältnismäßig vielen Stimulusarten sowie den verschiedensten Darbietungsformen. Die Ableitung von Verhaltens- als auch von elektrophysiologischen Asymmetrie-Parametern, reichert die Befundlage der Halbfeldtechniken enorm an. So könnte man ohne weiteres annehmen, daß dieser Untersuchungsbereich ein fruchtbarer Boden besonders für die Synthese aus Verhaltens- und elektrophysiologischen Daten war und ist.

Es ist weithin bekannt, daß die elektroencephalographische Aktivität, welche von über den Skalp räumlich getrennten Elektroden aufgezeichnet wird, stark variiert. Diese Variabilität ist maßgeblich durch strukturelle und funktionelle Unterschiede des Gehirns bedingt. In dem Maße wie sich die elektrokortikalen Aktivitäten des Gehirngewebes verändern, manifestieren sich die meßbaren Aktivitäten auf dem Skalp. Die Verteilung von EEG-Parametern über den Skalp hinweg, läßt weitreichende Schlußfolgerungen für die zugrunde liegenden intrakranialen elektrophysiologischen Ereignisse zu. Nach Birbaumer (1990) werden alle elektrokortikalen Potentiale, welche vor, während und nach einem sensorischen, motorischen oder psychischen Ereignis durch das EEG meßbar sind, als elektrokortikale Hirnrindenpotentiale bezeichnet. Ein jedes solches Ereignis löst einen charakteristischen Verlauf der mittels Elektroden von der Schädeloberfläche gemessenen Spannung über die Zeit aus. Das resultierende ereigniskorrelierte Potential besteht aus einer Abfolge von negativen und positiven Amplitudenmaxima, welche auch als Komponenten des EKP bezeichnet werden. Diese Maxima sind charakteristisch und weisen in Amplitude und Latenz systematische Zusammenhänge mit bestimmten Prozessen der Informationsverarbeitung auf.

Das EKP auf ein Ereignis wird von einer nicht ereigniskorrelierten Spontanaktivität des Gehirns überlagert. Die Spontanaktivität stellt ein Rauschen dar und steht mit der Komponentenstruktur des EKP eher in einem zufälligen Zusammenhang. Um das EKP aus dem Signal zu extrahieren, ist es erforderlich, das Zielereignis mehrmals vorzugeben und das EEG über mehrere solche Ereignisse zu mitteln. Durch die Mittelung wird der Einfluß der nicht ereignisgebundenen Spontanaktivität niveliert. Allerdings ist in diesem Zusammenhang auf einen passenden Signal-Rausch-Abstand zu achten: Das Verhältnis des Zielsignals zum Rauschsignal verbessert sich proportional zur Wurzel der Anzahl der in die Mittelung einfließenden Messstrecken. Je größer also das zu interessierende Signal ist, desto weniger Messtrecken müssen in die Mittelung einfliessen, damit ein ausreichender Signal-Rausch-Abstand erzielt werden kann. Für die in dieser Arbeit interessierenden Komponenten des EKP sind zwischen zehn und zwanzig Messungen einer auslösenden Reizkategorie erforderlich.

Im Allgemeinen werden die aufeinanderfolgenden positiven und negativen Amplitudenmaxima als Korrelate einer seriellen Informationsverarbeitung betrachtet. Analog wird daher versucht, die unterschiedlichen Komponenten des EKPs, definiert durch ihre Amplitudenmaxima, den verschiedenen Aspekten der Informationsverarbeitung (wie Aufmerksamkeit oder Arbeitsgedächtnis –Prozesse) zuzuordnen. Im Hauptfocus der EKP-Forschung liegen die sogenannten typischen Komponenten des EKP. Ereigniskorrelierte Potentiale weisen in den ersten 300 ms nach Reizeinsatz eine relativ konstante Abfolge von positiven und negativen Maxima auf. Die Ausprägung und die zeitliche Abfolge der einzelnen Komponenten hängt von einer Vielzahl unterschiedlicher Faktoren ab, wie bspw. der auslösenden Reizmodalität und Reizintensität.

### 2.5.2 EKP-Asymmetrien

Die Literatur zu EKP in Hinblick auf cerebrale Asymmetrien zählt nicht nur inkonsistente Befunde bezüglich der Ergebnisse der klinischen und anatomischen Forschung auf. So beschreibt bspw. Iaccino (1993) in seinem Buch, daß eine Vielzahl von EEG-Studien aufzeigen konnten, wie nonverbales und verbales Material sowohl die Amplituden und die Latenzen im ereigniskorrelierten Potential beider Hemisphären unterschiedlich beeinflussen. So konnten verbale Stimuli, bestehend aus Nonsens-Silben (Buchsbaum, 1970), Konsonante und Vokale (Papanicolaou. Levin, Eisenberg und Moore, 1983), Wörter und andere sprachähnliche Stimuli (Molfese, 1983) sowie arithmetische Aufgaben (Papanicolaou. Schmidt, Moore, und Eisenberg, 1983) konsistent größere Amplituden und kürzere Latenzen im EKP über der LH evozieren. Andererseits konnten räumlich visuelle Aufgaben (Gallin, 1975), Figuren Vervollständigung (Papanicolaou et al., 1983), nonverbale Unterscheidungsaufgaben (Molfese et al., 1975) sowie emotional gefärbte Urteilsaufgaben (Papanicolaou et al., 1983) überwiegend größere Amplituden über der RH evozieren. Allerdings waren letztere Effekte der RH nicht immer so stark ausgeprägt, wie der der LH. In dem gleichen Zeitraum zeigten aber auch andere EKP-Studien deutlichere Diskrepanzen hinsichtlich der traditionellen verbalen-nonverbalen Unterscheidung zwischen den Hemisphären auf. So berichten Segalowitz et al. (1989) von größeren Amplituden im EKP über der RH bei der Verarbeitung verbalen Materials. Allerdings hier mit der besonderen Einschränkung, daß die Versuchspersonen nicht verbal antworten sollten. Die Autoren schlußfolgerten, daß die RH mehr Kompetenzen hinsichtlich der Wahrnehmung von verbalen Stimuli aufweist, als zuvor angenommen. Seit jüngster Zeit wird angenommen, daß grundlegende Sprachprozesse in der RH angesiedelt sind, wo hingegen motorische Kapazitäten für den Sprachausdruck in der LH lateralisiert sein sollen (Milberg, Whitman, Rourke, und Glaros. 1981; Ogiela, 1990 u. 1991).

Der Zusammenhang, daß in Erwartung einer verbalen Antwort, dann die Aufmerksamkeitsprozesse einer Versuchsperson offenbar die LH aktivieren und hingegen bei Wegfall der Erwartung eines verbalen Reizes Aufmersamkeitsprozesse die RH aktivieren, wird durch elektrophysiologische Messungen der CNV bestätigt. Donchin, Kutas und McKarthy (1977a) konnten sehr deutliche CNV-Asymmetrien durch die Antizipation unterschiedlicher Stimuli evozieren. Falls verbale Stimuli erwartet wurden, resultierte eine größere CNV über der LH, hingegen in der Erwartung nonverbalen Materials war die CNV größer über der RH. Doch diese Befunde konnten durch Levy (1977) nicht repliziert werden.

Doch neben den oben aufgeführten theoriekonformen EKP-Asymmetrie-Befunden existiert eben auch eine Vielzahl von sehr inkonsistenten Ergebnismustern hinsichtlich der Lateralität im ereigniskorrelierten Hirnrindenpotential.

Eine Vielzahl konvergierender Evidenzen stammen aus Studien an der klinischen und normalen Population, welche ergaben, daß die Gehirnhälften sich in ihren funktionellen Eigenschaften unterscheiden. Daher erscheint es als durchaus begründet, daß diese funktionellen cerebralen Asymmetrien sich in den Amplituden des EKP bei der Bewältigung einer bestimmten Aufgabe widerspiegeln würden. Dennoch, viele durchgeführten Experimente, die sich mit dem Zusammenhang zwischen Asymmetrien in den Komponenten des EKP und der hemisphärischen Spezialisierung des menschlichen Gehirns beschäftigten, konnten kein kohärentes Befundmuster erkennen lassen (Donchin, 1977a; Molfese, 1983; Rugg, 1983; Picton, 1992; Rugg, 1986). Mit Hilfe des VHF-Paradigmas konnte man erfolgreich reliable Verhaltensasymmetrien bei gesunden Probanden generieren. Darüber hinaus wird angenommen, daß die Stimuli des RVHF oder LVHF direkt in die kontralateral gelegene Hemisphäre projiziert werden, daher die lateralisierte Art der Darbietung effizienter als die zentrale Präsentation ist und somit reliabelere aufgabenbezogene EKP-Asymmetrien evoziert werden können (Rugg, 1982; Neville, 1982; Rugg, 1983).

In einer Serie von mehreren Experimenten untersuchten Kok et al. (1986) mit einem Buchstaben-Matching Paradigma mögliche Asymmetriemuster im EKP. Ihre Versuchsanordnung entsprach im wesentlichen der von Bradshaw (1983), in der Buchstabenpaare lateralisiert dargeboten und die Probanden entweder instruiert waren, die Paare auf semantische oder physikalische Identität zu prüfen. Während die Verhaltensdaten aus der Originaluntersuchung von Bradshaw (1983) einen deutlichen LH Vorteil für die semantische und umgekehrt einen RH Vorteil für die physikalische Verarbeitungsweise reflektierten, zeigen die EKP ein unterschiedliches Asymmetriemuster. In analoger Weise vermuteten die Autoren, daß bei der semantischen Aufgabe links-größer-rechts Asymmetrien in den Komponenten des EKP resultieren und durch die physikalischen Vergleichsprozesse rechts-größer-links Komponenten evoziert würden. Konsistent war auf der linken und rechten parietalen Skalphälfte die N200 Komponente größer (negativer) bei kontralateral dargebotenen Buchstabenpaaren. Die späten positiven Komponenten (P300, SW) waren hingegen durchgängig positiver (größer) bei ipsilateral dargebotenen Stimuli. Darüber hinaus gab es keine Anzeichen dafür, daß die Art der Aufgabenstellung das Ausmaß der Kontra-Ipsi-Amplitudendifferenz beeinflußt hat, d.h. der Aufgabentyp hatte keine Wirkung auf das Asymmetriemuster der einzelnen Komponenten im EKP. Dieses Befundmuster (i.e.S das Ausbleiben systematischer Beeinflussung der EKP-Asymmetrien durch den Aufgabentyp) könnte nach Ansicht der Autoren zwei Implikationen beinhalten. Einerseits könnte es bedeuten, daß die späten positiven Komponenten, welche ipsilateral zum Darbietungsfeld aufgezeichnet wurden, durch

solche Generatoren erzeugt wurden, welche in der kontralateralen Hemisphäre lokalisiert sind. Andererseits könnten während der verbalen Verarbeitung die entsprechenden kortikalen Quellen in symmetrischer Art und Weise aktiviert worden sein. Diese Annahme entspricht dem Erklärungsansatz, daß die P300 vorwiegend durch (symmetrische) subkortikale Strukturen generiert wird (Kutas, 1990), (s. auch Kapitel 2.6.4, Lateralität der P300). Alternativ zu den diesen Erklärungen, kann jedoch eingewendet werden, daß in den Experimenten sehr einfache und überlernte linguistische Stimuli verwendet wurden, so daß das verbale System der LH nicht ausreichend in den Verarbeitungsprozess mit eingebunden wurde. Wie zuvor erwähnt, scheint der Schwierigkeitsgrad einer Aufgabe eine entscheidende Moderatorvariable in der Generierung von Asymmetrien zu sein (Hellige, 1976). Ein anderer Faktor, welcher verantwortlich für das Ausbleiben der funktionellen EKP Asymmerien sein kann, ist, daß die Buchstaben-Identifikations Aufgabe hauptsächlich nur Wahrnehmungsprozesse involviert. Schließlich gibt es Evidenzen dafür, daß hemisphärenspezifische Prozesse wahrscheinlicher durch Post-Recognition- und Gedächtnis-Aufgaben ausgelöst werden (Rugg, 1982; Beaumont, 1982). Alles in allem läßt sich aus dem Befundmuster die Frage ableiten, ob die relativ größere P300-Amplitude, welche durch aufgabenrelevante ipsilaterale gelegene Stimuli ausgelöst wird, einen Index für die Zuweisung von Verarbeitungskapazitäten in der jeweiligen Hemisphäre darstellt (Kok, 1986).

### 2.5.3 Asymmetrien in späten EKP-Komponenten

VHF-Experimente, welche Buchstaben-Matching Aufgaben verwendeten, zeigten, daß verbale Identitäts-Vergleiche (Aa) zu jeweils kürzeren Reaktionszeiten führten, wenn die Buchstaben im RVHF präsentiert wurden, im Vergleich zum LVHF (Cohen, 1972; Geffen, 1972; Ledlow, 1978; Beaumont, 1982). Analog konnte aufgezeigt werden, daß die Wahrnehmung von komplexen Figuren oder Gesichtern besser verläuft, wenn die Stimuli in dem LVHF als wenn sie im RVHF gezeigt werden (Pirozollo, 1977). Diese Befunde könnten als Indizien dafür gelten, daß die linke Hemisphäre eher verbales Material effizienter und die rechte Hemisphäre besser visuell-räumliche komplexe Stimuli verarbeiten kann. Zwei unterschiedliche Erklärungsweisen für diesen Effekt kommen in Frage (s. Cohen, 1982). Die erste Erklärung betont die strukturelle Organisation des Nervensystems: unilateral dargebotene Stimuli haben einen direkteren anatomischen Zugriff auf die spezialisierten Gehirnstrukturen der kontralateralen Hemisphäre. Der zweite Erklärungsansatz basiert auf den dynamischen Modellen (Kinsbourne, 1975; Hellige, 1979a; Friedman, 1981). Letztere Modelle postulieren, daß visuelle Verhaltensasymmetrien nicht nur aus den unterschiedlichen Transferzeiten von direkten und indirekten afferenten Übertragunsbahnen zu der spezialisierten Hemisphäre resultieren, sondern auch durch Unterschiede in der Effektivität und Menge von Aufmerksamkeitsresourcen bedingt sind, welche den hemisphärischen Strukturen bzw. verarbeitenden Mechanismen zugeordnet werden. Nur wenige EKP-Studien beschäftigten sich mit der hemisphärischen Involviertheit in diesen Prozessen (Rugg, 1982; 1985 als Überblick), EKP-Messungen von homolateralen Hemisphärenpositionen beurteilen die Autoren als eine direkte Möglichkeit zur Einschätzung der jeweiligen Involviertheit beider Hemisphären während der Verarbeitung einer Aufgabe. Darüber hinaus wird angenommen, daß die späten endogenen EKP-Komponenten, wie bspw. die P300 einen direkten Bezug zu den aktiven Aufmerksamkeitsprozessen aufweisen, welche durch kognitive Aufgaben induziert werden (Rössler, 1983; Donchin, 1988). Daher mag es begründet sein, wenn solche Komponenten durch homolaterale Elektroden gemessen werden. EKP können hilfreich sein, um die relative Verteilung von solchen Aufmerksamkeitsprozessen hinsichtlich der funktionellen Asymmetrien beider Hemisphären zu erfassen. In diesem Sinne können EKP konvergierende Indikatoren im Zusammenhang mit strukturellen und dynamischen Hemisphärenprozessen darstellen, jeweils in Abhängigkeit von den unterschiedlichen visuellen Hemifeldern und den verschiedenen kognitiven Aufgaben.

*Divergenz von Verhaltens- und EKP- Asymmetrien*

Kok et al. (1985) präsentierten unilateral dargebotene Buchstabenpaare in einem visuellen Halbfeldparadigma. Die Versuchspersonen hatten die Aufgabe, die Buchstabenpaare auf

physikalische (z.B. 'AA' vs. 'Aa') oder auf namentliche (z.B. 'BB' vs. 'AB') Identität zu prüfen. Die Reaktionszeiten zeigten die erwartete rechts visuelle Überlegenheit für die namentliche und die links visuelle Überlegenheit für die physikalische Identitätsaufgabe. Die P300 und die SW – Komponenten allerdings spiegelten nicht die Verhaltenasymmetrien wider, P300 und SW waren in beiden Verarbeitungsbedingungen konsistent größer über der linken als über der rechten Hemisphäre, unabhängig von der Stimulationsseite. Die Autoren betonten, daß das alleinige Vorhandensein von EKP-Asymmetrien noch lange keine ausreichende Basis für die Schlußfolgerung ergibt, daß diese Asymmetrien die Lateralität von hemisphärischen Prozessen widerspiegeln. Solche Asymmetrien könnten u.a. durch anatomische Faktoren, wie bspw. der Geometrie von Generatorstrukturen bedingt sein, welche generell größere Amplituden entweder in der linken oder rechten Hemisphäre erzeugen. Um EKP-Unterschiede auf Unterschiede in Verarbeitungsprozessen zu beziehen, fordern die Autoren, daß das Ausmaß und/oder die Ausrichtung von EKP-Asymmetrien systematisch mit den spezifischen Aufgaben-Verarbeitungsprozessen variiert (Donchin, 1977a; Rugg, 1983). In Hinblick auf das Vorhandensein der signifikanten Reaktionszeit-Asymmetrien, stellt das Ausbleiben von Aufgaben abhängigen EKP-Asymmetrien einen interessanten Befund dar, Kok et al. führen als eine mögliche Erklärung auf, daß die Reaktionszeit-Asymmetrien nur die strukturellen Aspekte der hemisphärischen Verarbeitung reflektieren, wie bspw. einen direkteren Zugang zu den spezialisierten Strukturen einer Hemisphäre durch kontralaterale Verbindungen. Eine Alternativerklärung für das Ausbleiben von aufgabenabhängigen EKP-Asymmetrien wäre, daß die EKP-Komponenten nicht sensitiv genug sind, um solche strukturellen Aspekte der Verarbeitung zu erfassen. Einige Evidenzen (Rugg, 1983) deuten an, daß aufgabenbezogene EKP-Asymmetrien eher dann auftreten, wenn komplexes verbales Stimulusmaterial im Gedächtnis gespeichert und verändert werden muß. Diese Annahmen stützen auch die Befunde von Thatcher (1977) und Van de Vijver (1984), welche signifikante aufgabenbezogene EKP-Asymmetrien bei der Involvierung von Gedächtnisprozessen während der Verarbeitung verbalen Materials aufzeigten. Falls sich diese Annahme als richtig erweist, sollte in der Studie von Kok et al. (1985) die Abwesenheit von EKP-Asymmetrien (i.e.S Aufgabentyp x Hemisphären – Interaktionen) ein Indikator dafür sein, daß die gestellten Identifizierungsaufgaben nicht effektiv genug waren, um eine differenzierte Untersuchung der gedächtnisbezogenen Prozesse beider Hemisphären zu ermöglichen. Tatsächlich existiert eine Vielzahl von Untersuchungen, wo unilateral dargebotene Stimuli verschiedener Modalitäten (visuell, auditorisch, somatosensorisch) nur zu einer bilateral symmetrischen Verteilung der P300 führten (Desmedt, 1977; Snyder, 1980) oder zeigten eine leichte Tendenz derart, daß größere Amplituden auf der Hemisphäre gemessen wurden, welche ipsilateral zur visuellen Halbfeldstimulation lag (Hillyard, 1984a; Mangun, 1990).

In den letzten Jahrzehnten gab es eine steigende Anzahl von Untersuchungen, welche kognitive Prozesse durch nicht invasive Methoden zu erforschen versuchten. Eine solche Messung zur Erfassung der Gehirnaktivität ist die ereigniskorrelierten Potentiale. Mit dieser Methode können Muster der elektrischen Aktivität des Gehirns erfaßt werden, welche mit sensorischen, motorischen und kognitiven Prozessen assoziiert sind.

Die am weitesten untersuchte ‚kognitive EKP-Komponente' ist die späte positive Komponente (verschiedendlich P3, P3b, P300 oder LPC (late postive complex) genannt). Die P300 wird typischerweise durch aufgabenrelevante Stimuli ausgelöst, welche eine Entscheidung von der Versuchsperson verlangen (zum Überblick s. Pritchard, 1981; Donchin, 1988; Hillyard, 1987). Die Latenz der P300 variiert im Allgemeinen mit der Schwierigkeit und Komplexität des zu erfassenden Zielstimulus Die Amplitude der P300 geht mit der subjektiven Erwartung des Eintreffens des Zielstimulus einher (s. auch Donchin, 1988). Weitere Studien zeigten, daß die P300 mehr direkt an der Evaluation und Klassifikation des Zielstimulus gekoppelt ist, als an der nachfolgenden Selektion der Reaktion und Mobilisation motorischer Prozesse (Magliero, 1984). Obwohl eine Vielzahl von Faktoren, welche die Amplitude der P300 beeinflussen können (bspw. Aufgabenrelevanz, Unterscheidbarkeit des Stimulus, subjektive Erwartungshaltung), geschildert wurden, gibt es bis dato immer noch eine grundlegende Kontroverse hinsichtlich der funktionellen Bedeutung der P300 (Donchin, 1988; Verleger, 1988). Einerseits wird die P300 mit einer Vielzahl von spezifischen Prozessen in Verbindung gebracht, z.B. das Herauslösen von aufgabenrelevanten Informationen aus dem Stimulus (Sutton, 1967), sensorische Prozesse (Smith, 1970), Orientierung und kognitive Evaluation (Ritter, 1969),Stimulus-Updating oder Gedächtnisrepräsentation (Donchin, 1988). Andererseits wird postuliert, daß die P300 nichts anderes als ein Index für ein diffuses Arousal während einer sensorischen Verarbeitung darstellt (Karlin, 1970; Näätänen, 1975). Aus dieser Sicht wird die P300 als eine langsam fortschreitende Auflösung eines langsamen negativen Shifts bewertet, welcher während der Antizipation eines bedeutungsvollen Stimuli auftritt (CNV – contingent negative variation).

Auf der letzten Annahme aufbauend, postulierte Desmedt (1980), daß die CNV und ihre Auflösungen (i.e.S die P300), diffuse bilaterale Projektionen der Formatio Reticularis auf kortikale Aktivitäten widerspiegelt. In diesem Zusammenhang wird die P300 als eine flüchtige Reduktion der neuronalen Modulation der Formatio Reticularis (FR) verstanden, als eine Inhibition der FR durch den frontalen Cortex. Die FR vereinigt motorische Teilfunktionen zu komplizierten Gesamtleistungen. Sie beeinflußt Kleinhirn, Thalamus und den Cortex. Durch ihre Wechselwirkung mit der Großhirnrinde bestimmt sie den Grad der Bewußtseinshelligkeit. Tritt derselbe Reiz mehrmals hintereinander auf, so erlahmt eine Weckwirkung durch Gewöhnung (Faller, 1984). Evidenzen zur Unterstützung der Annahme, daß die P300 von afferenten Projektionen des

Mesencephalons beeinflußt wird, stammen von den Ergebnissen von Pineda (1989). Er zeigte, daß bei Affen eine bilaterale Läsion des Locus Ceruleus eine starke Reduktion der Amplitude der späten positiven Komponenten (analog zur P300) zur Folge hatte, welche zuvor durch eine Reihe von zufällig dargebotenen Tönen evoziert wurden.

In diesem Zusammenhang stehen die Arbeiten von Gazzaniga (1973), Hillyard (1973) und Kutas (1988) mit neurologischen Patienten einer Kommissurotomie. Bspw. verwendeten Gazzaniga und Hollyard ein CNV-Paradigma der besonderen Art an dieser Patientengruppe. Der erste Stimulus zur Auslösung der CNV wurde lediglich unilateral dargeboten, so daß nur die kontralerale Hemisphäre auf den nachfolgenden Reiz vorbereitet werden konnte. Interessanterweise wurde trotz Kommissurotomie und unilateralem S1 auf dem gesamten Skalp eine CNV erzeugt, welche über beiden Hemisphären symmetrisch verlief. Weil die CNV über beiden Hemisphären symmetrisch zu beobachten war, kamen die Autoren zu dem Schluß, daß die CNV Komponente unter der Kontrolle eines diffusen, bilateral projizierenden Systems, ausgehend vom Gehirnstamm, steht. Kutas et al. (1990) folgten einer ähnlichen theoretischen Grundlage, in dem sie die laterale Verteilung der P300 Komponente bei Split-Brain Patienten untersuchten.

In einer Variation von unterschiedlichen Darbietungsbedingungen wurden u.a. verbale Stimuli, visuell im Rahmen eines Halbfeldparadigmas dargeboten. Die Studie war angesetzt, um die Verteilung der P300 Komponente bei unilateral dargebotenen visuellen Stimuli bei Split-Brain Patienten zu untersuchen. In diesem Zusammenhang stellen sich eine Reihe von interessanten Fragen. Durch die unilaterale Darbietung eines Reizes bei einem Split-Brain Patienten stellt sich z.B. die Frage, ob ähnlich wie bei der Evozierung der CNV, die P300 Komponente ebenfalls eine bilaterale symmetrische Skalpverteilung aufweisen würde. Eine symmetrische Verteilung der P300 würde auch hier eine bilaterale subkortikale Generatorstruktur indizieren, im Gegensatz zu den lateralisierten Annahmen der statischen Strukturmodelle und ihren dynamischen Modifikationen. Im Falle einer über den Hemisphären lateralisierten P300 könnten eindeutige Rückschlüsse auf konkrete lateralisierte Verarbeitungssysteme gezogen werden. Darüber hinaus ist es möglich, bestimmte Aussagen bezüglich der Interaktivität beider Hemisphären während der Verarbeitung unilateral dargebotener Reize zu machen.

Die Befundlage der geschilderten Untersuchung zeigt sich wie folgt: In den frühen EKP-Komponenten ist meist eine Wechselwirkung mit der lateralisierten Darbietungsseite zu finden, d.h. P1, N1 und N2 sind durch kontralateral evozierte Reize am größten. Die erhöhten Amplituden der frühen Komponenten mögen somit eine verstärkte neuronale Reaktion der direkt stimulierten kortikalen Regionen reflektieren. Eine Untersuchung mit einem bildgebenden PET-Verfahren (Tucker, 1994) unterstützt die Annahme, in welcher die P1 mit kürzeren Latenzen in der kontralateralen Hemisphäre feststellbar war.

In vielen Asymmetrie-Experimenten wurden späte EKP-Komponenten untersucht. Doch nur in seltenen Fällen konnten direkte Zusammenhänge zwischen späten Komponenten und Aufgaben- bzw. Stimuls- spezifischen Asymmetrien gefunden werden. Ledlow (1978) und Rugg (1978) boten unilateral verbale Stimuli dar, die Zielreize bestanden aus Buchstabenpaaren und die Versuchspersonen waren angehalten, die Paare auf physikalische (AA) oder semantische (Aa) Gleichheit zu prüfen. Im EKP resultierte eine Wechselwirkung zwischen Aufgabentyp und visuellem Halbfeld in einer späten positiven Komponente. Über der direkten stimulierten RH (kontralateral zum LVHF) zeigten sich höhere Amplituden während der physikalischen Aufgabe, und größere über der direkt stimulierten LH (kontralateral zum RVHF) beim semantischen Aufgabentyp. Die Frage, in wie weit bspw. die P300 überhaupt kognitive Verarbeitungsasymmetrien widerspiegelt, muß in diesem Zusammenhang gestellt werden. Schon in den frühen 90er Jahren (Rugg, 1983) stellte der Autor in einem Überblick die Ansicht in Frage, daß die laterale Verteilung von späten positiven Komponenten spezifische kognitive Verarbeitungsasymmetrien reflektiert.

In diesem Zusammenhang wird die Möglichkeit angesprochen, daß bei bestimmten experimentellen Aufgaben konkurrierende kognitive Aktivitäten die Verteilung der asymmetrischen Komponenten verändern oder daß Versuchspersonen eine systematische Verzerrung in den Asymmetrien durch subjektiv favorisierte lateralisierte kognitive Lösungsstrategien erzeugen könnten. Bis heute fehlen in EKP-Untersuchungen reliable Korrelationen zwischen lateralen Asymmetrien und kognitiver Verarbeitung. Die Befundlage zu EKP-Asymmetrien ist alles andere als kohärent. Dafür gibt es unterschiedliche Ursachen. Zum einen werden kognitive Aufgaben und Stimulustypen nicht eindeutig kontrolliert und zum anderen existieren eine Vielzahl von technischen methodischen Unzulänglichkeiten in den Untersuchungsplänen. Ein anderes Problem basiert auf der Eigenart, daß sich bestimmte Experimente mit der Frage befassen, in welchem Ausmaß EKP-Asymmetrien sensitiv für Verarbeitungsasymmetrien sind, und wiederum andere Untersuchungen Erkenntnisse über Zusammenhänge mit spezifischen Aufgaben- und Stimuli erschließen wollen. So kann ein Untersuchungsergebnis nicht eindeutig interpretiert werden, solange nicht geklärt ist, ob EKP sensitiv für Verarbeitungsasymmetrien sind oder ob die Stimulus/Aufgaben –Kombination keine lateralisierten Prozesse auslöst.

### 2.5.4 EKP-Asymmetrien auf emotionale Stimuli

Da in dieser Studie in einem Experiment emotionale Fotografien den Probanden lateralisiert dargeboten wurden, wird mit diesem Kapitel ein besonderer Akzent auf die Befundlage der EKP-Asymmetrien bei emotionalen Stimuli gesetzt.

Es existiert eine Vielzahl unterschiedlicher Evidenzen für eine funktionelle Spezialisierung der Hemisphären in der Regulation von Affekten. Diese Evidenzen resultieren aus unterschiedlichen Untersuchungen an neurologischen, psychiatrischen und gesunden Populationen. Alles in allem wurde meist von einer RH Überlegenheit hinsichtlich der Wahrnehmung emotionaler Stimuli berichtet (Etcoff, 1989; Silberman, 1986). Obwohl der Zusammenhang zwischen Mustern der kortikalen und subkortikalen Aktivität sowie spezifischen emotionalen Zuständen bis heute unklar ist, scheinen beide Hemisphären verantwortlich für die Erfahrung von Emotionen zu sein (Davidson, 1995; Gainotti, 1993; Leventhal, 1986). Eine ganze Reihe von Studien untersuchten den Zusammenhang zwischen affektiven Prozessen und Hemisphärenasymmetrien durch die Messung der tonischen Aktivität des zentralen Nervensystems (bspw. durch die Messung von Alpha-Power). Vergleichsweise weniger Studien basierten auf der Messung von phasischer Aktivität des zentralen Nervensystems. wie bspw. durch ereigniskorrelierte Potentiale (EKP). EKP geben Aufschluß über sequentielle Muster der Gehirnaktivität bei der Verarbeitung von bestimmten Informationen. So können frühe exogene und Aufmerksamkeits–prozesse von späten exogenen in den EKP-Komponenten getrennt werden (Donchin, 1988; Picton, 1992; Ruchkin, 1983). Obwohl der Großteil der Studien solche EKP untersuchten, welche durch emotionale Stimuli evoziert wurden, haben nur wenige explizit die Lateralisation von emotionaler Wahrnehmung untersucht. Solche Studien, welche EKP-Asymmetrien während der Wahrnehmung emotionaler Stimuli untersuchten, unterscheiden sich weitgehend in der angewendeten Methode, im experimentellen Design, verwendeter Stimuli, Darbietungsmodalität, der Anzahl sowie Lokalität der Elektroden und in den evaluierten EKP-Komponenten sowie statistischen Analysen.

Überraschenderweise verwendete bis heute der überwiegende Anteil der EKP-Studien, welche emotionale Stimuli präsentierten, kein Paradigma zur direkten Stimulation jeder Hemisphäre (Kayser, 1997). Nach Wissen der Autoren gab es bis 1997 keine direkte Studie, welche sich mit Zusammenhang von EKP und lateral dargebotenen emotionalen und neutralen Stimuli beschäftigt hat. Obwohl das VHF-Paradigma schon in den frühen achtziger Jahren (Beaumont, 1982) zur Untersuchung der cerebralen Lateralisation weitgehend etabliert war, wurden die Stimuli der meisten EKP-Studien bis dato zentral dargeboten.

Einige Autoren (Carretie, 1995; Laurian, 1991) verwendeten zur emotionalen Stimulation einen Bildersatz mit Gesichtern unterschiedlichen emotionalen Ausdrucks (s. Ekman, 1976). Aufgrund der topografischen Map (basierend auf 16 Elektrodenpositionen) der P300-Amplitude schlußfolgerten Laurian et al. (1991), daß emotionale Ausdrücke weitgehend durch rechts centro-parietale Regionen verarbeitet werden. Dies, obwohl die Ergebnisse möglicherweise mit Motorpotentialen konfundiert sein können, da die Probanden in dieser Studie mit der rechten Hand auf emotionale Stimuli reagieren mußten. Eine ähnliche Vorgehensweise verwendeten Roschmann (1992), in dem sie Fotografien von gesunden (neutral) und dermatologisch beeinträchtigten (negativ) Gesichtern zeigten. Die Autoren berichteten über größere negative Potentiale (mit einer Latenz von ca. 540 ms) durch negative Stimuli über den rechts-frontalen Arealen sowie über den tempo-occipitalen Regionen (mit einer Latenz von ca. 700 ms). Carretie und Iglesias (1995) konnten hingegen von keinen unterschiedlichen Hemisphärenasymmetrien für EKP-Komponenten (in einem Latenzfenster von 150-900 ms) während der Verarbeitung neutraler und positiver Gesichtsausdrücke berichten (die Elektrodenpositionen waren hier allerdings auf T7/T8 begrenzt).

Nicht Fotografien, sondern Strichzeichnungen von emotionalen Gesichtern verwendete Vanderploeg (1987). Nach einer Hauptkomponenten-Analyse der EKP konnten zwei Faktoren identifiziert werden: Eine P300 und eine Slow-Wave spiegelten Unterschiede in der hemisphärischen Verarbeitung wider. Es zeigte sich eine größere P300-Amplitude für neutrale im Vergleich zu emotionalen Gesichtern über der LH und eine größere Slow-Wave Amplitude für emotionale als neutrale Stimuli über der RH. Die Autoren interpretieren die P300-Asymmetrie als einen Effekt kategorialer Entscheidungsprozesse der LH, die größere Slow-Wave Amplitude über der RH für emotionales Material als einen Effekt der Gesichter-Erkennung hinsichtlich der Unterscheidung positiver/negativer Emotionen.

Kostandov (1986) untersuchte die P300 bei bilateraler Darbietung emotional gefärbter Wörter. Die Wortpaare wurden nur sehr kurze Zeit dargeboten (15 ms). Entweder befand sich ein emotionales Wort im linken visuellen Halbfeld und ein neutrales Wort im rechten Halbfeld oder umgekehrt. Insgesamt zeigte sich eine größere P300 über der LH, sowohl für emotionale als auch neutrale Wörter. Auch hier spiegelte sich in den Ergebnissen ein konsistenter Valenz-Haupteffekt der Emotion wider. Über beiden Hemisphären evozierten emotionale Wörter größere P300-Amplituden als neutrale Zielreize. Die emotionalen Wörter haben jedoch nicht die Hemisphärenasymmetrie der P300-Komponente beeinflußt, so daß keine der beiden Hemisphären mit der Emotionalität des Zielreizes im späten ereigniskorrelierten Potential assoziiert werden konnte.

Aufgrund der inkonsistenten Befundlage sei an dieser Stelle anzumerken, daß es sehr schwierig ist, einen resultierenden Asymmetrie-Effekt ausschließlich auf emotionale Prozesse zurückführen zu können.

Die Anwesenheit und zugleich die Abwesenheit von Asymmetrien kann immer auch auf zugrunde liegende kognitive Prozesse bezogen werden. Es ist nicht auszuschließen, daß konfundierende Variablen wie aufgabenähnliche Prozesse oder physikalische Stimuluseigenschaften die resultierenden Lateralitätseffekte moderieren können. Ein RH Vorteil kann demnach nicht nur durch emotionale Prozesse entstanden sein, sondern bspw. durch die räumlich-visuelle Anordnung bestimmter Eigenschaften eines Gesichtes. Die Abwesenheit eines RH Vorteils während der Verarbeitung emotionalen Stimulusmaterials muß nicht bedeuten, daß die RH keine funktionelle Dominanz bei Emotionen ausübt, sondern kann durch den Einfluß bestimmter kognitiver Lösungsstrategien, welche die LH prädestinieren, moderiert werden.

Betrachtet man die Gemeinsamkeiten der EKP-Studien, so fällt auf, daß die Stimulus-präsentation üblicherweise mit einem charakteristischen Performancemuster einher geht, welcher kognitive Operationen zugrunde liegen. Somit können emotionale Prozesse durch kognitive Faktoren verzerrt werden. Die meisten der hier aufgeführten Studien erforderten Reaktionen auf die dargestellten Stimuli mit unterschiedlichem emotionalen Gehalt. Bspw. die Erkennung von bestimmten emotionalen Zielreizen (z.B. Lang, 1990), die Unterscheidung von emotionalen Stimuli (z.B. Carretie, 1995) oder die Bewertung von emotionalen Reizen (z.B. Vanderploeg, 1987).

Darüber hinaus sind motorische Reaktionen sowie die Erfassung von Leistungsparametern des Verhaltens ein weiteres Merkmal von vielen EKP-Studien. Daraus resultiert ein weiteres Problem durch den Einfluß motorischer Potentiale und motorischer Artefakte bei der Interpretation von Lateralitätseffekten. Obwohl der Einbezug einer Reaktion durch den Probanden ein hohes Maß an Aufmerksamkeit auf die dargestellten Stimuli sicherstellt, verwickelt diese Vorgehensweise die Versuchsperson aber auch in unterschiedliche kognitive Prozesse, welche nicht unmittelbar in Beziehung mit der Wahrnehmung der affektiven Eigenschaften des Stimulus stehen.

Aus diesem Grunde vermieden Kayser et al. (1997) in ihrem Experiment motorische Reaktionen durch den Probanden. Sie verwendeten die unilaterale Präsentation von emotionalen Gesichtern (mit dermatologischen Schäden) vs. neutralen Gesichtern in einem VHF-Paradigma. Die beiden Reizgruppen wurden im Vorfeld der Untersuchung von den Probanden bewertet und die Ratings boten somit post hoc die Basis zur Mittelung der Potentiale nach einer emotionalen Kategorie. Die Ergebnisse spiegelten lediglich nur in den frühen Komponenten des EKP (N2 und frühe P300 (285 ms)) eine Asymmetrie emotionaler Verarbeitung wider. Die Amplituden der N2- und der frühen P3-Komponenten waren während der Verarbeitung negativer emotionaler Stimuli über der RH am größten, jedoch unabhängig vom visuellen Halbfeld der jeweiligen Stimulationsseite. Darüber hinaus resultierte keine signifikante Interaktion zwischen visuellem Halbfeld und emotionalem Gehalt des Stimulus in den Komponenten des EKP. Ein anderes Bild zeigte sich bei der späten P300

(380 ms) sowie der späten Slow-Wave. Die Amplituden dieser Komponenten waren auf derjenigen Hemisphäre am größten, welche ipsilateral zum stimulierten Halbfeld lag.
Über diesen ipsilaterale Effekt für späte Komponenten ist auch schon in anderen Studien berichtet worden (Kok, 1986; Schweinberger, 1991; Schweinberger, 1994; Kutas, 1990). Nach Ansicht der Autoren kann dieser Zusammenhang eine verstärkte Bemühung der ipsilateralen Hemisphäre reflektieren, an verarbeitungsrelevante Informationen, welche nicht direkt in die kontralateral gelegene Zielhemisphäre projiziert wurden, zu gelangen. Eine Alternativerklärung kommt von Schweinberger (1991), welcher annimmt, daß die Amplitude der späten Komponenten auf der kontraleralen Hemisphäre von einem negativen anhaltenden Potential überlagert werden, in der Art einer CNV, welche mit einer Reaktionsvorbereitung assoziiert ist. Bemerkenswert in diesem Zusammenhang ist, daß der gleiche ipsilaterale Effekt in den späten EKP-Komponenten in einer Untersuchung von Kutas et al. (1990) resultierte, welche in einem VHF-Paradigma verbales Reizmaterial verwendeten.

### 2.5.5 Methodische Probleme

Verschiedene methodische Aspekte sind beachtenswert bei der Konzeption einer EKP-Studie zur Untersuchung von elektrokortikalen Asymmetrien:

*Wahl einer geeigneten Referenzelektrode*

Idealerweise sollte die Referenzelektrode dort plaziert sein, wo sie von experimentellen Variablen unbeeinflußt bleibt. Die Ortung bestimmter kortikaler Aktivitäten sollte durch den Standort der Referenzelektrode nicht beeinflußt werden. Eine gemeinsame Referenz aller Zielelektroden ist aus diesen Gründen wünschenswert. Die laterale Verteilung der ereignis-korrelierten Potentiale darf nicht durch die Referenzelektrode verzerrt werden. Der Gebrauch von Mastoidelektroden ist aus den zuvor genannten Gründen nicht zu empfehlen, da auch an diesen Stellen eine restliche Gehirnaktivität vorhanden ist. Das gilt im Besonderen für visuelle EKP-Studien (Rugg, 1983). Nach seiner Ansicht sollten asymmetrische Referenzen vermieden werden. Weiterhin sollten ebenfalls Mastoid oder Ohrläppchen-Referenzen nicht benutzt werden, da sie nicht völlig frei elektrokortikaler Aktivität sind, und somit vorhandene Asymmetrien verfälschen können. Der Autor empfiehlt neben einer vom Kopf entfernten Referenzelektrode als Kompromisslösung die Verwendung einer mitfrontalen Referenzelektrode.

*Aufgabenbezogene Asymmetrien*

Schon Donchin (1977b) bemerkte, daß nur die Demonstration von einer Asymmetrie in einer EKP-Komponente im Zusammenhang mit einer bestimmten Stimulus-Aufgaben Kombination nicht für die Schlußfolgerung ausreicht, daß das EKP eine Aufgaben abhängige Asymmetrie eindeutig indiziert. Es ist notwendig zu zeigen, daß die gemessenen Asymmetrien von spezifischen Verarbeitungsprozessen abhängig sind. Daher sind Kontrollbedingungen notwendig, bspw. derart, daß Asymmetrien in die entgegengesetzte Richtung evoziert werden, im Sinne einer Innerhalb-Personen Kontrolle. Falls ein solches Design in einem Experiment implementiert wird, können resultierende aufgabenabhängige Asymmetrien nicht mehr alleinig auf anatomische Asymmetrien oder ungleichmäßige Elektrodenplatzierungen zurückgeführt werden. Sicherlich ist das optimale Design, welches dieselbe Stimulusgruppe in allen Bedingungen benutzt und in dem lediglich die Aufgabeninstruktionen variiert werden. In einem solchen Experiment könnte jede Aufgaben bezogene Asymmetrie reliabel durch Unterschiede in kognitiven Variablen beschrieben werden.

*Wahl einer geeigneten Aufgabe*

Bis dato wurden in den Asymmetrie-Experimenten im Zusammenhang mit EKP eine große Anzahl unterschiedlicher kognitiver Aufgaben eingesetzt. Viele dieser Aufgaben sind eigene Erfindungen der jeweiligen Forscher, ohne daß sie dabei die vorhandene Basis an Verhaltensliteratur berücksichtigen, welche sich Wahrnehmungsasymmetrien in Hinblick auf auditorische und visuelle Stimuli beschäftigt. Um jedoch reliable aufgabenbezogene Prozessasymmetrien zu evozieren, ist es sinnvoll, gerade solche experimentelle Aufgabentypen zu wählen, welche validiert wurden. Die alleinige Annahme, daß eine Aufgabe ‚verbale' kognitive Prozesse auslöst, ist keine Grundlage, um Asymmetrien interpretieren zu können. Ein weiterer Aspekt bei der Wahl eines geeigneten Aufgabentyps ist die Berücksichtigung der Aufgabenschwierigkeit. Die Aufgabenschwierigkeit sollte nicht mit experimentellen Variablen konfundiert sein, da sonst aufgabenbezogene Asymmetrien in den EKP nicht nur durch lateralisierte Verarbeitungsprozesse erklärt werden können.

Die Leistung bei einer bestimmten Aufgabe ist besser, wenn das Stimulusmaterial direkt in diejenige Hemisphäre projiziert wird, welche am effizientesten die spezifische Aufgabe lösen kann. In Bezug auf diese Annahme können keine visuellen Halbfeldeffekte auftreten, wenn sämtliche Verarbeitungsprozesse zu einfach sind, Bryden (1986) und Hellige (1976) vertreten die Annahme, daß das Schwierigkeitsverhältnis zwischen den beiden Verarbeitungstypen (visuell-räumlich und verbal-analytisch) jede Hemisphärenasymmetrie moderiert. Ein LVHF-Vorteil tritt dann auf, wenn visuell-räumliche Prozesse schwieriger sind als verbal-analytische. Im gegenteiligen Sinne tritt ein RVHF-Vorteil dann auf, wenn die visuell-räumlichen Stufen der Verarbeitung weniger schwierig

sind als die der verbal-analytischen bei der Bearbeitung einer Aufgabe. Daher ist es notwendig, die sowohl die Stimulusqualität als auch die visuelle Komplexität der Reize über sämtliche experimentelle Bedingungen zu kontrollieren, um den Einfluß dieser Störvariable konstant zu halten (Hellige, 1979b).

*Personenvariablen*

Aus einer Vielzahl von Untersuchungen resultierten Evidenzen dafür, daß die cerebrale Lateralisation durch unterschiedliche Personenvariablen moduliert wird. Als die bekanntesten zählen u.a. dazu die Händigkeit und das Geschlecht. Beide Faktoren sollten in Asymmetrie-Experimenten kontrolliert werden, da beide einen erheblichen Einfluß auf die Lateralität haben können.

*Das Problem der Referenzelektrode*

Alle Biopotentiale sind das Resultat der Spannungsfluktuationen zwischen zwei Polen. Es ist wünschenswert, daß nur einer dieser Ableitungspunkte aktiv sein sollte und der andere unveränderlich oder neutral, so daß eindeutige Interpretationen der Lokalisation der Aktivitätsänderungen möglich sind. Da kein Ableitungspunkt auf dem Skalp frei von elektrokortikaler Aktivität ist (einschließlich der Ohrlappen und Mastoiden, siehe Stephenson und Gibbs. 1951; Lehtonen und Koivikko, 1971), ist es notwendig, einen Kompromiß einzugehen. Diesen erreicht man dadurch, in dem man die Referenzelektrode gerade auf solchen einen Ableitungsort plaziert, an dem die elektrokortikale Aktivität eher unwahrscheinlich durch die experimentellen Variablen beeinflußt wird. Gerade bei Experimenten zur Erforschung von Hemisphärenasymmetrien ist das besonders wichtig, da ein asymmetrischer Referenzpunkt (z.B. ein unilateraler Ohrlappen) durch experimentelle Manipulationen unterschiedlich aktiviert werden kann. Möglicherweise besteht der bestmöglichste Kompromiß als Ableitungsort für VHF-Studien in einer aktiven Mittellinienplatzierung, auf die alle Zielelektroden bezogen werden (eine gemeinsame Referenz, z.B. Cz). Die allgemein verwendeten Referenzlösungen der verbundenen Mastoiden oder der Ohrläppchen sind nicht wünschenswert, da sie aufgrund Ihrer Eigenaktivität spezifische Asymmetrien aufweisen, welche sich mit dem experimentellen Zustand verändern können.

Dies ist auch der Fall, wenn zwei Referenzorte miteinander verbunden werden. Auch hier resultiert in jedem Fall eine konfundierende Eigenasymmetrie der Referenzen (Mowery und Bennett, 1957). Leider ist eine aktive Mittellinienreferenz wenig brauchbar, wenn die späten endogenen Komponenten des EKP im experimentellen Blickpunkt stehen, aufgrund ihrer weitreichenden anterioren-posterioren Verteilung über dem Skalp. Unter diesen Umständen ist es überlegenswert,

ob eine Referenz, die möglichst weit entfernt vom Kopf gesetzt wird (z.B. die nicht-cephalische Referenz von Stephenson und Gibbs. 1951) die einzige wirklich passende Lösung ist.

*Das Problem der Artefaktbehandlung*

Hauptsächlich sind extracerebrale Artefakte verantwortlich für die Verunreinigung von EKP. Die häufigsten Artefakte dieser Art stellen electrooculogische (EOG) Potentiale dar, besonders solche, die aus Blinzeln entstehen, Folglich ist es sehr wichtig für Verhaltensforscher, daß solche EEG-Aufzeichnungen, welche EOG Artefakte enthalten, nicht ohne weiteres in die Auswertung mit eingehen. Das ist besonders für späte langsame Komponenten (P300 u. ff,) der Fall, da sie gerade für Augenartefakte anfällig sind.

*Das Problem des kognitiven Settings*

Schon einfache Stimuli wie Blitze beeinflussen die kognitive Tätigkeit von Personen und somit die Amplitude von evozierten Potentialen. In diesem Zusammenhang berichteten Galin und Ellis (1975) von asymmetrischen EKP (linkshemisphärisch kleinere Amplituden) auf visuelle Stimuli bei Personen die während der Verarbeitung einer verbalen Aufgabe einfache Lichtblitze im zentralen Blickfeld appliziert bekamen. Die Asymmetrie hingegen wurde umgekehrt, als Personen visuospatiale Aufgaben durchführten. Andere Forscher haben über ähnliche Erkenntnisse berichtet (Papanicolaou 1980; Rasmussen et al., 1977). Es ist wichtig, die Resultate jener Studien mit einem gewissen Vorbehalt zu betrachten, in denen die Bewertung der beobachteten Asymmetrien ohne Kontrolle des kognitiven Settings erfolgte. Bei der Bearbeitung von experimentellen Aufgaben ist es denkbar, daß die Versuchspersonen ihre eigenen kognitiven Strategien zur Lösung der Aufgaben konstruieren. Geringstenfalls verursacht dieser Vorgang eine erhöhte intersubjektive Varianz in den evozierten Potentialen und schlimmstenfalls wird eine nicht beabsichtigte Strategie (z.B. verdeckte Verbalisation bei bildhafter Stimulation) von sämtlichen Versuchspersonen innerhalb eines Experimentes angewendet. Dies hätte dann zur Folge, daß der so konfundierende Störfaktor des kognitiven Settings in unerkennbarer Weise die beobachteten Asymmetrien moderiert und somit Interpretationen fehlgeleitet würden.

*Das Problem des Mittelns*

Das gemittelte EKP bildet im engeren Sinne nur dann eine genaue Abbildung der Aktivität ab, falls die Aktivität von Trial zu Trial nicht variiert. Hiermit ist nicht die unsystematische Variation des EEG-Signals durch Hintergrundrauschen gemeint. Wenn jedoch einzelne Trials nicht denselben zeitlichen Bezug zu dem auslösenden Stimulus aufweisen (Latenz-Verschiebung), wird der resultierende Durchschnitt verzerrt. In diesem Zusammenhang ist es jedoch viel wichtiger zu beachten, daß der Grad der Latenz-Verschiebung als Funktion der experimentellen Variablen schwanken kann. Unterschiede bezüglich der Amplitude und Latenz einer EKP-Komponente werden so irrtümlich interpretiert. Bis heute gibt es nur wenige VHF-Studien, die spezifische Methoden verwendeten, welche die Schätzung und Behebung von Latenz-Verschiebungen in einzelnen Trials implementierten (z.B. der Woody Filter (Wastell, 1977)). In der Mehrheit bisheriger

Untersuchungen werden Amplitudenunterschiede als genuine Unterschiede bezüglich der einzelnen Trials zugeschrieben.

# 2.6 Lateralität und die P300

## 2.6.1 Charakteristika und Interpretation der P300

Ein positiver Peak mit einer längeren Latenz mit einem Maximum zwischen 300 und 600 ms nach der Stimuluspräsentation, mehr im Zusammenhang mit salientem Informationsgehalt als mit physikalischen Stimuluseigenschaften. Wurde erstmals durch Sutton und Mitarbeiter (1965) beschrieben. Sie benannten diese EKP-Komponente P300, welche sich alsbald als die meist untersuchte EKP-Komponente sowohl in psychologischen als auch in klinischen neurobiologischen Studien erweisen sollte (s. Fabiani et al., 1987 und Rösler et al. 1986 für einem erweiterten Überblick in der P300 Forschung). Der Großteil der Forschung verdeutlichte, daß sich die späte positive Komponente in unterschiedliche Subkomponenten gliedern läßt (Squires et al. 1975). Durch Hauptkomponentenanalysen konnten mehrere verschiedene Subtypen im Latenzbereich des P300-Komplexes identifiziert werden, wobei jeder einzelne Typ eine unterschiedliche Skalpverteilung aufwies. Im wesentlichen läßt sich die P300 in eine P3a und eine P3b unterteilen. Die P3a hat ihr Maximum über den präfrontalen Regionen. Eine P3b Aktivität mit einer durchschnittlichen Verzögerung von 50 ms nach der P3a wird typischerweise über den parietalen Regionen identifiziert.

Sicherlich auch wegen dem Umstand, daß die P300 kein einheitliches Gehirnpotential darstellt, existiert eine weitreichende Kontroverse hinsichtlich der cerebralen Generatorstrukturen welche die P300 erzeugen. Bspw. postulierten Halgren et al. (1980) einen centraltemporalen Ursprung (und damit einen Zusammenhang zu solchen Regionen, welche in Gedächtnis- und Lern-Prozessen involviert sind) mit Hilfe von EEG-Aufzeichnungen bei Menschen, aber auch z.B. durch MEG Studien von Okada et al. (1983). Andererseits zeigten spätere Studien Evidenzen dafür auf, daß der Ursprung der P300 in anderen Regionen zu lokalisieren sei, bspw. im Thalamus (Allison, 1984) oder im Frontallappen (McCarthy und Wood, 1987). Zusammenfassend betrachtet, läßt die uneinheitliche Befundlage die Vermutung zu, daß die P300 eher eine Summation verschiedener Generatoraktivitäten darstellt.

Das meist erforschte Paradigma zur Untersuchung der P300 stellt das sogenannte Oddball-Paradigma dar. Hierbei sind die Versuchspersonen angeleitet, auf einen bestimmten Reiz mit einer seltenen Auftretenswahrscheinlichkeit zu reagieren, welcher wiederum in einem Setting häufiger nicht relevanter Reize eingebunden ist. Die resultierenden P300-Amplituden (10-20 uV) sind vergleichsweise größer, wenn der auslösende Stimulus aufgabenrelevant oder seltener ist, als bei den häufigen oder irrelevanten Reizen. Es wird angenommen, daß eine ganze Reihe möglicher

unterschiedlicher kognitiver Prozesse die Amplitude der P300 moduliert (Fabiani et al., 1987). Im Allgemeinen jedoch, werden die Auftretenswahrscheinlichkeit, die Aufgaben-relevanz und die Wertigkeit der Rückmeldung auf einen Stimulus als die Hauptdeterminanten der P300 betrachtet. Die Komponente indiziert demnach mehr die Bindung von kognitiven Resourcen an Stimulus-Wahrnehmung und -Klassifikation als an Reaktion-Selektion und -Ausführung. Die Amplitude der P300 steht in inverser Beziehung zur Auftretenswahrscheinlichkeit des auslösenden Reizes. Die zentraltemporalen Generatoren der P300 unterstützen die theoretische Interpretation der P300 sensu Donchin und Coles (1988), daß die Komponente die Aufrechterhaltung von Informationen des Arbeitsgedächtnisses indiziert. Die P300 würde demnach einen Update-Prozess von Gedächtnisrepräsentationen anzeigen. Andere Autoren (bspw. Campbell et al., 1979; Johnson, 1986) postulieren eher eine andere Sichtweise. Je höher der informative Bedeutungsgehalt eines auslösenden Reizes ist (entweder in Form von kontextuellen Eigenschaften oder von emotionaler Wirkung) , desto größer wird die Amplitude der P300. Nach dieser Interpretationsweise resultieren größere Amplituden, wenn mehr Aufmerksamkeitsresourcen auf den auslösenden Reiz bezogen werden müssen. Somit sollen größere P300-Amplituden besonders durch saliente Stimuli, reizvolle oder interessante Informationen evoziert werden (Johnston et al., 1986; Lang et al., 1990; Yee und Miller, 1987), In den meisten Fällen geht der P300 eine negative Welle (N200) voraus. Hillyard und Kutas (1983) erweiterten letztere Hypothese dahingehend, daß diskriminative Prozesse, welche der N200 zugrunde liegen, die Basis der P300 bilden sollen, welche wiederum die nächste Phase an Gedächtnis-Updating oder Entscheidungsfindung abbildet.

Hinsichtlich der Variation der Latenz der P300 Komponente, wird allgemein angenommen, daß die P300-Latenz einen mentalen chronometrischen Index hinsichtlich der Stimulus-Evaluations-Zeit darstellt (Kutas et al., 1977). Nach dieser Annahme indiziert die P300-Latenz die Schnelligkeit der Stimulus-Klassifikation, welche aus der Diskrimination des Stimulus von Gedächtnisinhalten durch Update-Prozesse resultiert. Tatsächlich konnte gezeigt werden, daß die P300-Latenz systematisch wächst, mit steigender Aufgaben-Komplexität und -Schwierigkeit. In den Arbeiten von Kutas et al., charakterisierten Reaktionszeiten und P300-Latenz verschiedene Aspekte von kognitiven Verarbeitungsprozessen: Während die Reaktionszeiten eher solche Prozesse reflektieren, welche in kognitiven Entscheidungen und Verhaltensreaktionen involviert sind, soll die P300-Latenz eher ein Indikator für Stimulus-Evaluationsprozesse (wie Enkodierung, Wahrnehmung und Klassifikation) darstellen - unabhängig von der Verhaltensselektion und Ausführung. So berichten Rösler et al. (1986), daß die P3b-Latenz diejenige Zeit reflektiert, welche zum Aufbau einer internen Repräsentation der eingehenden Information benötigt wird. In diesem Zusammenhang wurde oft die Fragestellung untersucht, ob Informationsprozesse eher in diskreten sequentiellen Schritten,

also in einem seriellen Modus (eine Stufe wird komplettiert und ihre Analyse gibt ihre Ergebnisse an die nächste weiter) oder in einem parallelen Modus ablaufen. Einige Studien bestätigten letztere Annahme.

Die P300 wird nur noch durch Reize evoziert, die im aktuellen Kontext eine Bedeutung haben; sie ist weitgehend unabhängig von physikalischen Eigenschaften der auslösenden Reize. Erfordert ein Reiz eine komplexe Informationsverarbeitung, kann sich an die P300 eine Slow Wave in Form einer lang dauernden Positivierung anschließen. Aufgabenrelevante Reize lösen eine Reihe von langsamen Wellen aus, die durch die geforderte Reizverarbeitung beeinflußt werden. Darunter zählt u.a. die P300 mit einer Latenz zwischen 300 und 800 ms und zentro-parietal maximalen, positiven Amplitudenmaxima, die vor allem mit der Reizbedeutung variiert und Prozesse der Gedächtnisformierung zu indizieren scheint (Donchin, 1988; Birbaumer, 1988); eine positive Slow Wave mit einem ebenfalls zentro-parietalen Amplitudenmaximum zwischen 800 und 1500 ms, die mit der Wahrnehmungsschwierigkeit variiert; und eine sich anschließende frontal positive, zentro-parietal negative Slow Wave mit höheren Amplituden über der linken Hemisphäre, die mit der konzeptuellen Aufgabenschwierigkeit variiert (Ruchkin, 1988; Rösler, 1991). Rösler führt weitere Beispiele für aufgabenspezifische langsame Wellen an. Mittelt man das EEG nicht reiz-, sondern reaktionskontingent, so zeigt sich in den 500 bis 800 ms vor einer willentlichen Bewegung eine kontralateral maximale Negativierung über dem motorischen und prämotorischen Cortex. Dieses Bereitschaftspotential ist um so ausgeprägter, je komplexer die anschließend ausgeführte Bewegung ist. Elbert (1993) schlägt ein umfassendes Modell zur Entstehung langsamer kortikaler Potentiale vor. Es postuliert, daß langsame kortikale Potentiale die Erregbarkeit kortikaler Neuronenstrukturen reflektieren. Als ein Beispiel für die sich aus dem Modell ergebende funktionelle Interpretation ‚klassischer' Komponenten führt Elbert (1993) die P300 an. Die Reizenkodierung in das Langzeit-gedächtnis erfordert, daß große Bereiche des Cortex inhibiert werden, um die gezielte Stärkung der synaptischen Verbindungen zwischen einigen Neuronen zu ermöglichen. Diese Inhibition besteht in der großflächigen Erhöhung der neuronalen Erregungsschwellen und zeigt sich an der Schädeloberfläche als positive Welle - eben als P3. Dieser Ansatz stellt eine Verbindung her zwischen dem rein funktionellen Modell des context updating (Donchin, 1988) und den neurophysiologischen Grundlagen dieses Phänomens, daß es sich bei der P300 um ein inhibitorisches Ereignis handelt, konnten Rockstroh et al. (1992) nachweisen: Einfache Reaktionen auf einen Reiz erfolgen langsamer, wenn dieser Reiz während der P300-Latenz evoziert wird. Auch das Vertexpotential auf den Reiz, erfaßt als Differenz zwischen NI und P2, ist während der P300 vermindert. Diese Befunde werden als Beleg für eine verminderte kortikale Erregbarkeit während eines Zustandes kortikaler Positivität interpretiert. Eine

weitere Unterstützung der Hypothese, daß die P300 ein inhibitorisches Ereignis darstellt, ergibt sich aus den Studien von Schupp (1994) und Roberts (1994). In diesen Studien wurde durchgängig gefunden, daß die Hemmung einer vorbereiteten Reaktion mit größeren P300-Amplituden an den frontalen und zentralen Elektroden einher geht. Wenn man das Modell von Elbert (1993) zusammenfaßt, ergeben sich folgende Kernaussagen bezüglich langsamer Potentiale: Positive langsame Potentiale indizieren einen Zustand verminderter neuronaler Erregbarkeit, negative Potentiale entstehen in einem Zustand erhöhter neuronaler Erregung. In dem Zustand der kortikalen Positivität ist die Verarbeitung neuer Reize erschwert, ein solcher Zustand tritt bspw. mit der P300 während der Vermittlung von Gedächtnisprozessen auf. Langsame kortikale Potentiale weisen eine funktionspezifische Topographie auf. Die P300, als eine zentro-parietal oder parietal maximale Positivierung und eine sich häufig anschließende langsame positive Welle gleicher Topographie. Beide Potentialverläufe scheinen Gedächtnisprozesse widerzuspiegeln (Birbaumer, 1988; Donchin, 1988; Verleger, 1988).

### 2.6.2 Befundlage zur Asymmetrie der P300

Die P300, ursprünglich von Sutton (1967) beschrieben. Wurde von einer Vielzahl von Forschern zur Untersuchung von kognitiven Variablen benutzt (zwecks Überblick s. Verleger, 1988; Donchin, 1988). Im Zusammenhang mit Asymmetrie-Experimenten begannen Anfang der siebziger Jahre einige Forscher (u.a. Friedman, 1975) damit, die P300 als elektrokortikalen Indikator für cerebrale Asymmetrieprozesse bei der Verarbeitung verbalen Materials zu verwenden. Doch schon damals berichteten die Autoren über unsystematische Asymmetrie-Effekte in der späten Positivierung des EKP. Die Autoren wiesen in diesem Zusammenhang auf eine Reihe von methodischen Schwierigkeiten (Unzulänglichkeiten im experimentellen Design, in der Aufnahmetechnik und in den Analyseverfahren) hin, welche sich im Zusammenspiel mit der Erfassung von elektrokortikalen Signalen und Verarbeitungsasymmetrien ergaben. Shelburne (1972) zeigte seinen Versuchspersonen 3-Buchstaben-Wörter oder 3-Buchstaben-Nonsenswörter in einem tachistoskopischen Paradigma. Die Probanden waren nach suksessiver Darstellung des 3. Buchstabens angehalten, zu beurteilen, ob das Wort ein Nonsens- oder Echt- Wort darstellte. Das gemittelte evozierte Potential auf den letzten Buchstaben beinhaltete eine große P300-Amplitude, unabhängig vom Inhalt des Wortes. Darüber hinaus konnte für keine Komponenten des EKP eine interhemisphärische Asymmetrie nachgewiesen werden. In ähnlicher Weise zeigten Friedman et al. (1975) ganze Sätze, um auf Seiten der Versuchsperson eine verbale Elaboration der Stimuli zu

erzielen. Doch auch in diesem Experiment konnten keine Asymmetrien in irgendeiner Komponente des EKP gefunden werden.

Obwohl es substantielle Hinweise aus klinischen Daten gibt, welche die Hypothese unterstützen, daß die LH bei der Verarbeitung verbalen Materials überlegen ist, spiegeln die Befunde der EKP-Forschung keine eindeutigen Ergebnisse wider. Obwohl besonders die P300 effektiv als Indikator für zugrundeliegende verbale Verarbeitungsprozesse interpretiert werden kann, ist das Befundmuster hinsichtlich interhemisphärischer Asymmetrien alles andere als eindeutig. Neben einer Vielzahl von methodischen Störvariablen haben Gallin und Ellis (1975) auch den Einfluß der Spontan-EEG-Aktivität auf das EKP genannt. Sie vermuteten, daß Asymmetrien in EKP zu einem Großteil abhängig von den Asymmetrien der Alpha-Amplituden des Spontan-EEG sein sollen. In ihrem Experiment weisen die Autoren einen Zusammenhang zwischen Alpha-Power und dem kognitiven Modus der Verarbeitung einer experimentellen Aufgabe nach. Bei der Untersuchung cerebraler Asymmetrien mittels EKP betonen sie die Kontrolle des kognitiven Modus der Versuchspersonen, um reliable Ergebnisse zu erzielen.

### 2.6.3 P300 bei Split-Brain Patienten

In ihrem Experiment untersuchten Kutas et al. (1990) auf direkte Art und Weise die Konsequenzen einer Sektion des Corpus Callossum auf die bilaterale Verteilung der P300, evoziert durch unilateral dargebotene visuelle Stimuli. Ein zentraler Aspekt ihrer Fragestellung war, ob die P300 lateralisiert ist oder wird sie, ähnlich wie die CNV, zentral aus Teilen der Formatio Reticularis (FR) des Mittelhirns durch afferente Bahnen in den Cortex projiziert (s. Desmedt, 1981). Weiterhin stand die Frage im Mittelpunkt, falls eine lateralisierte P300 bei Split-Brain Patienten durch eine unilaterle Reizdarbietung evoziert wird, würde dieser Befund eher für spezifische kognitive Prozessoperationen innerhalb einer Hemisphäre sprechen, als für diffuse nicht lateralisierte hemisphärenübergreifende Arousalprozesse. Außerdem untersuchte man, inwieweit beide Hemisphären in der Lage sind, unabhängig (parallel) Informationen zu verarbeiten oder ob beide Hälften in einer gegenseitigen Wechselbeziehung stehen, z.B. daß eine Hemisphäre die andere hemmt oder aktiviert.

*Evidenzen dafür, daß die P300 durch subkortikale Strukturen generiert wird*

Eine Hypothese, welche kortikalen Strukturen verantwortlich für die Generierung der P300 sind, basiert auf der Annahme, daß die P300 als flüchtige Reduktion der Neuromodulation der FR bzw. ein Teil eines Inhibitionsprozesses der FR sei. Diese Hypothese basiert auf unterschiedlichen Evidenzen. So zum Beispiel führten bilaterale Läsionen des Locus Ceruleus (subkortikale Projektionen in den Cortex) bei Affen zu einer deutlichen Reduktion der P300 (Pineda, 1989). Weitere Evidenzen weisen auf starke Generatorstrukturen im mesialen Temporallappen hin, bis hin zum Hippocampus und Amygdala (Stapleton, 1987; McCarthy, 1989). Darüber hinaus führt eine unilaterale kortikale Läsion an der temporalen-parietalen Verbindungsstelle weitgehend zur Löschung der P300 bei seltenen Reizen in einem akustischen Oddballparadigma - bis dato ist es allerdings unklar, ob genau diese Stelle eine primäre Generatorquelle oder lediglich eine vermittelnde Region darstellt.

*Der Split-Brain Ansatz beim ereigniskorrelierten Potential*

Um heraus zu finden, welche kortikalen Strukturen maßgeblich für die Generierung der P300 verantwortlich sind, wurden schon früher Untersuchungen an Patienten durchgeführt, welche ein durchtrenntes Corpus Callossum hatten (Gazzaniga, 1973; Hillyard, 1973; Kutas, 1990). Bspw. wendeten Gazzaniga und Hillyard (1973) an Split-Brain Patienten ein VHF-Paradigma an, in dem mit einem unilateralen Reiz lediglich die kontralateral gelegene Hemisphäre stimuliert wurde. Interessanterweise konnten sie als Reaktion auf die einseitige Reizung eine symmetrische CNV

messen. Also auch über derjenigen Hemisphäre konnte eine CNV gemessen werden, welche nicht dem Warnstimulus ausgesetzt wurde. Die Autoren schlossen daraus, daß die Kontrolle der CNV maßgeblich von subkortikalen Strukturen stammt, welche im Gehirnstamm anzusiedeln seien. Die hier zitierte Untersuchung von Kutas et al.(1990) benutzt einen ähnlichen Ansatz, in dem die Hemisphären von Split-Brain Patienten in einem ersten Experiment unilateral und in einem zweiten bilateral mit visuellen Reizen stimuliert werden. Frühere Studien zeigten, daß bei gesunden Personen die P300 Komponenten welche durch unterschiedliche Modalitäten evoziert wurden, entweder bilateral symmetrisch über den Skalp verliefen (Snyder, 1980; Desmedt, 1977) oder eine leichte Tendenz zeigten, etwas größere Amplituden auf der ipsilateral zur visuellen Halbfeldstimulation gelegenen Hemisphäre aufzuweisen (Heinze, 1990; Hillyard, 1984; Mangun, 1990).

*Methode*

Insgesamt wurden 12 Probanden untersucht. Davon waren 5 Patienten mit einem durchtrennten Corpus Callossum und 7 gesunde Versuchspersonen in einer Kontrollgruppe. Den Personen wurden Wörter (Namen von Personen) entweder unilateral oder bilateral dargeboten. Die Darbietungsweise erfolgte einmal visuell und zum anderen auditiv. Die Darbietungszeit der einzelnen Stimuli betrug 180 ms bei einem horizontalen Winkelabstand von 1.2° (bilateraler Darbietungsmodus). Insgesamt durchliefen die Probanden drei experimentelle Blöcke (uni-lateral-visuell, bilateral-visuell, bilateral-auditiv) mit je 100 Trials, wobei das Interstimulus-intervall zwischen 1500 und 1800 ms variierte. Die Teilnehmer hatten die Aufgabe, ihren Namen auf einer bestimmten Seite zu lokalisieren. Die Reaktionshand des Probanden lag analog zur Targetseite und man sollte so schnell wie möglich reagieren. Die Auftretenswahrscheinlichkeit der Targets lag bei 4%.

*Zusammenfassung der Ergebnisse und Interpretationen*

In der Kontrollgruppe war die P300 im wesentlichen symmetrisch über beiden Hemisphären, unabhängig von der Seite der Halbfeldstimulation (uni- vs. bilateral) und der Art der Stimulation (visuell vs. auditiv).

Die marginalen Asymmetrien, welche sich als eine Funktion des visuellen Halbfeldes des Zielreizes abzeichneten, können laut der Autoren wahrscheinlich als sich überlappende negative motorische Bereitschaftspotentiale derjenigen Hemisphäre interpretiert werden, welche kontralateral zur Reaktionshand liegt. Demnach führt eine kontralaterale Negierung (durch einen Reaktions vorbereitenden Prozess) zu einer ipsilateralen Positivierung in der P300-Komponente.

Bei jedem der vier Split-Brain Patienten konnte eine asymmetrische P300 durch lateral dargebotene Zielreize evoziert werden. Die Asymmetrie bestand derart, daß eine relativ größere P300 auf der rechten Hemisphäre durch links lateral dargebotene Zielreize evoziert wurde und eine mehr symmetrische Verteilung der P300 bei rechtslateralen Zielreizen resultierte.

Die Tatsache, daß eine klare P300-Asymmetrie bei den Split-Brain Patienten durch unilateral projizierte Reize evoziert werden konnte, nehmen die Autoren zum Anlass, die Ausgangshypothese, daß die P300 durch ein bilaterales diffuses subkortikales System aktiviert wird, in Frage zu stellen.

Die Ergebnisse liefern allerdings keinen eindeutigen Beweis dafür, daß in den beiden Hemisphären völlig unabhängige Generatorsysteme arbeiten. Denn lateralisierte unabhängige Generatoren würden eine umgekehrte EKP-Asymmetrie für links- vs. rechts- lateral dargebotene Stimuli zur Folge haben. Statt dessen indiziert die P300-Lateralität eine komplexe Interaktion beider Hemisphären in der Generierung dieser Komponente.

Wie bei den Kontrollpersonen zeigen auch die Split-Brain Patienten bei der bilateralen Stimulusdarbietung größere P300-Amplituden über dem gesamten Skalp, obgleich die resultierende Amplitude kleiner als die zu erwartende Summe der unilateral evozierten Amplituden ist.

Die Befunde von Knight (1989) deuten bspw. darauf hin, daß die Generierung P300 von einem interhemisphärischen Vergleich der sensorischen Daten in den superioren temporalen Flächen abhängt. Sie berichten über eine deutliche bilaterale Reduktion der P300 (durch auditive Reize) bei einer unilateralen Läsion der Verbindung des posterioren-temporalen zum inferioren-parietalen Cortex.

Die Ergebnisse bei den Split-Brain Patienten implizieren, daß neben den Hemisphären auch subkortikale Strukturen in der Generation und/oder Kontrolle der P300 Komponente eine Rolle spielen. Das Corpus Callossum spielt demnach bei der Moderation der P300-Asymmetrie eher eine untergeordnete Rolle.

Eine Reihe von Autoren nehmen an, daß Alarm- und Aufmerksamkeits- Funktionen eher asymmetrisch in den beiden Hemisphären repräsentiert sind (Trevarthen, 1973; Heilman, 1980; Heilman, 1987; Horn, 1982).

Gerade Heilman et al. (1987) berichten über ein Ergebnismuster von gesunden Personen welches die Befunde der hier zitierten Studie (Kutas, 1990) von Split-Brain Patienten unterstützen. Sie zeigten, daß eine elektrokortikale Reaktion der LH ausschließlich durch RVHF-Stimulation ausgelöst werden konnte. Hingegen konnte die RH durch Stimulation beider VHF aktiviert werden. Die Autoren schlußfolgern, daß die RH dominant für visuelle Aufmerksamkeitsprozesse sei.

Analog dazu zeigen die Ergebnisse von Dimond (1976) und (1979), daß Split-Brain Patienten lateralisiert dargebotene Zielreize (zeitlich verlängerte Darbietung) besser im LVHF

wahrgenommen hatten. Er schlußfolgerte daraus, daß die RH im Vergleich zur LH eine generelle Überlegenheit hinsichtlich aufrechterhaltender Aufmerksamkeit hat.
Kutas et al. (1990) kommen ebenfalls zu dem Schluß, daß das generelle rechtshemisphärische Übergewicht der P300 (s.o.) bei Split-Brain Patienten, eine relative bevorzugte Aktivierung der RH im Vergleich zur LH bei Aufgaben mit Aufmerksamkeitsorientierung widerspiegelt.

### 2.6.4 P300 als elektrophysiologisches Korrelat dieser Studie

Eine EKP-Analyse ist insbesondere informativ, da Interaktionen von kognitiven und motorischen Interferenzen durch die Parameter des EKP getrennt werden können. Durch die Erfassung des EKP können Aussagen über komplexe Verarbeitungsprozesse gemacht werden, welche durch die alleinige Messung von Verhaltensparametern nicht möglich wären. Besonders interessant ist in diesem Zusammenhang u.a. die Latenz der P300-Komponente. Mit diesem Kennwert lassen sich auch stimulusevaluierende und reaktionsvorbereitende Prozesse trennen (McCarthy und Donchin 1981).
Außerdem können langsame kortikale Potentiale Rückschlüsse auf zugrunde liegenden komplexe kognitive Prozesse der Informationsverarbeitung zulassen. Insgesamt weisen langsame kortikale Potentiale eine aufgabenspezifische Topografie auf. Ihre Dauer und Amplitude variiert mit den Anforderungen der jeweiligen Aufgabe. Die Abfolge spezifischer Muster langsamer kortikaler Potentiale läßt Rückschlüsse auf die Sequenz zugrunde liegender kognitiver Verarbeitungsschritte zu. Daher ist innerhalb dieses Untersuchungsrahmens die P300-Komponente des ereigniskorrelierten Potentials besonders geeignet, um cerebrale Lateralitätseffekte während der Verarbeitung von Wörtern und Gesichtern zu untersuchen.
Darüber hinaus ist die P300 die meist untersuchte kognitive EKP-Komponente. Es gibt eine Vielzahl von Untersuchungen und Erkenntnissen hinsichtlich der Interpretation dieser Komponente. So wird sie maßgeblich mit Stimulus-Klassifikation und -Evaluation assoziiert (s. Kap. 2.6.1). Gerade die Verarbeitung von verbalen und emotional/visuellen Stimulusmaterials ist mit komplexeren Informationsprozessen in Verbindung zu bringen, welche sich in langsamen kortikalen Potentialen widerspiegeln. In dem in dieser Arbeit verwendeten visuellen Halbfeld-Paradigma mußten die Versuchspersonen die bilateral dargebotenen Stimuli mit ihren Gedächtnisinhalten abgleichen. Ein sogenanntes Context-Updating zwischen dem dargebotenen Stimulus und dem Gedächtnisinhalt mußte demnach von Trial zu Trial erfolgen. Da die P300 die vor allem mit der Reizbedeutung variiert und Prozesse der Gedächtnisformierung zu indizieren

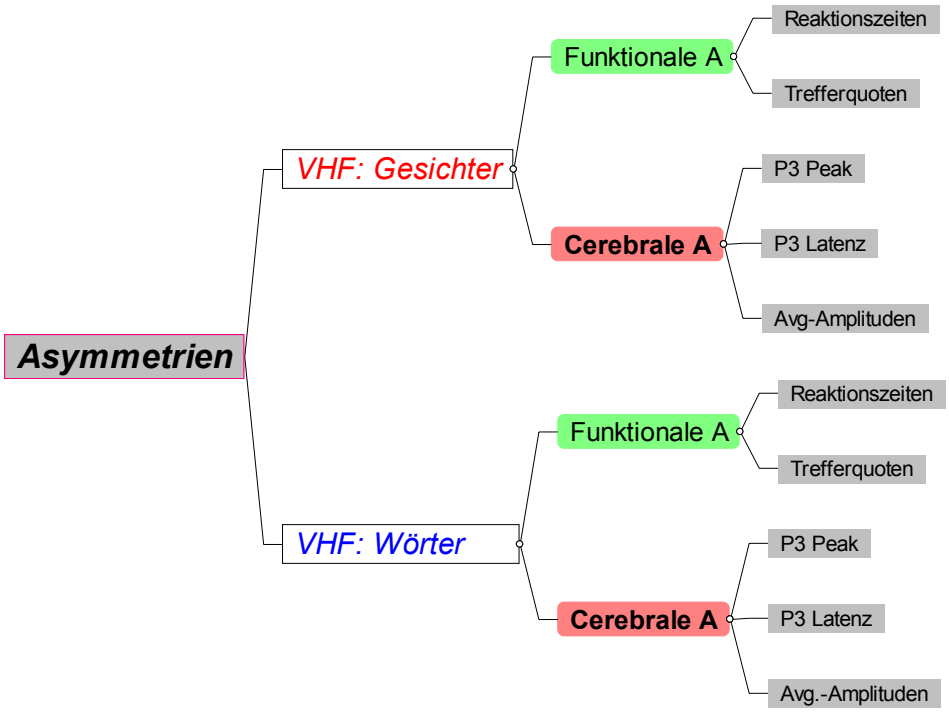
scheint, wird diese Komponente als zentraler elektrophysiologischer Parameter zur Untersuchung von cerebralen Lateralitätseffekten in dieser Arbeit verwendet. Falls ein Hemisphärenvorteil hinsichtlich eines bestimmten Stimulusmaterials oder einer bestimmten Informations-Verarbeitungsstufe existiert (wie in einer Vielzahl von Studien zur Untersuchung von funktionellen Verhaltensasymmetrien postulieren), so müßte sich der Lateralitätseffekt in der P300 Komponente hinsichtlich ihrer Amplitude und Latenz widerspiegeln.

# 3 Empirischer Teil

## 3.1 Einführung in die Wahrnehmungsexperimente

Ziel der beiden Experimente ist die Analyse von funktionellen Verhaltensasymmetrien sowie der cerebralen Asymmetrien in Abhängigkeit von unterschiedlichem Reizmaterial. Insgesamt stehen drei Zusamenhangsebenen unterschiedlicher Asymmetriemaße zur Diskussion. Einmal die Ebene funktioneller Verhaltensasymmetrien, dann die Ebene der cerebralen Asymmetrien und schließlich die Wechselwirkungsebene zwischen funktionellen Asymmetrien der Verhaltensebene und cerebralen Asymmetrien kortikaler Aktivierung. Daraus resultiert eine weitere Frage, nämlich wie sich die jeweiligen Asymmetrie-Effekte in Abhängigkeit von abstrakten/verbalen vs. emotionalen/bildhaften Reizmaterial verändern.

**Abb. 3-1: Asymmetrie-Ebenen und deren Operationalisierung**




Die Abbildung 3-1 zeigt den Zusammenhang zwischen den drei Asymmetrie-Ebenen und deren Operationalisierung. Durchwandert man das Schaubild von links nach rechts, so bildet die erste Ebene die Unterscheidung zwischen den beiden Reizmaterialien. Nämlich abstraktes/verbales und emotionales/bildhaftes Material. Ersteres ist in der Literatur weitgehend mit einer

linkshemisphärischen Dominanz und letzteres in umgekehrter Weise mit einer rechts-hemisphärischen Dominanz hinsichtlich der Verarbeitung assoziiert. Beide Stimulustypen akzentuieren demnach eine spezifische Gehirnhälfte und moderieren daher unterschiedliche Asymmetrieformen. Geht man in dem Schaubild einen weiteren Schritt nach rechts, so werden hier die funktionellen Verhaltensasymmetrien sowie die cerebralen Asymmetrien kortikaler Aktiviertheit unterschieden. Hinsichtlich einer Reihe von unterschiedlichen Studien stehen beide Asymmetrieformen in Abhängigkeit von der Verarbeitung eines hemisphärenspezifischen Reizmaterials. Beide Asymmetrietypen müssen jedoch nicht parallel verlaufen, sie können mit einander interagieren oder sie sind völlig unabhängig voneinander.

Die letzte Ebene des Schaubildes (Abb. 3-1, rechte Spalte) stellt die Operationalisierungs-ebene der unterschiedlichen Asymmetrieformen dar. Eine wichtige abhängige Variable dieser Studie bildet die P300. Denn gerade was die Unterscheidung der relevanten Informations-inhalte angeht, nämlich zwischen Wort und Nicht-Wort bzw. zwischen Emotion und Nicht-Emotion scheinen besonders die späteren Stufen der Informationsverarbeitung von Bedeutung zu sein, um adäquate Entscheidungen treffen zu können. In der Annahme, daß die Erfassung der endogenen Komponente ein direktes elektrophysiologisches Korrelat regionaler Gehirnak-tivität in Bezug auf die Verarbeitung spezifischen Reizmaterials darstellt, wird in den vorliegenden Analysen die P300 Komponente des EKP im Mittelpunkt stehen. Die Ebene der cerebralen Asymmetrie kortikaler Aktiviertheit wird also einerseits durch die EKP-Komponente der P300 in Form ihrer Amplituden und Peak-Latenz und andererseits durch einen Satz von Average-Amplituden operationalisert. Die Average-Amplituden bilden jeweils Fenstermittelwerte der mittleren Potentialamplituden der EKP in 100 ms Schrittweite (zur weiteren Erklärung s. Kapitel 3.3.7). Durch diese Zeitrasterung ist es möglich, auch potentielle Asymmetrie-Effekte in den frühen Stufen der Informationsverarbeitung zu identifizieren.

Wie in den meisten Studien zur Erfassung von performaten Asymmetrien des Verhaltens, werden in diesem Untersuchungsrahmen die funktionellen Verhaltensasymmetrien durch die Erfassung von Reaktionszeiten und Trefferquoten für jede Reaktionshand getrennt operationalisiert.

# 3.2 Hypothesen

Aus den verschiedenen Zusammenhangsebenen der Asymmetriemaße (siehe Einleitung in die Wahrnehmungsexperimente, Kapitel 3.1) können für jede Ebene folgende Haupt- und Unter-Hypothesen abgeleitet werden.

## 3.2.1 Hypothesen zu funktionellen Asymmetrien

1 **Reaktionszeiten**

*a) Abstraktes/Verbales Reizmaterial:*

Hinsichtlich einer Vielzahl an Evidenzen aus verschiedenen Forschungsbereichen für eine Dominanz der LH bei der Verarbeitung abstrakten/verbalen Stimulusmaterials wird eine kürzere Reaktionszeit für solche Stimuli erwartet, wenn sie im rechten visuellen Halbfeld dargeboten werden. Für sämtliche Verhaltensasymmetrien stellen die hier aufgeführten Hypothesen Replikationserwartungen in Bezug auf die Untersuchung von Mannhaupt (1983) dar.

*b) Emotionales/Bildhaftes Reizmaterial:*

In reziproker Weise resultiert aus einer RH Dominanz bei der Verarbeitung emotionalen/bildhaften Stimulusmaterials eine kürzere Erkennungszeit für Zielreize, wenn sie im linken visuellen Halbfeld dargeboten werden.

*c) Identifikation der Distraktorenpaare*

Zur Identifikation der Distraktorenpaare wird eine durchschnittlich verlängerte Reaktionszeit erwartet, denn der Abgleich zweier Nicht-Zielreize bedarf einer längeren Evaluationszeit als die der positiven Rückmeldung bei der Erkennung eines Zielreizes. Eine Lateralität der Reaktionszeit in Abhängigkeit der Reaktionshand wird für die Distraktorbedingung nicht erwartet.

2 **Trefferquoten**

*a) Abstraktes/Verbales Reizmaterial:*

Analog zu den verkürzten Reaktionszeiten wird eine Replikation zu Mannhaupt et al. (1983) hinsichtlich einer besseren Trefferquote (weniger Fehler) für abstraktes/ verbales Reizmaterial erwartet, wenn die Zielreize im rechten visuellen Halbfeld dargeboten werden.

*b) Emotionales/Bildhaftes Reizmaterial:*

In umgekehrter Weise resultiert aus einer RH Dominanz bei der Verarbeitung emotionalen/bildhaften Stimulusmaterials eine geringere Fehlerquote für Zielreize, wenn sie im linken visuellen Halbfeld dargeboten werden.

*c) Identifikation der Distraktorenpaare*

Wenn die Identifikation der Distraktorenpaare aufgrund des doppelten Evaluationsaufwandes für beide Darbietungsfelder relativ schwieriger ist, als die Benennung eines Zielreizes, so sollte die Fehlerquote auf die Distraktorenpaare höher ausfallen als die der einfachen Zielreiztrials. Ein Asymmetrie-Effekt der Trefferquote in Abhängigkeit der Reaktionshand wird für die Distraktorbedingung wird nicht erwartet.

### 3.2.2 Hypothesen zu cerebralen Asymmetrien

1 **P300-Amplitude**

*a) Abstraktes/Verbales Reizmaterial*

Aufgrund der Vielzahl an Evidenzen für eine LH Dominanz hinsichtlich der Verarbeitung verbaler Informationen, wird eine relativ größere P300-Amplitude mit einem Maximum an den centro-parietalen Elektrodenpositionen über der linken Hemisphäre, im Sinne einer relativ größeren linkshemisphärischen kortikalen Aktivität, erwartet. Da die Stimuli bilateral dargeboten werden, sollte die relativ linkshemisphärischen größere P300-Amplituden unabhängig von dem visuellen Halbfeld der Darbietungs-seite sein. Die Wechselwirkung zw. HEMI x VHF sollte statistisch nicht bedeutsam werden.

*b) Emotionales/Bildhaftes Reizmaterial:*

Aufgrund der RH Dominanz hinsichtlich der Verarbeitung emotional bildhafter Informationen wird eine relativ größere P300-Amplitude mit einem Maximum an den centro-parietalen Elektrodenpositionen über der rechten Hemisphäre erwartet. Da die Stimuli bilateral dargeboten werden, sollte die relativ rechtshemisphärischen größeren P300-Amplituden unabhängig von dem visuellen Halbfeld der Darbietungsseite sein. Die Wechselwirkung zw. HEMI x VHF sollte statistisch nicht bedeutsam werden.

*c) Identifikation der Distraktorenpaare*

Aufgrund der Aufgabenirrelavanz der Distraktorenpaare hinsichtlich der experimentellen Aufagenstellung sollte die P300-Amplitude geringer ausfallen als die der Zielreiztrials.

**2 P300-Latenz**

*a) Abstraktes/Verbales Reizmaterial*

Kürzere P300-Latenzen werden hinsichtlich der Verarbeitung abstrakten verbalen Materials über der gesamten LH erwartet. Falls der LH ein funktioneller Vorteil für verbales Material inhärent ist, so sollten die kortikale Informationsverarbeitung schneller und effizienter erfolgen, als in der RH, was sich in einer relativ kürzeren linkshemisphärischen Latenz der P300 niederschlagen soll.

*b) Emotionales/Bildhaftes Reizmaterial:*

Es wird erwartet, daß ein umgekehrtes Latenzmuster im Sinne von relativ kürzeren rechtshemisphärischen P300-Latenzen während der Verarbeitung emotional/ bildhaften Materials über RH resultiert.

*c) Identifikation der Distraktorenpaare*

Es wird erwartet, daß die durch die Distraktorenpaare evozierten P300-Latenzen länger ausfallen, da mit diesem Zielreiz eine erhöhte Aufgabenschwierigkeit assoziiert ist.

### 3.2.3 Hypothesen zur Interaktion der Asymmetrien auf Verhaltens- und kortikaler Ebene

*P300-Latenz und Reaktionszeiten*

Falls hemisphärenspezifische Latenzasymmetrien der P300-Komponente resultieren, so sollte ein Zusammenhang zu den Reaktionszeiten in Abhängigkeit des jeweiligen Reizmaterials bestehen. Kürzere P300-Latenzen kortikaler Aktiviertheit sollten mit kürzeren Reaktionszeiten auf der Verhaltensebene parallel verlaufen, d.h. das Asymmetriemuster der P300-Latenz sollte mit der Lateralität der Reaktionszeiten positiv korrelieren.

*P300-Amplitude und Trefferquoten*

Eine hemisphären und reiz -spezifische Lateralität der Trefferquoten sollte mit einer verstärkten Bemühung und somit erhöhten kortikalen Aktiviertheit der jeweiligen Gehrinareale einhergehen, was sich in einer positiven Korrelation zwischen P300-Amplitude und Trefferquoten widerspiegeln sollte.

# 3.3 Methode

## 3.3.1 Versuchspersonen

Die Untersuchungsteilnehmer wurden an der Universität Trier im Fachbereich Psychologie rekrutiert. In die Untersuchung wurden ausschließlich Rechtshänder aufgenommen. Die Bestimmung der Handpräferenz erfolgte anhand des Edinburgh Handedness Inventory (EHI; Oldfield, 1971). Hier werden zehn verschiedene manuelle Tätigkeiten aufgelistet, und die Person muß angeben, mit welcher Hand sie diese Tätigkeit vornehmlich ausführt. Die fünf-stufige Antwortskala umfaßt die folgenden Kategorien: „immer mit links" (=0), „vorwiegend mit links" (=1), „gleichermaßen mit links wie mit rechts" (=2), „vorwiegend mit rechts" (=3), „immer mit rechts" (=4). Ausschlußkriterium war die Bevorzugung der linken Hand bei zwei oder mehr dieser Tätigkeiten.

Von der Untersuchung ebenfalls ausgeschlossen wurden Personen mit erhöhten Depressionswerten, da verschiedene Untersuchungen zeigen, daß ein Zusammenhang zwischen Depression und veränderten Mustern funktioneller Hemisphärenasymmetrie besteht. Zur Erfassung depressiver Symptome wurde die Allgemeine Depressionsskala (ADS; Hautzinger, 1994) verwendet. Der Fragebogen umfaßt 20 Items, die das aktuelle Vorhandensein von und die Dauer der Beeinträchtigung durch depressive Affekte, körperliche Beschwerden, motorische Hemmungen, motivationale Defizite und negative Denkmuster erfassen. Die Person soll auf einer vierstufigen Skala angeben, wie häufig sie in der vergangenen Woche entsprechende Symptome erlebt hat (0=selten oder überhaupt nicht; 1=manchmal; 2=öfters; 3=meistens. die ganze Zeit). Der Summenwert dient als Kennwert aktueller depressiver Symptomatik; ein Rohwert >23 Punkten weist bei nichtklinischen Probanden auf die Möglichkeit einer ernsthaften depressiven Störung hin. Zur Probandenselektion wurden die Summenwerte in geschlechtsspezifische Normwerte (T-Werte) überführt. Von der Untersuchung ausgeschlossen wurden Probanden mit einem T-Wert > 60.

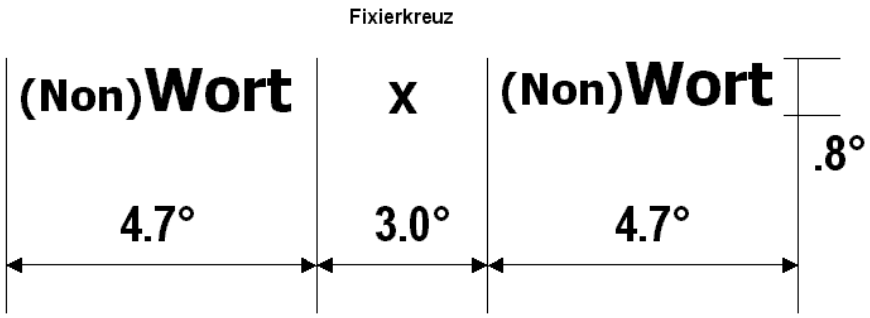
Insgesamt nahmen 44 rechtshändige und gesunde Personen teil. Das Alter der Probanden variierte zwischen 20 und 32 Jahren (M=23.4; SD=3.25). Es wurden 36 Frauen (81.82%) und 8 Männer (18.18%) untersucht. Der durchschnittliche Summenscore in der ADS lag bei M=50.18 (SD=6.97).

## 3.3.2 Verbales Reizmaterial

Als verbales Stimulusmaterial wurden in Anlehnung an die Untersuchung von Mannhaupt (1983) nur abstrakte Substantive ausgewählt, um eine mögliche bildhafte Assoziation mit dem Wortinhalt zu vermeiden. Als Grundgesamtheit wurde eine Liste von 18 verschiedenen abstrakten Substantiven ausgewählt (Frage, Gebet, Traum, Segen, Seele, Macht, Dauer, Moral. Recht, Sitte, Phase, Thema, Krise, Logik, Geist, Folge, Gnade, Sucht). Alle Wörter hatten eine Wortlänge von 5 Buchstaben. Aus diesen Substantiven wurden jeweils 18 korrespondierende sinnlose Wörter durch Vertauschen von einem oder zwei Buchstaben (z.B. aus Frage wurde Fareg oder aus Krise wurde Srike) gebildet. Die Vertauschung erfolgte vor der Untersuchungsreihe mittels eines Zufallsgenerators. Die Vertauschungen blieben über das gesamte Experiment für alle Versuchspersonen konstant. Die Wörter bzw. Non-Wörter wurden mit einer Darbietungsdauer von 150 ms in jedem VHF präsentiert.

Der Abstand der Reize vom Fixationspunkt war auf einen Sehwinkel von $3^0$ festgelegt (bezogen auf den letzten Buchstaben des Reizes dargeboten in des linken VHF bzw. den ersten Buchstaben des Reizes dargeboten in des rechten VHF). Eine detaillierte Grad/Abstands –Angabe findet sich in der nachfolgenden Abb. 3-2:

**Abb. 3-2: Abstände der lateralen Darbietung verbaler Stimuli**

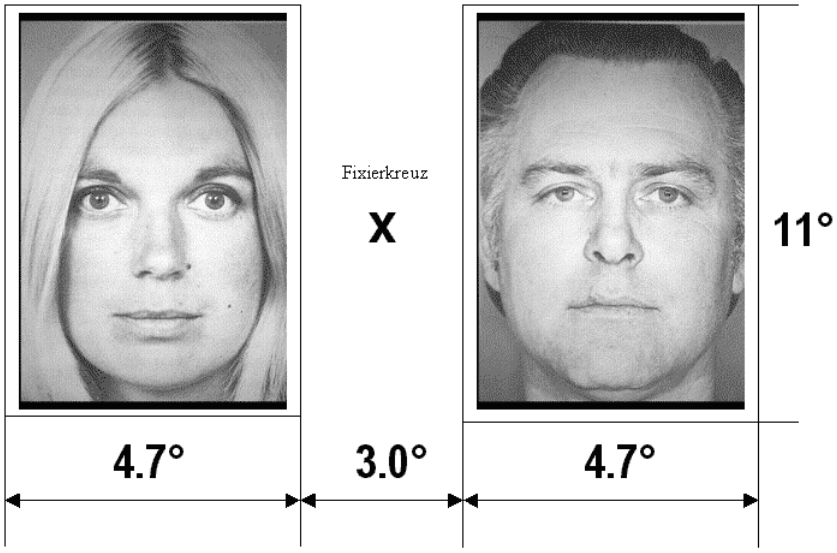



Insgesamt bestand ein experimenteller Block aus 108 Trials. was bedeutet, daß 36 Trials das Zielwort im rechten (RVHF) und 36 Trials das Zielwort im linken visuellen Halbfeld (LVHF) darstellten, mit jeweils einem Non-Wort auf der gegenüber liegenden Seite. In den verbleibenden 36 Trials wurde bilateral ein Nicht-Wort-Paar (Distraktorenpaar) dargeboten (BVHF), s. auch Kapitel 3.3.5 (Experimentelle Prozedur). Das Distraktorenpaar bestand aus zwei unterschiedlichen Non-Wörtern. Insgesamt wurde somit jedes der 18 Ursprungswörter vier Mal in einem experimentellen Block gezeigt.

### 3.3.3 Bildhaftes Reizmaterial

Die Grundgesamtheit des bildhaften Reizmaterials bildeten 28 Fotografien von Gesichtern aus dem Bildersatz von Ekman (1976). Das Reizmaterial bestand einmal aus sechs unterschiedlichen Basisemotionen: Freude, Überraschung, Ekel, Angst, Ärger, und Trauer (Überblick über das bildhafte Reizmaterial s. Anhang) und zum anderen aus einem Satz von 4 Gesichtern mit neutralem Ausdruck (Distraktoren). Jede einzelne Basisemotion wurde durch vier unterschiedliche Personenfotografien vermittelt, so daß das emotionale Reizmaterial insgesamt aus 24 verschiedenen emotionalen Gesichtern bestand. Das Geschlecht war ausbalanciert, demnach 12 männliche und 12 weibliche Gesichter. Bei einer Gesamtheit von 108 Trials pro experimentellen Block resultierten 36 Trials mit emotionalem Gesicht im rechten (RVHF) und 36 Trials mit emotionalem Geischtsausdruck im linken visuellen Halbfeld (LVHF) sowie 36 Distraktorentrials.
Eine detaillierte Grad/Abstands –Angabe der visuellen Halbfelddarbietung findet sich in der nachfolgenden Abbildung 3-3:

**Abb. 3-3: Abstandsangaben der lateralen Darbietung bildhafter Stimuli**




Jede einzelne Fotografie wurde insgesamt drei Mal in einem experimentellen Block gezeigt. Die verbleibenden 36 Trials bildeten die Distraktorengruppe. Neben den emotionalen Gesichtern existierten vier unterschiedliche Gesichter mit neutralem Gesichtsausdruck, je 2 Männer und 2 Frauen. Diese Reizkategorie wurde bilateral dargeboten, so daß in diesem Trial kein emotionales Gesicht dargeboten wurde, sondern auf beiden Seiten ein (unterschiedliches) neutrales Gesicht. Jeder dieser Distraktorenpaare wurde in einem experimentellen Block 36 Mal dargeboten.

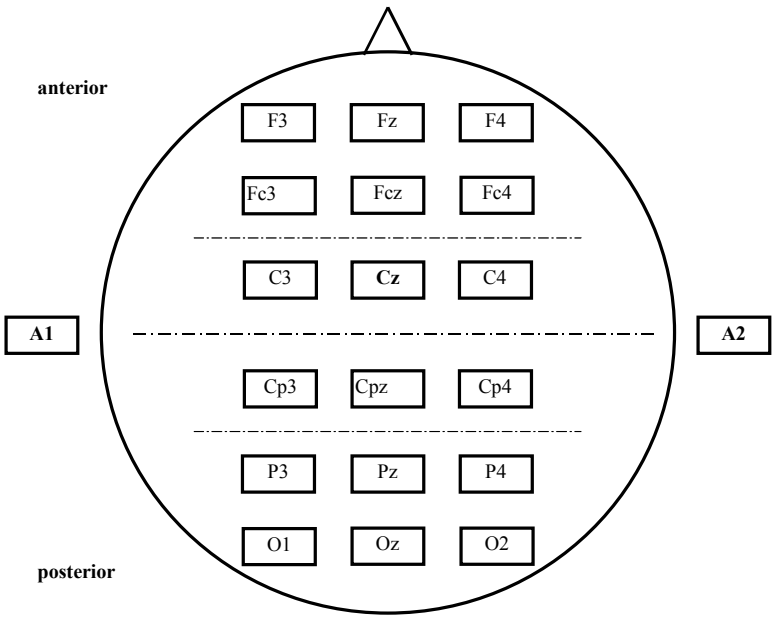
Die Darbietungsreihenfolge wurde so randomisiert, daß keine Basisemotion zweimal hintereinander dargeboten und daß in jedem Trial eine Frau und ein Mann gezeigt wurde. Auch die Darbietungsseite des Geschlechts war über alle Trails ausbalanciert.

## 3.3.4 Erfassung der elektrophysiologischen Maße und Verhaltensdaten

### 3.3.4.1 Messung und Digitalisierung des EEG

Die Ableitung des EEG erfolgte in einem galvanisch getrenntem Raum. Während der gesamten experimentellen Prozedur hörten die Versuchspersonen ein weißes Rauschen, um diese vor externen Schallereignissen abzuschirmen. Das EEG- und das EOG-Signal wurde von einem Verstärker (SynAmp, Model 5083, Neuroscan Inc., 32 Kanäle) mit einer Zeitkonstante von 3.6 Sekunden (entspricht einem Hochpaßfilter mit einer Grenzfrequenz von 0.044 Hz) und einem Tiefpaßfilter von 40 Hz verstärkt.

**Abb. 3-4: Skalpverteilung der Zielelektroden und Topografie-Faktoren**




Cz diente als Referenzelektrode. Abgeleitet wurden die Elektrodenpositionen frontal (F3, Fz, F4), frontozentral (FC3, FCZ, FC4), zentral (C3, C4), zentroparietal (CP3, CPZ, CP4), parietal (P3, Pz, P4)

und occipital (O1, Oz, O2) sowie beide Mastoiden (A1, A2) zur späteren Rereferenzierung (s. Abb. 3-4).

Zur Elektrodenpositionierung wurde eine Elektrocap der Firma ECI (Electro-cap International Inc.) verwendet. Alle Übergangswiderstände lagen unterhalb von 5 kOhm. Darüber hinaus wurden vertikale und horizontale Augenbewegungen mit jeweils zwei bipolaren Elektroden über und unter dem rechten bzw. neben den äußeren Augenwinkeln erfaßt. Alle EEG- und EOG-Kanäle wurden während des gesamten Experimentes durch den Versuchsleiter auf Drifts und muskuläre Einflüsse sowie andere Artefakte verfolgt und kontrolliert. Die digitale Abtastrate der EEG- und EOG-Kanäle betrug 100Hz. Die digitaliserten Daten wurden während des Experimentes kontinuierlich auf einem Festplattenmedium abgespeichert.

#### 3.3.4.2 Auswertung der EKP-Komponenten

In dieser Arbeit wird die gemittelte P300 Komponente mit Hilfe einer interaktiven Peakbestimmung parametrisiert. Der mittlere Latenzbereich der ausgewerteten Komponente liegt bei 380 ms, so daß sich das methodische Problem der Komponentenüberlappung nicht oder nur geringfügig stellte. Als Referenz wird die mittlere Amplitude vor dem Reizeinsatz verwendet, das resultierende Amplitudenmaß wird auch als Baseline-to-Peak-Maß (im Ggs. zum Peak-to-Peak-Maß) bezeichnet.

Neben der Analyse der P300 Komponente aus dem EKP erfolgte die Extraktion von sieben weiteren abhängigen Variablen: Eine Baseline, definiert als die mittlere Amplitude von 200 ms unmittelbar vor Reizgabe, sowie sechs weitere mittlere Amplituden über jeweils 100 ms–Schrittweiten nach Beginn der Reizdarbietung (0 bis 100 ms, 110 bis 200 ms, 210 bis 300 ms, 310 bis 400 ms, 410 bis 500 ms und 510 bis 600 ms). Diese mittleren Amplitudenmaße werden den Hypothesen, die Aussagen über Zeitbereiche bestimmter Effekte betreffen, besser gerecht, als der Versuch, einzelne Peaks in dem Potential zu bestimmen (s. Diedrich, 1996). Die mittleren Amplituden wurden als Differenzmaße zu der Baseline bestimmt.

Die Mittelung der EKP erfolgte nach dem Reiztyp (abstrakt/verbal vs. emotional/bildhaft, REIZ), dem visuellen Halbfeld (VHF) des Zielreizes (LVHF, RVHF, DVHF = Distraktorenpaar), der Reaktionshand (HAND, linke vs. rechte), der Hemisphärizität (HEMI) der Elektroden (links. zentral. rechts), der Regionalität (ANTPOST) der Elektrodengruppen (anterior vs. posterior) sowie der Interregionalität (INREG) der Elektrodenposition (frontal und frontozentral, zentral, und zentroparietal, parietal und occipietal). Zur Skalpverteilung der Topografie der Elektrodenfaktoren s. auch Abbildung 3-4. Die Auswertung der P300-Amplituden und P300-Latenzen sowie der sieben mittleren Amplitudenmaße erfolgte somit jeweils durch eine sechsfaktorielle Varianzanalyse mit

den Faktoren REIZ x VHF x HAND x HEMI x ANTPOST x INTREG mit Messwiederholung auf allen Faktoren.

Hinsichtlich der Datenaufbereitung wurde in einem ersten Schritt die EEG-Daten durch einen 12 Hz Tiefpassfilter digital gefiltert. Anschließend wurden die einzelnen EEG-Strecken einer automatischen Augenkorrektur nach Gratton et al. (1983) unterzogen. Dann erfolgte eine Baselinekorrektur, in dem der Mittelwert des 300 ms Intervalls vor Reizgabe von jedem einzelnen Datenwert subtrahiert wurde. Vor der Mittelung der Potentiale erfolgte eine interaktive Artefaktkorrektur mit dem EEG-Analyse-Programm BrainVision (Nordholz, 1999), um Trials mit Muskel- und anderen Artefakten auszuschließen. Falls Augenaktivitäten auf dem horizontalen Kanal (> 35 μV Veränderung) in einem Zeitraum von 200 ms vor Reizgabe auftraten. Wurde dieser Trial von der Auswertung ausgeschlossen.

Die P300 wurde durch ein interaktives Peak-Detektion Programm, EKPScan-Version 1.03 (Seifert, 1999) des EEG-Labors der Universität Trier determiniert, als Kriterium zur Peakdetektion galt das Amplitudenmaximum des Potentials zwischen 300 und 500 ms nach Stimulusonset an Pz.

Für jedes der oben definierten Maße wurde eine separate Varianzanalyse gerechnet, wobei die Freiheitsgrade nach Huynh-Feldt korrigiert wurden, um Verletzungen der Zirkularität zu berücksichtigen. Das -Fehlerniveau wurde auf 0.05 festgelegt. Bei jedem signifikanten Ergebnis wurde das Effektgrößemaß $\omega 2$ berechnet (Cohen, 1988). Damit bei der Durchführung der lateralisierten Reizdarbietung im Rahmen des VHF-Paradigmas auch die jeweiligen Stimuli genau in die entsprechende Zielhemisphäre projiziert werden, war es unbedingt erforderlich, daß die Versuchspersonen unmittelbar vor Trialbeginn das Fixierkreuz anvisierten. Aus diesem Grunde wurde Trial für Trial der HEOG-Kanal einer jeden Messstrecke auf Augenaktivität vor Reizbeginn kontrolliert. Trials, in denen die Probanden mehr als 35 μV Aktivität 200 ms vor Reizbeginn auf dem HEOG zeigten, wurden für die Auswertung ausgeschlossen. Sämtliche EEG-Messdaten wurden auf Muskel- und andere Artefakte auf interaktive Weise überprüft und ggf. für die Auswertung ausgeschlossen. Schließlich haben alle gemittelten Potentiale einen digitalen Tiefpassfilter von 9 Hz zwecks Glättung durchlaufen.

Es existiert eine Vielzahl von Analyseformen zur Auswertung von EKP. Die bis dato gebräuchlichste Auswertungsform ist die Ausmessung der Latenz sowie der Amplitude einer bestimmten Komponente mit sogen. Parametrisierungsprozeduren. Eine Alternative zu diesem Auswertungsverfahren stellt die Hauptkomponentenanalyse (HKA) von ereigniskorrelierten Potentialen dar (Donchin und Heffley, 1978). Dieses Verfahren hat den großen Vorteil, mögliche Komponentenüberlappungen aufzudecken, hat aber entscheidende Nachteile, z.B. in der geeigneten Auswahl eines Rotationsverfahrens, in der Verwendbarkeit auf autokorrelierte Daten,

wie im Falle von EKP und der Konfundierung von Amplituden- mit Latenz- Variabilität. Eine Empfehlung für das beste Mittel der Messung und der Analyse von EKP-Komponenten gibt es bis heute nicht. Grund dafür ist ein Mangel an Übereinstimmung hinsichtlich der neurophysiologischen Bedeutung der Vielzahl an Komponenten, die in den EKP auftreten können. Außerdem werden immer wieder Übereinstimmungen von der per HKA mit denen durch eine konventionelle Parametrisierung gewonnenen Ergebnisse berichten Johnston et al. (1986).
Angesichts der Tatsache, daß eine Vielzahl von Studien gezeigt haben, daß die verschiedenen Komponenten durch experimentelle Variablen unterschiedlich beeinflußt werden können, ist es ratsam, ein solches Analyseverfahren zu benutzen, welches eine valide Einschätzung des Einflusses solcher experimentellen Variablen auf die einzelnen Komponenten erlaubt. Aufgrund dieser Argumentation und der zuvor genannten Nachteile der HKA wird in dieser Arbeit auf eine Auswertung der aufgeführten Ergebnisse mittels HKA verzichtet.

#### 3.3.4.3 Erfassung der Trefferquoten und Reaktionszeiten

Die Erfassung der Verhaltensdaten erfolgte über einen separaten Messrechner (Pentium II, 32 MB, 100 MHz). Das Steuerprogramm, welches einerseits die Darbietung der Stimuli kontrollierte, erfaßte ebenfalls nach Reizdarbietung auch die Reaktion des Probanden über eine angeschlossene Tastatur. Die minimale zeitliche Auflösung der Reaktionszeiten betrug 1 ms (entspricht 1 kHz Abtastrate). Nach dem entsprechenden Tastendruck der Versuchsperson wurde die Reaktionszeit sowie der Typ der gedrückten Taste in eine LOG-Datei abgespeichert. Nach Beendigung des Experiments wurde die LOG-Datei durch ein spezifisches Analyseprogramm ausgewertet, so daß zu jeder experimentellen Bedingung, zu jeder Reizkombination die entsprechenden Verhaltensdaten der Probanden zuzuordnen waren.

### 3.3.5 Experimentelle Prozedur

Zur Erfassung der individuellen Ausprägung funktioneller und kortikaler Hemisphärenasymmetrien in der Verarbeitung verbaler sowie bildhafter Reize wurde in Anlehnung an die in der Literatur dargestellten Methoden (z.B. Levy, 1976) ein tachistoskopisches VHF-Paradigma (s. Kapitel 2.3) eingesetzt. Alle Probanden durchliefen beide Wahrnehmungsexperimente wiederholt unter der Darbietung verbalen Reizmaterials sowie unter der Darbietung bildhaften Reizmaterials. Eine experimentelle Sitzung (ohne Vor- und Nachbereitungs Prozeduren) dauerte durchschnittlich eine Stunde. Zwischen den beiden Experimenten lagen minimal 3 bis maximal 10 Tage. Zur Kontrolle von Reihenfolgeeffekten durchlief die Hälfte der Versuchspersonen zuerst das Experiment mit verbalen Reizmaterial und zum zweiten Termin die Untersuchung mit dem bildhaften Material. Die andere Probandenhälfte wurde in umgekehrter Folge den Experimenten zugeordnet. Die Personen wurden der Experimentfolge randomisiert zugeordnet.

Beide Wahrnehmungsexperimente wurden in einem abgedunkelten, lärmgeschützten Versuchsraum durchgeführt. Der Proband saß an einem Tisch, beide Hände auf der Tischplatte und das Kinn in einer Kinnstütze ruhend. Die Kinnvorrichtung wurde so adjustiert, daß die Augen waagerecht auf den Fixationspunkt in der Mitte eines Computermonitors blickten (Abstandsangaben s. Kapitel 3.3.2 und 3.3.3).

Den Probanden wurden in zwei Drittel aller Trials auf einem Computermonitor jeweils bilateral links oder rechts vom Fixationskreuz ein Zielreiz dargeboten. Simultan wurde auf der anderen Seite ein korrespondierender Distraktor präsentiert. Bei dem verbalen Experiment handelte es sich bei dem Zielreiz um ein abstraktes Wort, der Distraktor bestand aus dem korrespondierendem Nicht-Wort. Bei dem bildhaften Experiment bestand der Zielreiz aus einem Gesicht mit emotionalen Ausdruck, der Distraktor wurde durch die Gesichter mit neutralem Ausdruck gebildet.

Die Teilnehmer wurden instruiert, anfänglich jeden Trials, das immer wieder erscheinende Hinweiskreuz in der Mitte des Bildschirmes zu fixieren. In beiden Experimenten war es Aufgabe der Versuchsperson, möglichst schnell und fehlerfrei per Tastendruck auf einer Computertastatur anzugeben, auf welcher Seite vom Fixationskreuz der Zielreiz erschienen war. Es gab einige experimentelle Durchgänge, in denen sowohl rechts als auch links vom Fixationspunkt ein Distraktor gezeigt wurde. Auf diese Weise sollte die Wahrscheinlichkeit erhöht werden, daß die Probanden der Versuchsanweisung (Fixieren des zentralen Kreuzes) eher Folge leisteten und so an der Entwicklung individueller Lösungsstrategien gehindert wurden. Aus dem Erscheinen eines Distraktors in dem einen VHF konnten die Personen somit nicht automatisch schlußfolgern, daß der Zielreiz in dem anderen VHF zu sehen war; entsprechend brachte es keinen Vorteil nur auf eine Seite des Bildschirmes zu blicken. Meinten die Probanden, den Zielreiz auf der linken Seite gesehen

zu haben, sollte die „left"-Cursortaste betätigt werden. Umgekehrt war die „right"-Cursortaste zu drücken, wenn das Wort rechts erkannt wurde. War nach Meinung des Untersuchungsteilnehmers der Zielreiz weder rechts noch links erschienen (bilaterale Darbietung des Distraktorenpaares), dann wurde mit der „down"-Cursortaste geantwortet.

Insgesamt gab es in jedem Wahrnehmungsexperiment 216 Trials. jeweils unterteilt in zwei experimentelle Blöcke je 108 Durchgängen. Innerhalb des Experimentes mußte die Versuchsperson nach Durchführung der ersten 108 Trials ihre Reaktionshand tauschen. Dazu wurde die Tastatur so positioniert, daß der Proband bequem und schnell mit der neuen Hand die Aufgabe weiter ausführen konnte. Die Reihenfolge der Reaktionshandseite wurde den Versuchspersonen zufällig zugeordnet.

Innerhalb jedes experimentellen Blocks wurde in 36 Durchgängen der Zielreiz in dem rechten VHF und der korrespondierende Distraktor in dem linken VHF gezeigt. Umgekehrt erschien in 36 Durchgängen der Zielreiz auf der linken und der korrespondierende Distraktor auf der rechten Seite. In den verbleibenden 36 Durchgängen der Kontrollbedingung wurde auf beiden Seiten des Fixationspunktes ein Distraktor gezeigt. Die Wahrscheinlichkeitsverteilung der Reizgruppen sah Zusammengefaßt demnach wie folgt aus: Bei einem Drittel der Trials wurde der Zielzeiz im RVHF und bei einem Drittel der Trials wurde der Zielreiz im LVHF präsentiert. Im verbleibenden Drittel der Trials standen die Distraktoren sowohl im rechten als auch linken VHF (kein Zielreiz, Kontrollbedingung). Die Reizwiederholung war so randomisiert, daß niemals derselbe Zielreiz drei Mal hintereinander vorkam.

Zur Gewöhnung an die entsprechende experimentelle Aufgabe durchlief jede Versuchsperson eine Übungsphase mit 5 Durchgängen, wobei die hier verwendeten Reize nicht mit den später im eigentlichen Experiment gezeigten Reizen übereinstimmten.

Aus dem oben geschilderten Versuchsablauf ergibt sich ein dreifaktorieller, 2x2x3 – Versuchsplan mit Messwiederholung auf allen drei Faktoren. Den ersten Faktor bildet der Reiztyp (abstrakt verbal und emotional bildhaft, REIZ), den zweiten Faktor die reagierende Hand (linke versus rechte, HAND) und den dritten Faktor das visuelle Halbfeld (VHF), in welcher der Zielreiz oder das Distraktorenpaar dargeboten wurde (linke versus rechte sowie bilaterale Darbietung der Distraktoren). In der folgenden Tabelle 3-1 ist der Versuchsplan beider Wahrnehmungsexperimente dargestellt.

**Tab. 3-1: Versuchsplan beider Wahrnehmungsexperimente**

| | REIZ | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | abstrakt/verbal (Experiment 1) | | | emotional/bildhaft (Experiment 2) | | |
| | VHF | | | VHF | | |
| HAND | LVHF | RVHF | Kontrollb. | LVHF | RVHF | Kontrollb. |
| linke | (36) | (36) | (36) | (36) | (36) | (36) |
| rechte | (36) | (36) | (36) | (36) | (36) | (36) |

Dreifaktorieller Versuchsplan mit Messwiederholung auf allen drei Faktoren (1-Reiztyp; 2-Hand; 3-visuelles Halbfeld (VHF)); in Klammern sind nochmals die Anzahl der Darbietungen des Zielreizes pro Bedingung angegeben.

In die Auswertung gingen also von den 108 Trials pro Hand, bzw. 216 Durchgänge mit je einem Reiztyp. Die Versuchsperson hatte pro Durchgang maximal 2000 ms Zeit, zu reagieren. Erfolgte innerhalb dieses Zeitintervalls keine Reaktion, so wurde die Antwort als fehlerhaft beurteilt.
Unterschiedliche Asymmetriemaße wurden aus den abhängigen Variablen gebildet. Aus der Differenz zwischen der Anzahl der Treffer (TQ) nach Darbietung des Zielreizes in der linken und der rechten GFH wurde wie folgt ein Treffer-Asymmetrie-Index (ASY) gebildet:

$$ASY_{(TQ)} = \frac{TQ_{\text{rechte GFH}} - TQ_{\text{linke GFH}}}{TQ_{\text{rechte GFH}} + TQ_{\text{linke GFH}}} \times 100$$

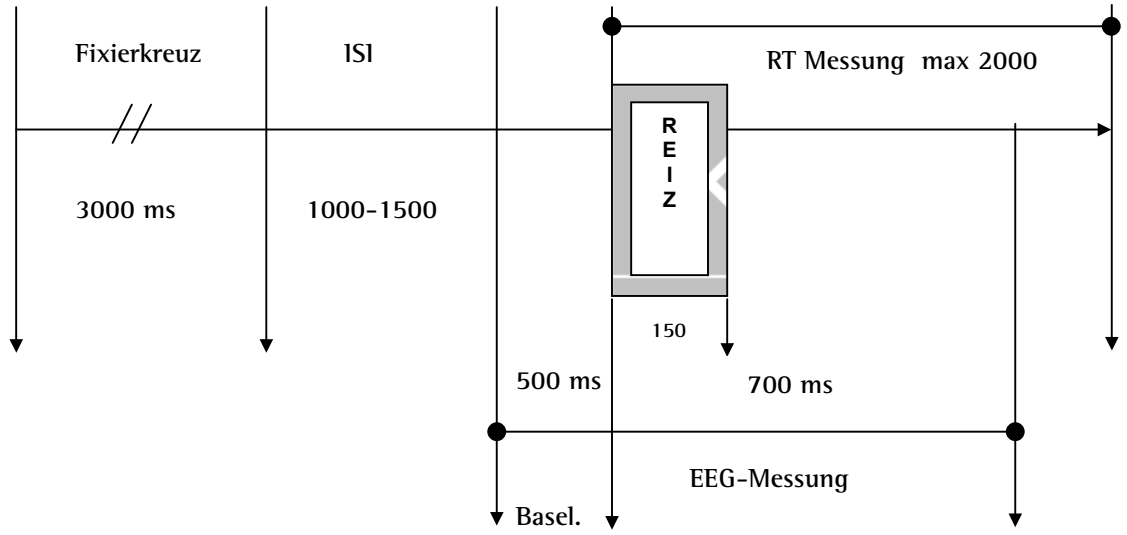
Der Asymmetrie-Index ist so konstruiert, daß ein positiver Wert einen rechtsvisuellen Vorteil, d.h. im übertragenden Sinne einen linkshemisphärischen Leistungsvorteil kennzeichnet und ein negativer Wert im umgekehrten Sinne eine Dominanz der rechten Hemisphäre indiziert.
Ein Asymmetrie-Index bezüglich der Reaktionszeiten wurde in analoger Weise generiert. Allerdings wurde das Vorzeichen des Reaktionszeitindex invertiert, um eine analoge Richtungsinterpretation wie der Indizes der Trefferquoten machen zu können.

### 3.3.6 Trialablauf

Die untere Abbildung 3-5 zeigt den Ablauf eines experimentellen Trials sowohl in dem bildhaften als auch in dem verbalen Wahrnehmungsexperiment. In beiden Experimenten wurden dieselben experimentellen Timings verwendet, lediglich der Reiztyp wechselte.

Jeder Durchgang begann mit der Einblendung eines Fixierstimulus in Form eines Kreuzes für 3 Sekunden in der Bildschirmmitte. Danach wurde das Kreuz von 1000 bis 1500 ms ausgeblendet und die 500 ms Vorspann-Messung der EEG-Daten startete. Nach Beendigung des Vorspanns wurden die Reizpaare bilateral für 150 ms eingeblendet. 700 ms nach Abschluß der EEG-Baseline endete die EEG-Aufzeichnung eines Trials. Die Erfassung der Reaktionszeit und des entsprechenden Tastentyps begann direkt nach Reizeinsatz und endete maximal 2000 ms danach. Wurde diese Zeit überschritten, galt die Reaktion des Probanden als fehlerhaft und ging in die nachfolgenden Analysen nicht mit ein. Nach einer Pause von 1500 bis 2000 ms wurde das Fixierkreuz wieder eingeblendet und der nächste Trial eingeleitet. Letztere Angabe wird aus der unteren Abbildung 3-5 allerdings nicht ersichtlich.

**Abb. 3-5: Trialablauf in beiden Experimenten**



# 4 Ergebnisse

## 4.1 Funktionelle Asymmetrien

### 4.1.1 Reaktionszeiten

Zur Auswertung der Reaktionszeiten wurde eine dreifaktorielle ANOVA REIZ(2) X HAND(2) X VHF(3), mit Messwiederholung auf allen Faktoren, gerechnet (s.a. Kapitel 3.3.5). Im Falle einer Verletzung der Sphärizität wurden Greenhouse-Geiser-Epsilon Korrekturen auf die F-Werte bei Effekten mit messwiederholten Faktoren mit mehr als zwei Freiheitsgraden angewendet. Folgende Tabelle 4-1 zeigt die resultierenden Ergebnisse incl. der assoziierten Effektstärken für die signifikanten Effekte ($p < .05$):

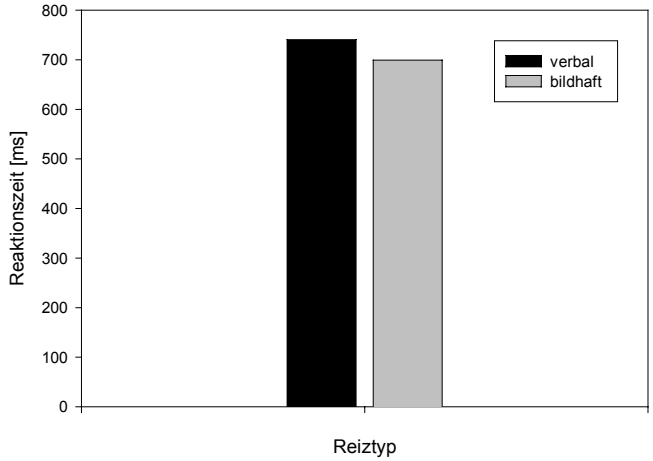
**Tab. 4-1: Signifikante Ergebnisse der ANOVA, AV Reaktionszeiten**

| | FG-Effekt | FG-Fehler | F | p-Wert | $\omega^2$ |
|---|---|---|---|---|---|
| REIZ | 1 | 43 | 3.86 | .06 | n.s. |
| HAND | 1 | 43 | .08 | .78 | n.s. |
| VHF | 2 | 86 | 2.60 | .00 | **.23** |
| REIZ X HAND | 1 | 43 | .00 | .95 | n.s. |
| REIZ X VHF | 2 | 86 | 14.19 | .00 | **.09** |
| HAND X VHF | 2 | 86 | 5.44 | .01 | **.03** |
| REIZ X HAND X VHF | 2 | 86 | 1.01 | .37 | n.s. |

*Reiz*

Hinsichtlich des Reiztyps wurde der Haupteffekt Reiz nicht signifikant ($F(1,43) = 3.86$, $p < .06$). Obwohl keine statistisch bedeutsame Differenz zwischen den Reaktionszeiten während der Verarbeitung verbalen Materials und bildhaften Materials auftrat, kann man allerdings an dieser Stelle von einem tendentiellen Unterschied zwischen den beiden Reiztypen sprechen, derart, daß die Reaktionen auf das abstrakte/verbale Material (740.37 ms) rund 41 ms langsamer waren als die auf das emotionale/bildhafte Material (699.17 ms). Nachfolgende Abbildung 4-1 veranschaulicht dies.

**Abb. 4-1: Haupteffekt REIZ (Reaktionszeiten)**




*Hand*

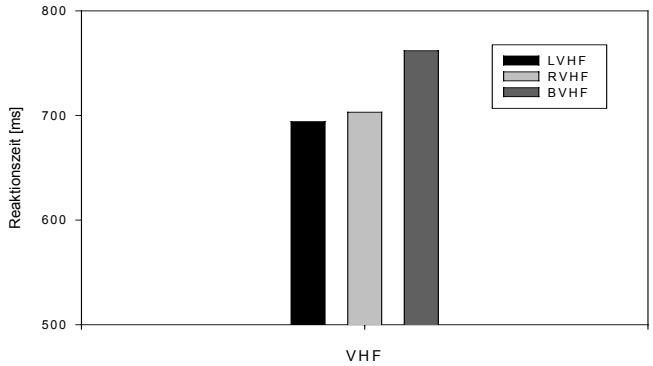
Ob die experimentellen Aufgaben mit der linken (720.90 ms) oder rechten (718.63 ms) Hand bewältigt wurden, machte keinen Unterschied in den Reaktionszeiten. Weder der Haupteffekt Hand ($F(1,43) = 0.08$, $p < .78$) noch die Wechselwirkungen mit Reiz ($F(1,43) = 0.00$, $p < .95$) wurden statistisch bedeutsam. Der Einfluß des Faktors Hand wurde lediglich in der Wechselwirkung mit der Darbietungsseite signifikant (s.u. HAND x VHF).

*Vhf*

Abhängig vom visuellen Halbfeld des dargebotenen Reizes unterschieden sich die Reaktionszeiten substantiell ($F(1,43) = 20.6$, $p < .00$). Folgende Abbildung 4-2 veranschaulicht diesen Zusammenhang. Eine Post-Hoc Analyse (Scheffé-Test) zeigte, daß jedoch lediglich die Differenz zwischen der bilateralen Darbietung der Distraktorenpaare der Kontrollbedingung im Unterschied zur unilateralen Darbietung der Zielreize signifikant war (LVHF = 694.18 ms, RVHF = 703.16, Distraktorenpaar (BVHF) = 761.97). Im Durchschnitt wurde auf die Distraktorenpaare (BVHF) 63.3 ms langsamer reagiert, als auf die unilateral positionierten Zielreize (LVHF und RVHF).

Der Unterschied zwischen dem experimentellen und dem Kontroll-Darbietungsmodi klärt 23% der Variabilität in den Reaktionszeiten auf. Die spezifische Differenz zwischen LVHF und RVHF Darbietung über alle Zielreize (8.98 ms) war statistisch nicht bedeutsam.

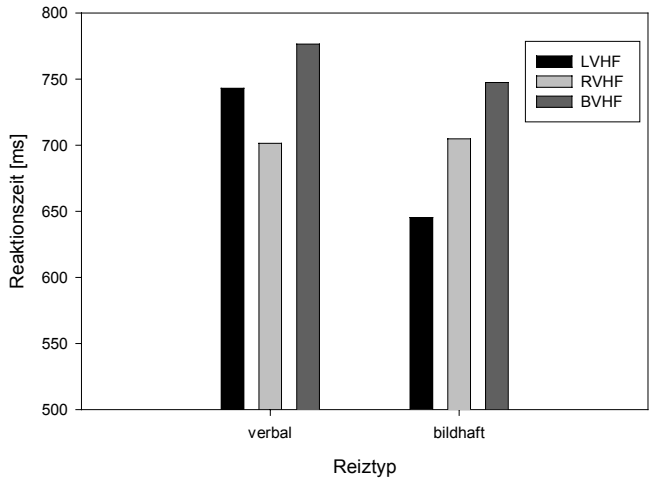
**Abb. 4-2: Haupteffekt VHF (Reaktionszeiten)**




*Reiz x Vhf*

Erst in Abhängigkeit von dem zu bearbeitenden Reiztyp (REIZ) spielte der Einfluß der Zielreizseite eine deutliche Rolle. Die Interaktion zwischen REIZ x VHF wurde signifikant ($F(2,86) = 14.19$, $p < .00$).

**Abb. 4-3: Interaktion REIZ x VHF (Reaktionszeiten)**



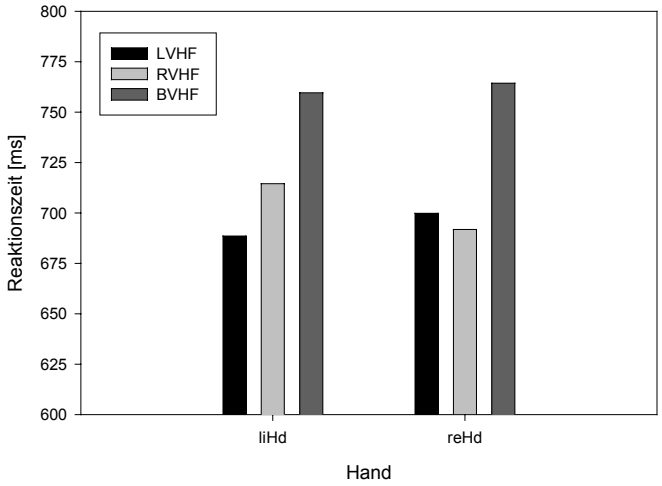

Wenn das abstrakte verbale Material von den Versuchspersonen bearbeitet wurde, so resultierte ein erwartungsgemäßer relativer RVHF-Vorteil (701.50 ms) im Vergleich zum LVHF (743.08 ms), mit einer Differenz von 41.58 ms. Umgekehrt entstand erwartungsgemäß ein relativer LVHF-Vorteil (645.28 ms) im Vergleich zum RVHF (704.83 ms) bei der Bearbeitung emotional bildhaften Material, mit einer Differenz von 59.55 ms. Abbildung 4-3 verdeutlicht diesen Zusammenhang.

Hinsichtlich der Bearbeitung der Distraktorenpaare (BVHF) der Kontrollbedingung zeigten sich keine signifikanten Unterschiede (Post-Hoc Prüfung mit einem Scheffé-Test) in den Reaktionszeiten (verbal = 776.54 ms, bildhaft = 747.40 ms, Differenz = 29.14 ms).
Die Stärke des Interaktionseffekts (REIZ x VHF) beträgt 9%, rechnet man eine ANOVA ohne Einbezug der Distraktorendarbietung (BVHF), so lag die Varianzaufklärung durch die Wechselwirkung von REIZ X VHF noch bei 7%.

*Hand x Vhf*

In den Reaktionszeiten interagierte der Faktor Hand nur mit dem Modus der Darbietungsseite des Zielreizes ($F(2,86) = 5.44$, $p < .01$) signifikant, obgleich die Interaktion nur einen varianzaufklärenden Anteil von 3% bringt. Wie aus der Abbildung 4-4 ersichtlich wird, ist die Reaktionszeit beider Hände auf die Distraktorenpaare im Vergleich zu den Zielreizbedingungen deutlich höher (linke Hd. = 759.64 ms. rechte Hd. = 764.30 ms).

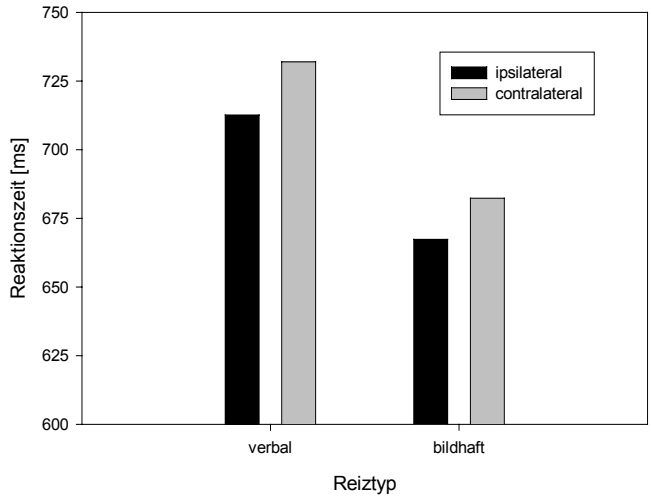
**Abb. 4-4: Interaktion HAND x VHF (Reaktionszeiten)**




Durch den Scheffé-Post-Hoc Test resultierte kein signifikanter Unterschied zwischen beiden Hand-Bedingungen.
Auch wenn lediglich aus der Differenz der Reaktionszeiten auf die Distraktoren im Vergleich zur unilateralen Zielreizstimulation einen statistisch bedeutsamen Unterschied (Diff. rechte Hd. = 58.11 ms. Diff. linke Hd. = 68.50 ms) resultierte, so zeigte sich die Tendenz, daß für das ipsilaterale Zusammentreffen von Reaktionshand und Darbietungsseite kürzere Reaktionszeiten erfolgten. Liegen Reaktionshand und das Eintreffen des Zielreizes in derselben Hemisphäre, so resultierten kürzere Reaktionszeiten, als wenn Reaktionshand und primäre Wahrnehmungshemisphäre

(diejenige Gehirnhälfte, in die direkt projiziert wird) kontralateral auseinander liegen. Der Unterschied zwischen ipsilateralem und kontralateralem Verarbeitungsodus (IPKO) gilt sowohl für die Verarbeitung verbalen als emotionalen Stimulusmaterials. Nachfolgende Abbildung 4-5 veranschaulicht diesen Zusammenhang.

**Abb. 4-5: Interaktion IPKO x REIZ (Reaktionszeiten)**




Sowohl für die Verarbeitung verbalen als auch emotionalen Materials existierte ein Zeitvorteil für den ipsilateralen Verarbeitungsmodus im Vergleich zum kontralateralen (verbal-ipsilateral = 712.60 ms. verbal-kontralateral = 731.98 ms sowie bildhaft-ipsilateral = 667.74 ms. bildhaft-kontralateral = 682.37 ms). Die Differenz zwischen gekreuztem (kontralateral) und ungekreuztem (ipsilateral) Pfad, assoziiert mit der IHTT (Poffenberger, 1912), betrug 19.38 ms für den verbalen Modus und 14.63 ms für den bildhaften Modus.

### 4.1.2 Trefferquoten

Neben den Reaktionszeiten ging auch die Anzahl der richtigen Antworten in die Auswertung der Verhaltensdaten mit ein. Zur Auswertung der Trefferquoten (Hits) wurde analog zur Reaktionszeitauswertung eine dreifaktorielle ANOVA REIZ(2) X HAND(2) X VHF(3) mit Messwiederholung auf allen Faktoren, gerechnet. Die Trefferquoten werden in den folgenden Analysen als Prozentangaben aufgeführt (36 Hits pro exp. Bedingung = 100%). Im Falle einer Verletzung der Sphärizität wurden Greenhouse-Geiser-Epsilon Korrekturen auf die F-Werte bei Effekten mit messwiederholten Faktoren mit mehr als zwei Freiheitsgraden angewendet. Folgende Tabelle 4-2 zeigt die resultierenden Ergebnisse incl. der assoziierten Effektstärken für die signifikanten Effekte ($p \leq .05$).

**Tab. 4-2: Signifikante Ergebnisse der ANOVA, AV Trefferquoten**

| | FG-Effekt | FG-Fehler | F-Wert | p-Wert | $\omega^2$ |
|---|---|---|---|---|---|
| Reiz | 1 | 43 | 35.52 | .00 | **.28** |
| HAND | 1 | 43 | 3.25 | .08 | n.s. |
| VHF | 2 | 86 | .38 | .68 | n.s. |
| REIZ X HAND | 1 | 43 | .23 | .63 | n.s. |
| REIZ X VHF | 2 | 86 | 25.26 | .00 | **.16** |
| HAND X VHF | 2 | 86 | 1.42 | .25 | n.s. |
| REIZ X HAND X VHF | 2 | 86 | 1.21 | .30 | n.s. |

REIZ

Anders als bei den Reaktionszeiten spiegelte sich in den Trefferquoten ein deutlicher Unterschied zwischen den beiden Reiztypen wider ($F(1,43) = 35.52$, $p < .00$, $\omega^2 = .28$). Die Trefferquote für verbales Material (66.2%) war geringer als die für bildhaftes Material (76.3%). Insgesamt läßt sich aus den Verhaltensdaten bezüglich der unterschiedlichen Stimulustypen bzw. Verarbeitungsbedingungen festhalten, daß die verbale Aufgabe anscheinend schwieriger zu bewältigen war, als die bildhafte. Rund 10% weniger Treffer und 41 ms langsamere Reaktionszeiten für die Bearbeitung des verbalen Materials lassen auf einen höheren Schwierigkeitsgrad für die Wort-Aufgabe schließen.

**Abb. 4-6: Haupteffekt REIZ (Trefferquoten)**

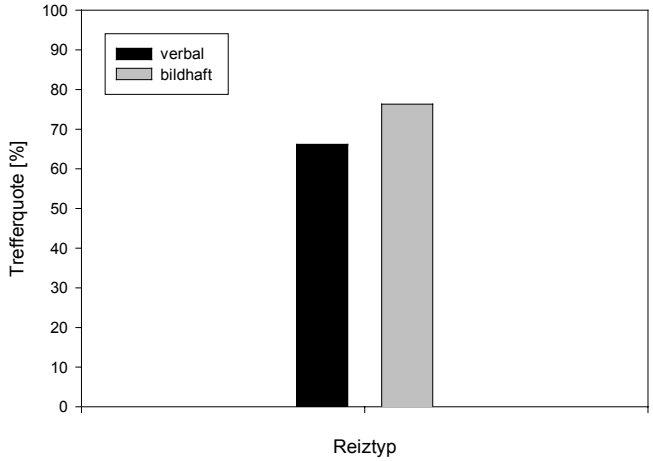



Abbildung 4-6. zeigt den allgemeinen prozentualen Unterschied in den Trefferquoten zwischen verbalen und bildhaften Reizmaterial.

HAND

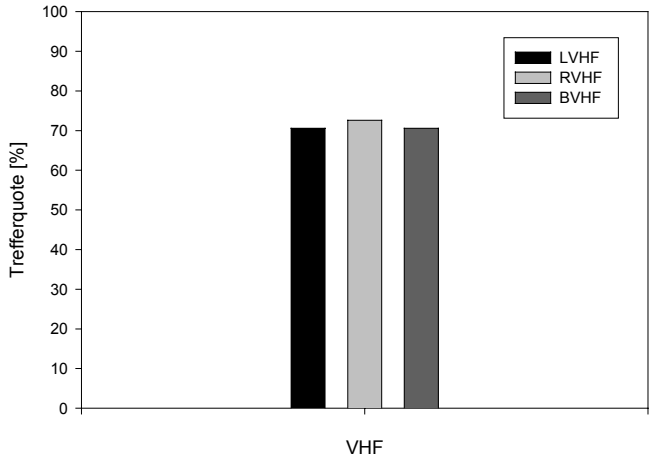
Auch bei den Trefferquoten bleibt der Einfluß der Reaktionshandseite auf die experimentellen Bedingungen unbedeutend. Der Haupteffekt HAND wird nicht signifikant ($F(1,43) = 3.28$, $p < .08$). Beide Handseiten erzielten, gemittelt über beide Aufgabentypen, annähernd gleiche Trefferquoten (linke Hand = 70.7% und rechte Hand = 71.7%). Wechselwirkungen zweiter und dritter Ordnung mit VHF (s.u.) und REIZ ($F(1,43) = 0.23$, $p < .63$) wurden ebenfalls nicht signifikant (s. Tab. 4-2).

VHF

Interessanterweise bleibt im Gegensatz zu den Reaktionszeiten der Haupteffekt der unabhängigen Variable VHF in den Trefferquoten aus ($F(1,43) = 0.38$, $p < .68$). Die Reaktionszeiten auf die Distraktorenpaare waren signifikant langsamer als die der Zielreizpaare (s.o.). Daher wäre zu erwarten, daß die Trefferquote auf die Distraktorenpaare in gleicher Weise geringer ausfallen sollte, da wie gesehen, eine beidseitige Untersuchung der Darbietungsfelder länger dauert und somit auch fehleranfälliger sein kann. Doch die Distraktorenpaare wurden annähernd gleich häufig erkannt (70.6%) wie die lateralen Zielreize (LVHF = 70.6% und RVHF = 72.6%). Eine generelle Präferenz der Versuchspersonen für eine bestimmte Stimulationsseite während der Bearbeitung der experimentellen Aufgaben ist daher auszuschließen – ein weiteres Indiz (s. auch HEOG-Kontrolle bei der Auswertung der EKP) dafür, daß die Probanden vor jedem Trial, gemäß den

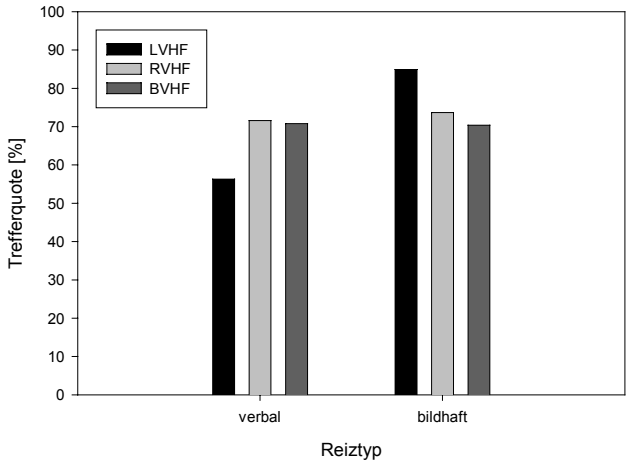
Instruktionen, den Fixierstimulus fixiert hatten. Nachfolgend wird Abbildung 4-7 zur Darstellung der VHF-Verteilung der Trefferquoten gezeigt.

**Abb. 4-7: Haupteffekt VHF (Trefferquoten)**




REIZ X VHF

**Abb. 4-8: Interaktion REIZ x VHF (Trefferquoten)**



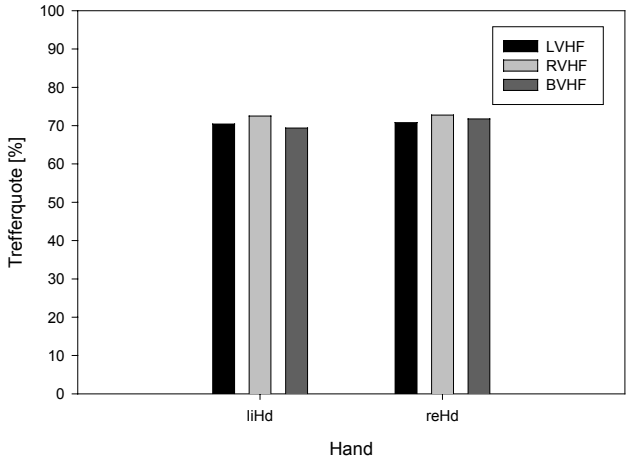

Analog zum Interaktionseffekt in den Reaktionszeiten zeigt sich deutlich eine Wechselwirkung von REIZ X VHF in den Trefferquoten ($F(2,86) = 25.26$, $p < .00$). Mit einem varianzaufklärenden Anteil von 16% in den Trefferquoten ist dieser Interaktionseffekt noch stärker als in den Reaktionszeiten. Abbildung 4-8 verdeutlicht diesen Zusammenhang. Für die Bearbeitung abstrakten verbalen Reizmaterials zeigt sich ein deutlicher RVHF Vorteil (71.6%) gegenüber der LVHF Darbietung

(56.3%). In umgekehrter Weise findet sich ein LVHF Vorteil (84.9%) bei der Bearbeitung emotional bildhaften Materials im Vergleich zur RVHF Darbietung (73.6%). Beide VHF-Differenzen der jeweiligen Reizmaterialien wurden in einer Post-Hoc-Analyse (Scheffé-Test) signifikant. Auffällig in diesem Zusammenhang ist die sehr niedrige Trefferquote von 56.3% für die LVHF-Bedingung bei der Verarbeitung verbalen Reizmaterials. Diese Bedingung ist mit großem Abstand diejenige, mit der geringsten Trefferquote. Dem gegenüber stellt die LVHF-Bedingung der bildhaften Aufgabe mit 84.9% den höchsten Prozentsatz in den Trefferquoten dar. Die Post-Hoc-Analyse (Scheffé-Test) zwischen den beiden Extremen zeigt einen deutlichen signifikanten Unterschied ($p < .00$).

HAND X VHF

Anders als bei den Reaktionszeiten reflektieren die Trefferquoten keine signifikante Interaktion zwischen Handseite und Darbietungsseite wider ($F(2,86) = 1.42$, $p < .25$). Abbildung 4-9 zeigt, daß für beide Reaktionshandseiten eine ähnliche VHF-Verteilung resultiert.

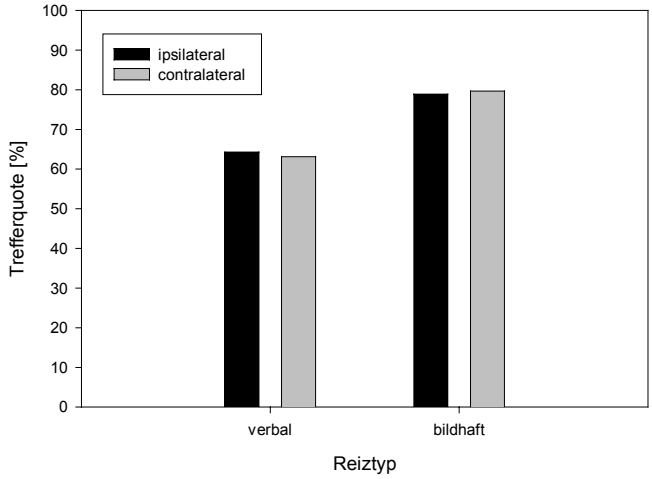
**Abb. 4-9: Interaktion HAND x VHF (Trefferquoten)**




Unterteilt man die Zellmittelwerte nach ipsilateraler und kontralateraler Verarbeitung, so resultiert ein ähnliches Ergebnismuster wie bei den Reaktionszeiten. Liegen Reaktionshand und primäres Eintreffen des Stimulus in derselben Hemisphäre (ipsilaterale Verarbeitung), so zeigt sich eine marginale Erhöhung der Trefferquote für die ipsilaterale im Vergleich zur kontralateralen Verarbeitungsbedingung (ipsilateral = 71.6% und kontralateral = 71.4%). Diese leichte Übergröße ist statistisch nicht gegen den Zufall abzusichern. Betrachtet man die Unterscheidung zwischen ipsilateralen und kontralateralen Verarbeitungsmodus in Hinblick auf die unterschiedlichen

Reiztypen, so findet man nur bei der verbalen Bedingung einen ipsilateralen Vorteil (ipsilat.: 64.3% und kontral.: 63.11%), bei der bildhaften Bedingung kehrt sich die Differenz um (ipsilat.: 78.9% und kontral.: 79.7%). In beiden Reizklassen resultiert kein signifikanter Unterschied zwischen ipsilateraler und kontralateraler Verarbeitungsbedingung. Abbildung 4-10 verdeutlicht dies.

**Abb. 4-10: Interaktion IPKO x REIZ (Trefferquoten)**



### 4.1.3 Funktionelle Asymmetrie-Indizes

Für die Trefferquoten als auch die Reaktionszeiten wurden für jede Versuchsperson ein funktioneller Asymmetrie-Index berechnet. An späterer Stelle werden weitere kortikale Asymmetrie-Indizes aus EKP-Daten berechnet.
Aufgrund der nicht signifikanten Handeffekte aus den vorhergehenden Analysen (s. Reaktionszeiten und Trefferquoten) wurden die Reaktionszeiten und Trefferquoten beider Reaktionshände pro Versuchsperson innerhalb einer experimentellen Bedingung zu einem Wert Zusammengefaßt. Es resultieren somit Asymmetrie-Indizes, welche unabhängig von der Reaktionshandseite sind. Da eine kürzere Reaktionszeit einen Verarbeitungsvorteil anzeigt, jedoch kleinere Trefferquoten einen Verarbeitungsnachteil indizieren, wurde zur Gleichpolung der Aussagerichtung der Asymmetrie-Indizes, der Index der Reaktionszeiten invertiert. Im folgenden bedeutet dies: Ein Index mit positivem Vorzeichen indiziert einen RVHF-Vorteil, mit negativen Vorzeichen einen LVHF-Vorteil. Grad und Richtung der vier unterschiedlichen Asymmetrie-Indexmaße werden aus Tabelle 4-3 ersichtlich.

**Tab. 4-3: Übersicht der funktionellen Asymmetrie-Indizes**

| | Reiztyp | |
|---|---|---|
| | abstrakt / verbal | emotional / bildhaft |
| Reaktionszeiten | 2.37 (RZV_ASY) | -4.21 (RZB_ASY) |
| Trefferquoten | 13.99 (TRV_ASY) | -7.49 (TRB_ASY) |

RZV_ASY = Asymmetrie-Index für Reaktionszeiten auf verbale Stimuli, RZB = auf bildhafte Stimuli,
TRV_ASY = Asymmetrie Index für Trefferquoten auf verbale Stimuli, TRB = auf bildhafte Stimuli

Beide Reiztypen haben jeweils ein unterschiedliches Vorzeichen bezüglich der Asymmetrie-Indizes für Reaktionszeit und Trefferquote. D.h. die Indizes für emotionales bildhaftes Reizmaterial zeigen einen LVHF Vorteil und für abstraktes verbales Stimulusmaterial einen RVHF-Vorteil an. Zwischen den Asymmetrie-Indizes gemäß des obigen Vierfelder-Schemas wurden Korrelationen berechnet. Tabelle 4-4 zeigt die korrelativen Zusammenhänge zwischen den einzelnen Asymmetrie-Indizes. Innerhalb einer Reizkategorie wurden die Korrelationen zwischen den Asymmetrie-Indizes sowohl von Reaktionszeit als auch Trefferquote signifikant ($r_{RZV_ASY - TRV_ASY} = .85$ und $r_{RZB_ASY - TRB_ASY} = .59$). Beide Zusammenhänge werden durch eine positive Korrelation dargestellt. D.h. je größer die funktionelle Asymmetrie der Trefferquoten bei einer Versuchsperson ist, desto ausgeprägter ist auch ihr

Asymmetrie-Index in der Reaktionszeit. Dieser Zusammenhang gilt sowohl für die Bearbeitung verbalen als auch bildhaften Materials.

**Tab. 4-4: Korrelationen zwischen den funktionellen Asymmetrie-Indizes**

| | RZV_ASY | RZB_ASY | TRV_ASY | TRB_ASY |
|---|---|---|---|---|
| RZV_ASY | 1.00 | | | |
| RZB_ASY | -.08 | 1.00 | | |
| TRV_ASY | .85* | -.06 | 1.00 | |
| TRB_ASY | -.10 | .59* | -.17 | 1.00 |

RZV_ASY = Asymmetrie-Index für Reaktionszeiten auf verbale Stimuli, RZB = auf bildhafte Stimuli,
TRV_ASY = Asymmetrie Index für Trefferquoten auf verbaale Stimuli, TRB = auf bildhafte Stimuli

Doch zwischen den Reizklassen tendieren die Korrelationen aller Asymmetrie-Indizes gegen Null und wurden nicht signifikant. Weder zeigen die Indizes der Reaktionszeiten noch die Indizes der Trefferquoten zwischen verbaler und bildhafter Verarbeitungsasymmetrie einen systematischen Zusammenhang auf. D.h. eine Verarbeitungslateralität bei bildhaften Materials muß nicht systematisch mit einer Asymmetrie für verbales Material innerhalb einer Versuchsperson zusammenhängen. Die konsistent geringen Korrelationen zwischen den jeweiligen Indizes zwischen den Reiztypen lassen auf eine Unabhängigkeit der reizspezifischen funktionellen Verarbeitungslateralität zwischen den Hemisphären schließen.

In einem zweiten Schritt wurden die jeweiligen Häufigkeitsverteilungen der jeweiligen Asymmetrie-Indizes analysiert. Falls ein linkshemisphärischer Verarbeitungsvorteil für verbales Reizmaterial und ein rechtshemisphärischer für bildhafte Stimuli existiert, so sollten die Häufigkeitsverteilungen der Asymmetrie-Indizes diesen funktionellen Hemisphärenunterschied widerspiegeln. Nachfolgende Tabelle zeigt die Häufigkeitsverteilungen der jeweiligen Asymmetrie-Indizes in Abhängigkeit von der Polarität der Asymmetrie. Die Abbildung 4-11 veranschaulicht diesen Zusammenhang noch einmal grafisch. Für emotional bildhaftes Material zeigen 84.1% der Probanden einen mittleren LVHF-Vorteil in den Trefferquoten und 86.4% zeigen einen mittleren LVHF-Vorteil in den Reaktionszeiten. Von einem mittleren Halbfeldvorteil ist deshalb die Rede, da sich diese Indizes nur auf den Mittelwert über alle experimentellen Trials einer Versuchsperson beziehen.

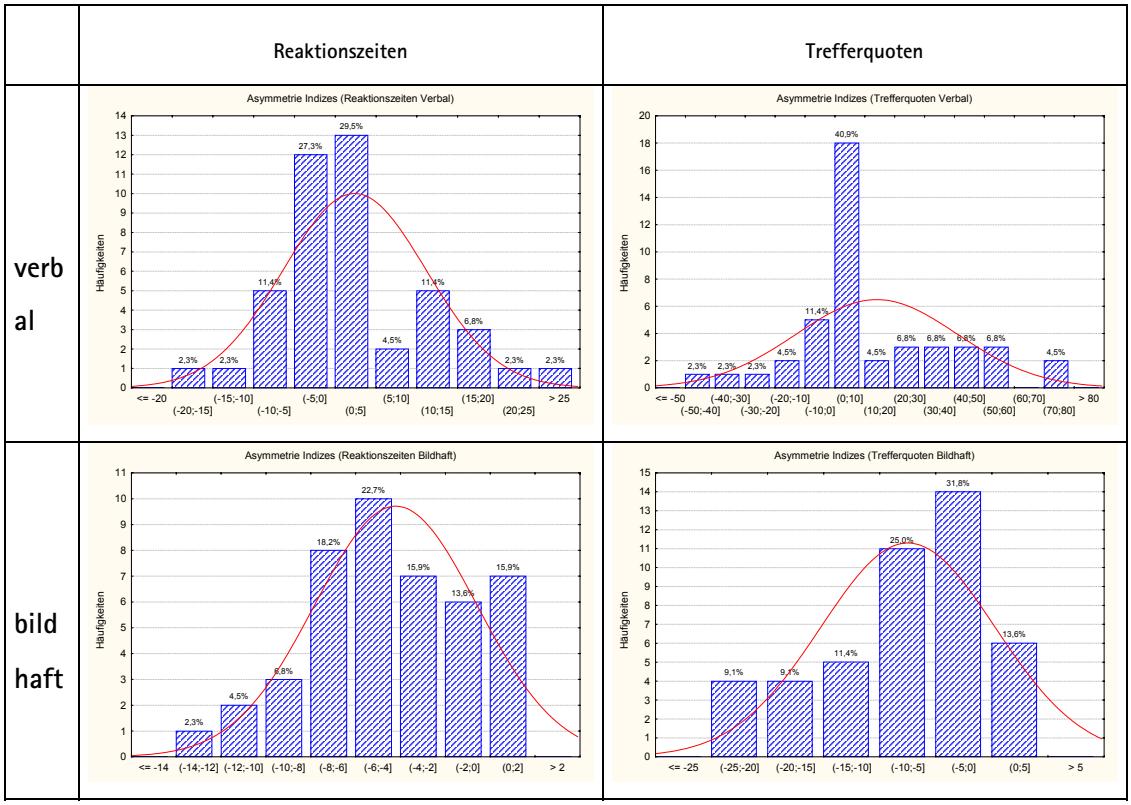
**Tab. 4-5: Prozentualen Häufigkeitsverteilungen der funktionellen Asymmetrie-Indizes**

| | RVHF-Vorteil | LVHF-Vorteil |
|---|---|---|
| abstrakt verbal | 56.7% / 36.3% | 43.3% / 63.7% |
| emotional bildhaft | 15.9% / 13.6% | 84.1% / 86.4% |

Häufigkeitsverteilungen für Reaktionszeiten (1.Wert) / Trefferquoten (2.Wert) der Asymmetrie-Indizes auf abstraktes verbales vs. emotional bildhaftes Stimulusmaterial

Das Verteilungsmuster für das verbale Reizmaterial kehrt sich in Hinblick auf die Reaktionszeiten um. Hier hat der mehrheitliche Teil (56.7%) der Probanden einen erwartungsgemäßen RVHF-Vorteil. Jedoch bei den Trefferquoten haben nur 36.3% der Versuchspersonen eine RVHF-Vorteil. Betrachtet man allerdings die Häufigkeitsverteilung für diesen Fall (s. Abb. 4-11), so fällt auf, daß ein sehr großer Teil der Personen (40.9%) nur einen leichten LVHF-Vorteil für verbale Stimuli aufweist. Unter Ausschluß dieser Gruppe würde die Verteilung zugunsten eines RVHF-Vorteils für verbales Reizmaterial auch hinsichtlich der Trefferquoten ausfallen.

**Abb. 4-11: Häufigkeitsverteilungen der funktionellen Asymmetrie-Indizes**

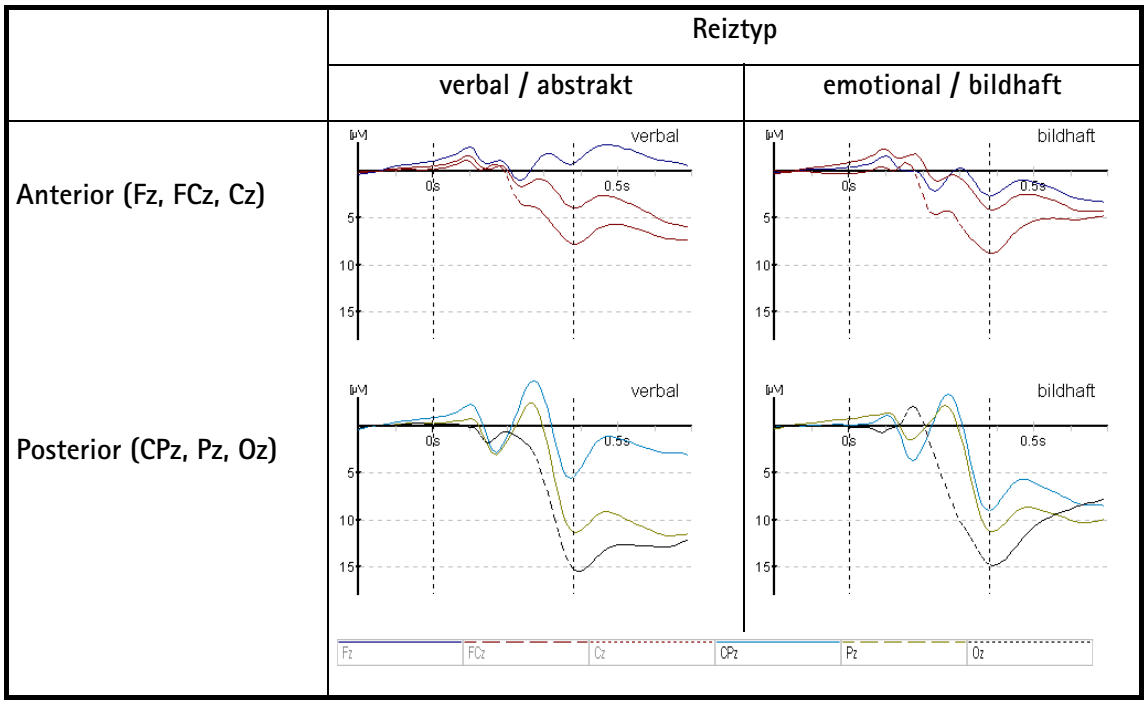


# 4.2 Cerebrale Asymmetrien kortikaler Aktiviertheit

## 4.2.1 P300-Amplitude

In diesem Auswertungsabschnitt geht die P300-Amplitude als abhängige Variable in eine sechsfaktorielle Varianzanalyse ein (s.u.). Die P300-Amplitude ist als das positive Maximum (Peak) in einem Latenzfenster von 350 ms bis 410 ms nach Reizeinsatz (± 30 ms vor und nach der mittleren P300-Latenz von 380 ms) definiert. Ausgewertet wurde die Spannungsdifferenz zwischen Baseline und dem jeweiligen Peak innerhalb dieses Zeitbereiches (Die mittlere P300-Latenz für alle experimentelle Bedingungen, sowohl für die Verarbeitung verbalen als auch bildhaften Reizmaterials liegt bei 380 ms. s. vertikal gestrichelte Linie in Abbildung 4-12, s. auch Kapitel 4.2.2, P300-Latenz).

**Abb. 4-12: Grandmeans von anterioren und posterioren Elektrodengruppen**




Grandmeans der anterioren und posterioren Elektrodengruppen auf abstraktes/verbales bzw. emotional/bildhaftes Reizmaterial. Bei 0 Sek. war Reizensatz, bei 380 ms lag die mittlere Latenz der P300.

Die folgende Auswertung basiert auf einer sechsfaktoriellen ANOVA REIZ(2) x HEMI(3) x ANTPOST(2) x INTREG(3) x HAND(2) x VHF(3) mit Messwiederholung auf allen sechs Faktoren. Im Falle einer Verletzung der Sphärizität wurden Greenhouse-Geiser-Epsilon korrigierte P-Werte interpretiert. Die Faktoren und ihre Stufen gliedern sich wie folgt auf: REIZ (verbal vs. bildhaft), HEMI (linke vs.

rechte vs. zentrale Elektroden auf dem Skalp), AntPost (anteriore oder posteriore Elektrodengruppe), IntReg (interregional. d.h. dreifach Gruppierung innerhalb des anterioren (F, FC, C) und posterioren (CP, P, O) Skalpbereichs), Hand (linke vs. rechte Reaktionshand) und Vhf (linkes oder rechtes visuelle Halbfeld des Zielreizes oder Distraktorenpaar (BVHF)). Nachfolgend (Tabelle 4-6) finden sich die Ergebnisse der Varianzanalyse der P300-Amplitude. Abgebildet sind lediglich die signifikanten Effekte ($p \leq .05$ und mit einer Effektstärke $\omega^2 \geq .03$).

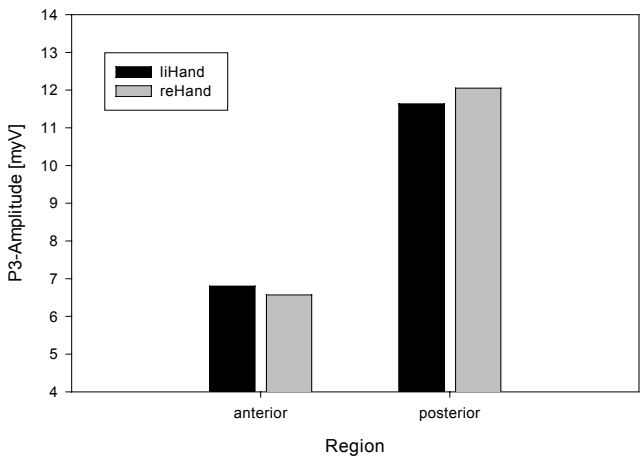
**Tab. 4-6: Signifikante Ergebnisse der ANOVA, AV P300-Amplitude**

| | FG-Effekt | FG-Fehler | F-Wert | p-Wert | $\omega^2$ |
|---|---|---|---|---|---|
| Reiz | 1 | 43 | 233.81 | 0.00 | .73 |
| AntPost | 1 | 43 | 71.04 | 0.00 | .44 |
| IntReg | 2 | 86 | 51.49 | 0.00 | .43 |
| Hemi | 2 | 86 | 33.82 | 0.00 | .33 |
| Vhf | 2 | 86 | 21.91 | 0.00 | .24 |
| AntPost x IntReg | 2 | 86 | 23.13 | 0.00 | .14 |
| Reiz x Hemi | 2 | 86 | 29.01 | 0.00 | .18 |
| AntPost x Hemi | 2 | 86 | 20.33 | 0.00 | .13 |
| IntReg x Hemi | 4 | 172 | 133.20 | 0.00 | .57 |
| AntPost x Hand | 1 | 43 | 14.17 | 0.00 | .07 |
| IntReg x Hand | 2 | 86 | 5.15 | 0.01 | .03 |
| Hemi x Hand | 2 | 86 | 44.10 | 0.00 | .25 |
| IntReg x Vhf | 4 | 172 | 13.20 | 0.00 | .11 |
| Hemi x Vhf | 4 | 172 | 7.55 | 0.00 | .06 |
| Reiz x AntPost x IntReg | 2 | 86 | 18.89 | 0.00 | .06 |
| Reiz x IntReg x Hemi | 4 | 172 | 8.53 | 0.00 | .04 |
| AntPost x IntReg x Hemi | 4 | 172 | 81.39 | 0.00 | .29 |
| AntPost x Hemi x Hand | 2 | 86 | 45.68 | 0.00 | .14 |
| AntPost x Hemi x Vhf | 4 | 172 | 8.24 | 0.00 | .04 |
| AntPost x IntReg x Hemi x Hand | 4 | 172 | 32.78 | 0.00 | .07 |

*Einfluß der Reaktionshand*

Bis auf den Faktor HAND wurden alle anderen Haupteffekte signifikant. Unabhängig ob die Probanden mit der rechten oder linken Reaktionshand die Aufgabe bewältigten, zeigte sich kein genereller Unterschied ($F(1,43) = 0.32$, $p < .61$, n.s.) zwischen den Reaktionshandseiten (linke Hand: 9.22µV, rechte Hand 9.32µV) in der P300-Amplitude. Allerdings interagierte der Faktor HAND mit den Elektrodenfaktoren INTREG x HAND ($F(2,86) = 5.15$, $p < .00$, $\omega^2 = .03$) und ANTPOST x HAND ($F(1,43) = 14.17$, $p < .00$, $\omega^2 = .07$). An den interregionalen Elektroden zeigte sich eine leichte Tendenz dahingehend, daß die bestehende Handdifferenz anterior an den frontalen und posterior an occipitalen Elektroden maximal ist. Post hoc Tests erbrachten jedoch keinen signifikanten Unterschied innerhalb einer Interregionalität. Betrachtet man die Wechselwirkung zwischen dem Topografiefaktor ANTPOST und HAND, so zeigte sich eine leichter Amplitudenerhöhung für die linke Hand im anterioren Bereich und für die rechte Hand im posterioren Bereich, s. Abb 4-12. Post hoc Analysen wiesen allerdings keine signifikanten Handunterschiede für die beiden Regionen auf. Die Grandmeans auf die linke vs. rechte Reaktionshand für verbale bzw. für bildhafte Stimuli werden aus den Abbildungen 4-24 und 4-25 ersichtlich.

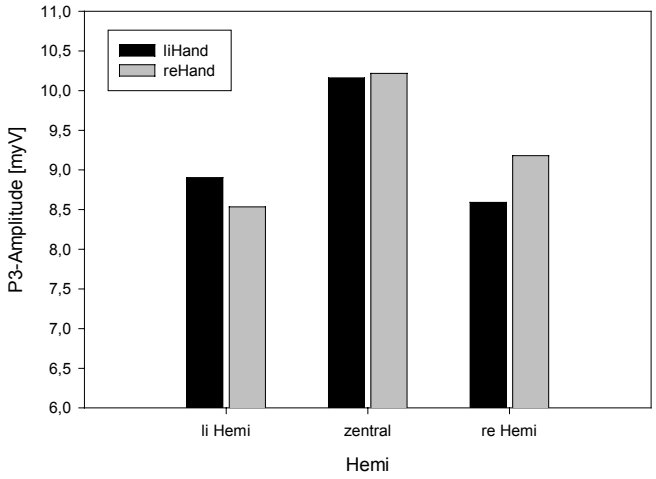
**Abb. 4-13: Interaktion ANTPOST x HAND (P300-Amplitude)**




Betrachtet man diese Wechselwirkung allerdings in Abhängigkeit von der Hemisphärizität der Verarbeitung (ANTPOST x HEMI x HAND), so spiegelt sich ein anderes Bild wider, auf das im Folgenden näher eingegangen wird. Mit $\omega^2 = .25$ klärt die Zweifachinteraktion HEMI x HAND ($F(2,86) = 44.10$, $p < .00$, $\omega^2 = .25$) einen sehr großen Anteil an Varianz in der abhängigen Variable auf. Abbildung 4-13 veranschaulicht die Wechselwirkung zwischen HEMI x HAND. Es zeigte sich sehr deutlich, daß über derjenigen Hemisphäre die größten Amplituden zu messen waren, welche

ipsilateral zur Reaktionshand liegt. Darüber hinaus wiesen die zentralen Elektroden nahezu identische Amplitudenwerte (linke Hand= 10.16µV und rechte Hand = 10.22 µV, Differenz n.s.) für beide Reaktionshände auf. Der post hoc Scheffé-Test erbrachte sowohl für die linke (linke – rechte Hand = 8.90µV – 8.53µV = 0.37µV) als auch rechte (rechte – linke Hand = 9.18µV – 8.59µV = 0.59µV) Hemisphäre signifikante Handunterschiede in der P300-Amplitude.

**Abb. 4-14: Interaktion HEMI x HAND (P300-Amplitude)**

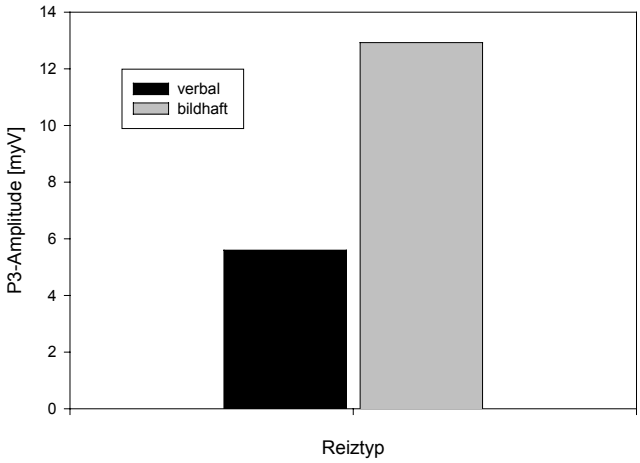



Betrachtete man den Unterschied dieses Wechselwirkungseffektes in Abhängigkeit von der anterioren/posterioren Skalpregion (ANTPOST x HEMI x HAND = $F(2,86) = 45.68$, $p < .00$, $\omega^2 = .14$), so zeigte sich der oben beschriebene Richtungswechsel nur in dem anterioren Skalpbereich. Hingegen zeigte sich posterior ein leichter Amplitudenvorteil der rechten Hand, allerdings war diese Differenz statistisch unbedeutsam.

*Einfluß des Reiztyps*

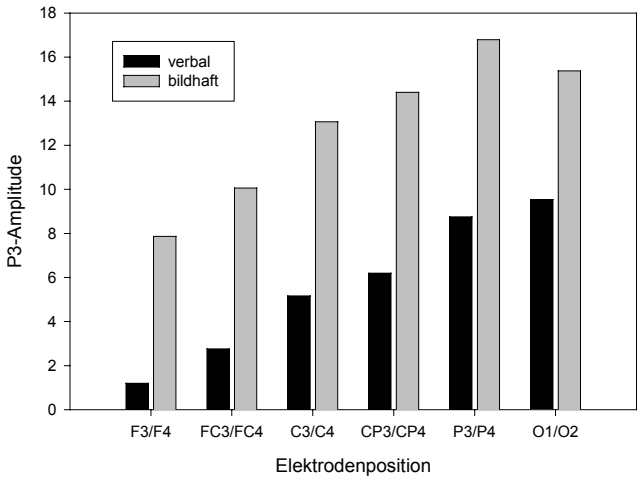
Die Mittelwerte über alle experimentellen Bedingungen und Elektroden der P300-Amplitude unterscheiden sich signifikant in Hinblick auf die Verarbeitung der beiden Reiztypen. Mit einem deutlichen Unterschied ($F(1,43) = 233.81$, $p < .00$, $\omega^2 = .73$) klärt der Haupteffekt REIZ den größten Anteil der Varianz in der abhängigen Variable auf. Durchgehend evozierte das bildhafte emotionale Material (12.93 myV) größere P300-Amplituden über dem gesamten Skalp als das abstrakte verbale Reizmaterial (5.60 myV), was als ein weiteres Indiz für eine unterschiedliche Aufgabenschwierigkeit zwischen den Aufgabentypen bzw. Stimulusklassen interpretiert werden kann. Abbildung 4-23 zeigt die Grandmeans aller Zielelektroden in Abhängigkeit nach beiden Reiztypen gemittelt.

**Abb. 4-15: Haupteffekt REIZ (P300-Amplitude)**




Mit dem Faktor ANTPOST interagieren die beiden Reiztypen nicht ($F(2,86) = 0.03$, $p < .87$, n.s.), zwischen und innerhalb der anterioren und posterioren Skalpregion zeigt sich kein Unterschied zwischen den beiden Reiztypen in der P300-Amplitude.

**Abb. 4-16: Interaktion REIZ x REGION (P300-Amplitude)**

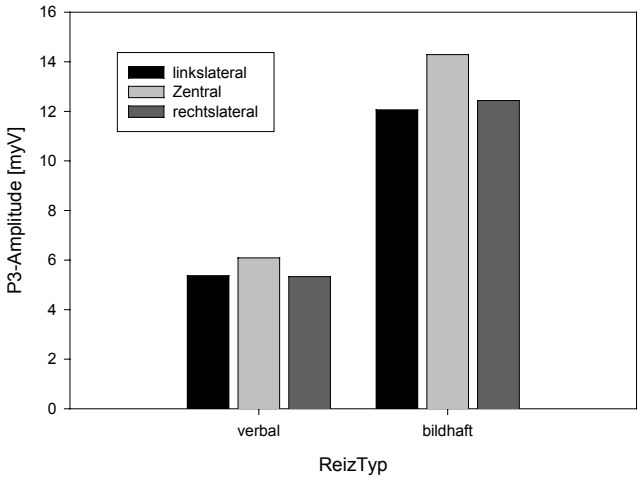



Hingegen schlägt die dreifach Interaktion REIZ x ANTPOST x INTREG mit einer Effektstärke von 6% schwach zu Buche ($F(2,86) = 18.89$, $p < .00$, $\omega^2 = .06$). Abbildung 4-16 verdeutlicht den Zusammenhang dieser Wechselwirkung zwischen den Reiztypen und den Topografiefaktoren. Die P300-Amplitude steigt von den anterioren zu den posterioren Elektrodenpositionen an und findet ihr Maximum an den parietalen (für verbale Stimuli) oder occpitalen (für bildhafte Stimuli) Elektrodenpositionen, unabhängig vom Reizmaterial.

*Hemisphäreneffekte*

Der Haupteffekt Hemisphäre hat einen varianzaufklärenden Anteil von 33% ($F(2,86) = 33.82$, $p < .00$, $\omega^2 = .33$). Unabhängig von Einflüssen der Reaktionshand (HAND), Darbietungsseite (VHF) des Stimulus und Stimulustyp (REIZ) findet man einen generellen Unterschied in der P300-Amplitude zwischen den zentralen und benachbarten lateralen Elektrode(n). Diese Amplitudendifferenz ist allerdings weniger auf die Einflüsse der experimentellen Bedingungen zurück zu führen, als auf die Rereferenzierung der Daten von der zentralen Referenz (Cz) auf auf die gemittelte A1/A2 Referenz. Denn je weiter eine Zielelektrode von ihrer Referenzelektrode topografisch entfernt liegt, desto größer können die messbaren Potentialunterschiede zur jeweiligen Zielelektrode sein. Bei einer A1/A2 Referenz liegen die lateralen Elektrodenpaare dichter an den Ohrläppchen als die zentralen Elektroden, folglich müssen letztere Potentiale größer ausfallen. Betrachtet man lediglich die Differenz zwischen den lateralen Elektrodenpaaren, so existiert kein signifikanter Unterschied zwischen den Amplituden der rechten und linken Hemisphäre, denn anhand von post hoc Analysen resultiert kein signifikanter Spannungsabfall zwischen linker (8.72 myV) und rechter (8.89 myV) Hemisphäre, gemittelt über alle Bedingungen. Analysiert man die P300-Amplitude über den beiden Hemisphären in Abhängigkeit von der Art des zu verarbeitenden Reizmaterials, so ist nach den Hypothesen von Kapitel 3.2 eine reizspezifische Wechselwirkung zwischen HEMI x REIZ zu erwarten, besonders an den posterioren Elektrodenpaaren. Doch diese Erwartung kann hier nicht bestätigt werden. Die Interaktion zwischen HEMI x REIZ wurde zwar deutlich signifikant ($F(2,86) = 29.01$, $p < .00$, $\omega^2 = .18$), doch bei näherer Betrachtung fällt auf, daß die Stärke dieser Wechselwirkung alleinig auf die unterschiedlichen Potentiale der zentralen Elektroden zurück zu führen ist. Abbildung 4-16 verdeutlicht diesen Zusammenhang. Die lateralisierten P300-Amplituden sind sowohl für verbales als auch bildhaftes Reizmaterial nahezu identisch. Eine post hoc Analyse erbrachte keinen signifikanten Unterschied zwischen den Hemisphären (verbale: linkslateral = 5.33 myV vs. rechtslateral = 5.38 myV; bildhaft: linkslateral = 12.06 myV vs. 12.44 myV). Bei Spannungsdifferenzen unter 1 myV kann man ohnehin nicht mehr von einem elektrophysiologisch-funktional substantiellen Unterschied sprechen.

**Abb. 4-17: Interaktion HEMI x REIZ (P300-Amplitude)**



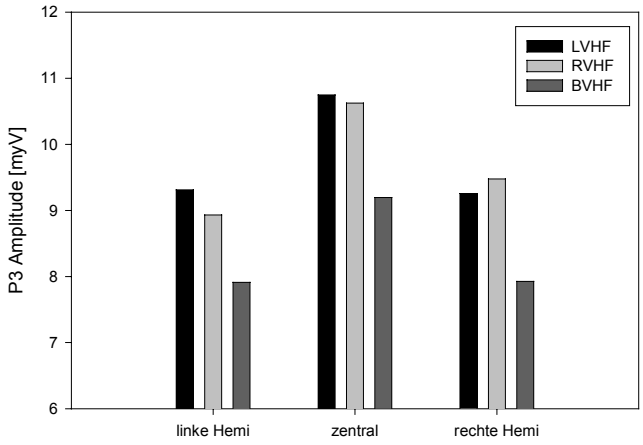

In Abhängigkeit von der topografischen Regionalität bleibt die Wechselwirkung HEMI x REIZ unverändert. Die Amplitude der P300 bleibt in Hinblick vom Typ des Reizmaterials auf beiden Hemisphären identisch, unabhängig von der Regionalität auf dem Skalp. Sowohl die Interaktion HEMI x REIZ x ANTPOST, ($F(2,86) = 3.81$, $p < .03$, $\omega^2 = .01$) als auch HEMI x REIZ x INTREG, ($F(4,172) = 8.53$, $p < .00$, $\omega^2 = .04$) werden zwar statistisch bedeutsam, doch beide Effekte sind zu schwach, um sie inhaltlich fundiert interpretieren zu können.

Die Wechselwirkungen zwischen Reiztyp (REIZ x HEMI) und Darbietungsseite des Zielstimulus (VHF x HEMI) wurden ebenfalls nicht signifikant. Der Faktor REIZ interagiert mit keinem der anderen Faktoren in irgendeiner Weise.

*Einfluß der Seite des Darbietungshalbfeldes*

Die Abbildungen 4-26 und 4-27 zeigen die Grandmeans auf die LVHF, RVHF und Distraktor – Stimulation auf abstrakt verbales bzw. emotional bildhaftes Reizmaterial. Ersichtlich wird bei beiden Reiztypen an allen Elektrodenpositionen die reduzierte P300-Amplitude auf die Distraktoren (($F(2,86) = 21.91$, $p < .00$, $\omega^2 = .24$). Dies ist auch nicht weiter verwunderlich, da die Distraktorenbedingung keinen zu identifizierenden Zielreiz beinhaltete. In sofern war in dieser experimentellen Bedingung kein Kontext-Updating Prozess zur Identifikation eines Zielreizes nötig gewesen. Denn die experimentelle Aufgabe lautete in beiden Experimenten, so schnell wie möglich das Sinnwort bzw. das emotionale Gesicht zu identifizieren. Innerhalb der Kontrollbedingung war ein entsprechender Zielreiz aber nicht vertreten. Abbildung 4-18 zeigt die Wechselwirkung HEMI x VHF (($F(4,172) = 7.55$, $p < .00$, $\omega^2 = .06$) in einer Grafik.

**Abb. 4-18: Interaktion HEMI x VHF (P300-Amplitude)**




In Abbildung 4-17 zeigt sich noch eine leichte Tendenz in der P300-Amplitude, daß über der ipsilateral zur Stumulationsseite gelegenen Hemisphäre, eine vergleichsweise positivere Amplitude zur kontralateral gelegenen Gehirnhälfte zu messen war (s. relative Maxima von linke Hemi und LVHF bzw. rechte Hemi und RVHF). Doch bei einer post hoc Analyse dieser Differenzen resultierten keine statistischen signifikanten Unterschiede zwischen ipsilateraler und kontralateraler Beziehung von der Seite des visuellen Halbfeldes und Hemisphäre.

### 4.2.2 P300-Latenz

Analog zur Auswertung der P300-Amplitude basiert die folgende Auswertung auf einer sechsfaktoriellen ANOVA REIZ(2) x HEMI(3) x ANTPOST(2) x INTREG(3) x HAND(2) x VHF(3) mit Messwiederholung auf allen sechs Faktoren. Im Falle einer Verletzung der Sphärizität wurden Greenhouse-Geiser-Epsilon korrigierte P-Werte interpretiert. Die Faktoren und ihre Stufen gliedern sich wie folgt auf: REIZ (verbal vs. bildhaft), HEMI (linke vs. rechte vs. zentrale Elektroden auf dem Skalp), ANTPOST (anteriore oder posteriore Elektrodengruppe), INTREG (interregional, d.h. dreifach Gruppierung innerhalb des anterioren (F, FC, C) und posterioren (CP, P, O) Skalpbereichs), HAND (linke vs. rechte Reaktionshand) und VHF (linkes oder rechtes visuelle Halbfeld des Zielreizes oder Distraktorenpaar). Nachfolgend (Tabelle 4-7) finden sich die Ergebnisse der Varianzanalyse der P300-Latenz. Abgebildet sind lediglich die signifikanten Effekte ($p \leq .05$ und mit einer Effektstärke $\omega^2 \geq .03$).

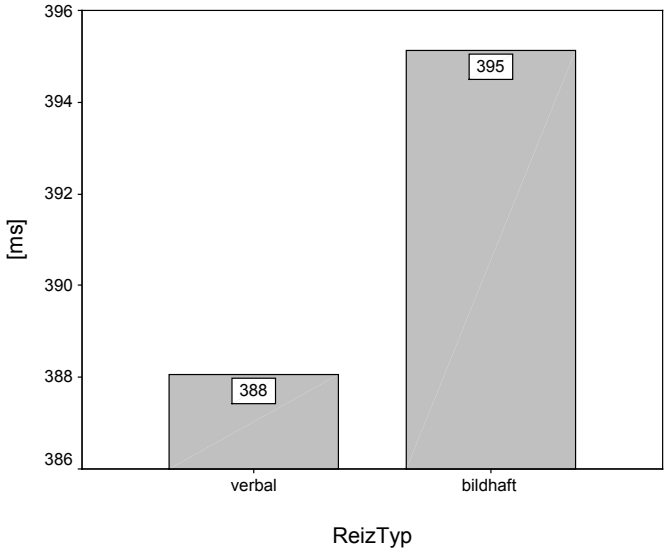
**Tab. 4-7: Signifikante Ergebnisse der ANOVA, AV P300-Latenz**

| | FG-Effekt | FG-Fehler | F-Wert | p-Wert | $\omega^2$ |
|---|---|---|---|---|---|
| REIZ | 1 | 43 | 4.08 | 0.05 | .03 |
| ANTPOST | 1 | 43 | 4.33 | 0.04 | .04 |
| VHF | 2 | 86 | 4.52 | 0.01 | .05 |
| ANTPOST X INTREG | 2 | 86 | 38.46 | 0.00 | .22 |
| REIZ X HEMI | 2 | 86 | 13.26 | 0.00 | .08 |
| ANTPOST X HEMI | 2 | 86 | 24.16 | 0.00 | .15 |
| INTREG X HEMI | 4 | 172 | 17.46 | 0.00 | .14 |
| ANTPOST X VHF | 2 | 86 | 13.92 | 0.00 | .09 |
| INTREG X VHF | 4 | 172 | 4.83 | 0.00 | .04 |

Insgesamt resultieren aus der Analyse der P300-Latenz keine Reiz- oder Lateralitäts-spezifischen Hemisphäreneffekte. Weder die Interaktion zwischen REIZ x VHF noch VHF x HEMI wurden signifikant. Sämtliche Lateralitäts bezogenen Effekte interagieren mit Elektrodenpositionsfaktoren. Auf die Haupteffekte REIZ und VHF sowie die Wechselwirkung REIZ x HEMI wird im Folgenden näher eingegangen.

REIZ

**Abb. 4-19: Haupteffekt REIZ (P300-Latenz)**

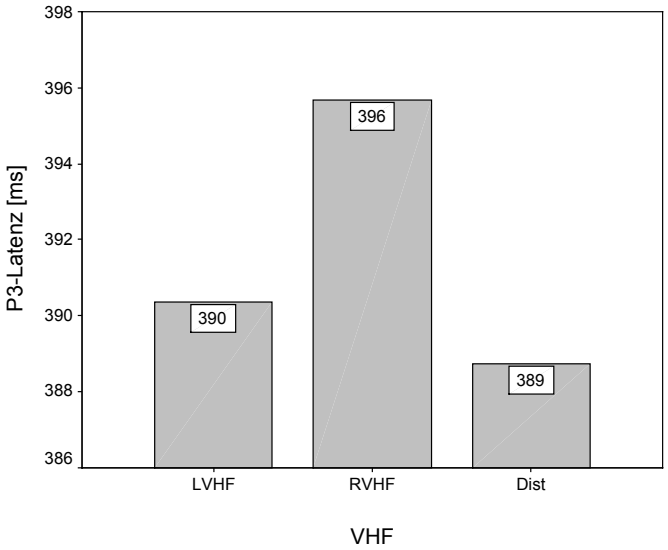



Zwischen den beiden Reizmaterialien existiert ein signifikanter Unterschied in der Latenz des P3-Peaks ($F(1,43) = 4.1$, $p < .05$, $\omega^2 = .03$) von 7 ms zugunsten des verbalen Reizmaterials (verbal 388.05 ms vs. bildhaft 395.12 ms). Bei einer Varianzaufklärung von nur 3% ist der Effekt des Latenzunterschiedes allerdings sehr gering.

VHF

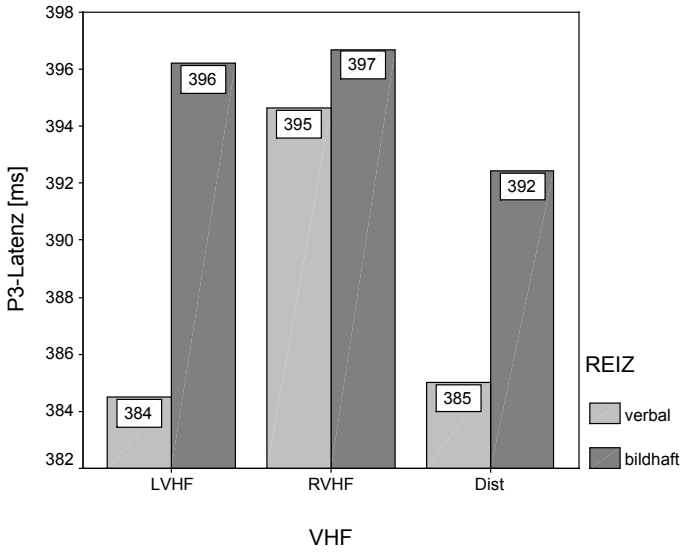
Der Haupteffekt VHF wird signifikant ($F(2,86) = 4.52$, $p < .01$, $\omega^2 = .05$). Mit einem varianzaufklärenden Anteil von nur 5% ist dieser Effekt jedoch relativ klein.

**Abb. 4-20: Haupteffekt VHF (P300-Latenz)**



In einer post hoc Analyse erweisen sich die Latenzunterschiede der P300 zwischen dem LVHF und RVHF (6 ms) sowie zwischen dem RVHF und Distraktorbedingung (7 ms) ebenfalls als signifikant. Allerdings steht der LVHF-Vorteil nicht in einer Interaktion mit Art des Reiztyps ($F(2,86) = 2.03$, $p < .14$, n.s.). Sowohl für die Verarbeitung verbalen als auch bildhaften Reizmaterials existiert ein relativer LVHF Vorteil gegenüber dem RVHF in der P300-Latenz. Bei den Distraktoren jedoch resultieren nur für verbales Reizmaterial deutlich geringere Latenzen (s. Abbildung 4-21).

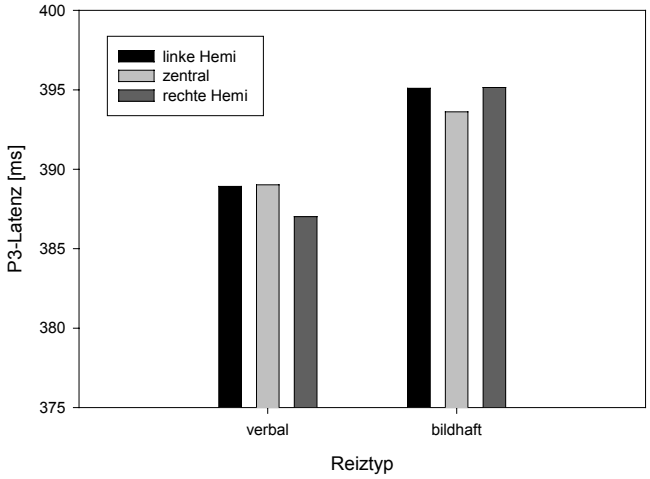
**Abb. 4-21: Interaktion REIZ x VHF (P300-Latenz)**




REIZ x HEMI

Die ANOVA deckte eine signifikante Wechselwirkung zwischen den Faktoren Reiz x Hemi auf (($F(2,86) = 13.26$, $p < .00$, $\omega^2 = .08$). Allerdings wird die Wechselwirkung erst unter Einbezug der Distraktorenbedingung der zentralen Elektrodenpositionen, welche für substantielle Lateralitätsaussagen eher unwichtig sind, signifikant. Post hoc Analysen bestätigen, daß die P300-Latenz sich an den lateralen Elektrodenpositionen nicht in Abhängigkeit vom Reiztyp verändert. Abbildung 4-22 veranschaulicht diesen Zusammenhang. Bei dem bildhaften Material existieren nahezu identische Latenzen zwischen den lateralen Elektrodenpositionen (bildhaft, linkslateral 395.10 ms vs. rechtslateral 395.15 ms). Der Latenzunterschied zwischen den lateralen Elektrodenpositionen bei der Verarbeitung verbalen Reizmaterials ist nicht signifikant (verbal, linkslateral 388.92 ms vs. rechtslateral 387.01 ms, n.s.).

**Abb. 4-22: Interaktion REIZ x HEMI (P300-Latenz)**




*P300-Latenz und IHTT*

Da eine Abtastfrequenz von 100 Hz zur Aufzeichnung der ereigniskorrelierten Potentiale verwendet wurde, ist die kleinste Auflösung zur Darstellung der P300-Latenz-Messpunkte nur in 10 ms Schritten möglich. Um jedoch Unterschiede im interhemisphärischen Übertragungsweg im Bereich kleiner als 10 ms zu analysieren, reicht die verwendete Samplerate von 100 Hz nicht aus. Die identifizierten Peaks der P300-Amplitude sind dadurch mit einem messbedingten Jitter überzogen, welcher es unmöglich macht, Übertragungszeiten in einem kleineren Zeitbereich (< 10 ms) valide zu interpretieren.

**Abb. 4-23: Grandmeans auf verbale vs. bildhafte Stimuli**

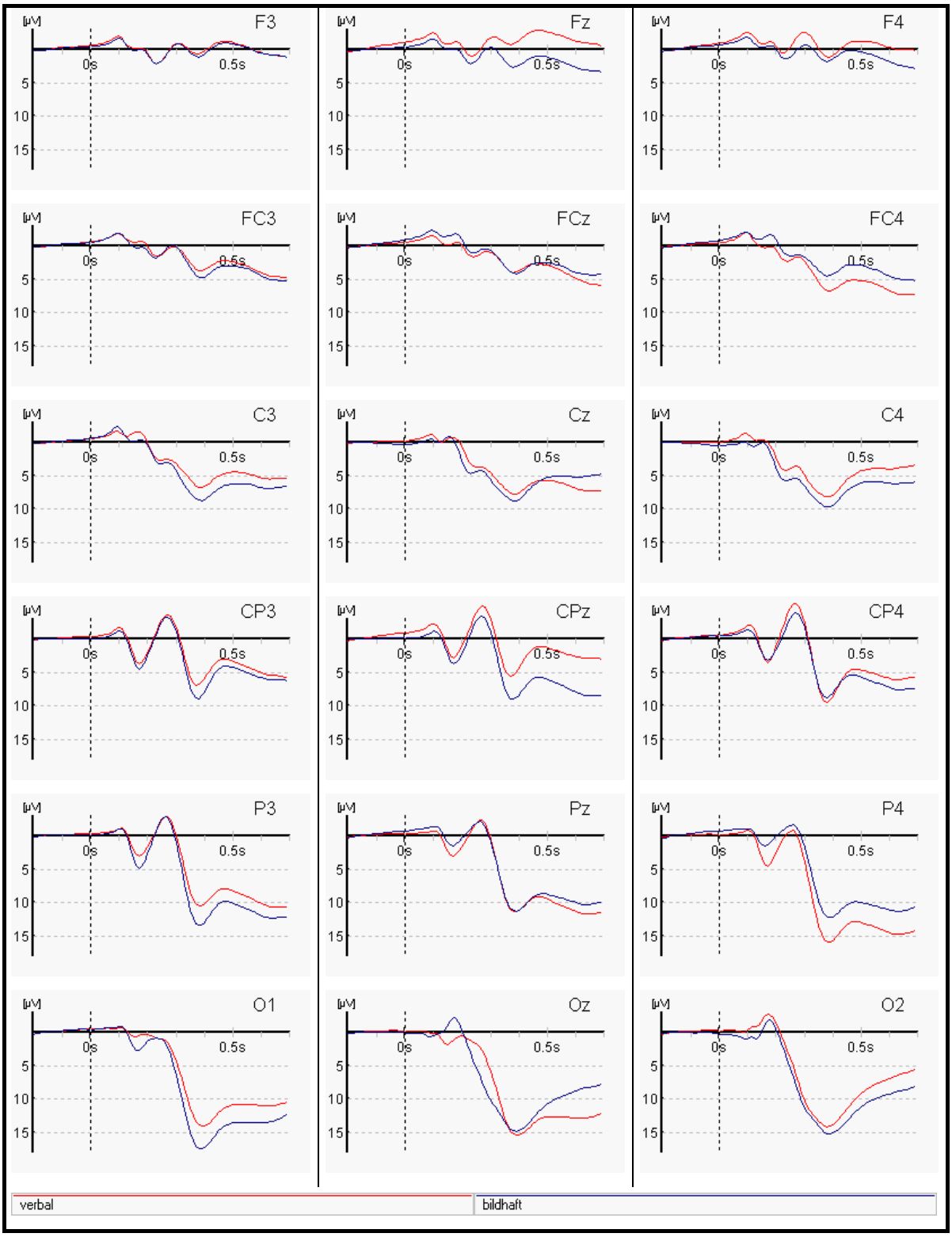


**Abb. 4-24: Grandmeans auf linke vs. rechte Reaktionshand (verbale Stimuli)**

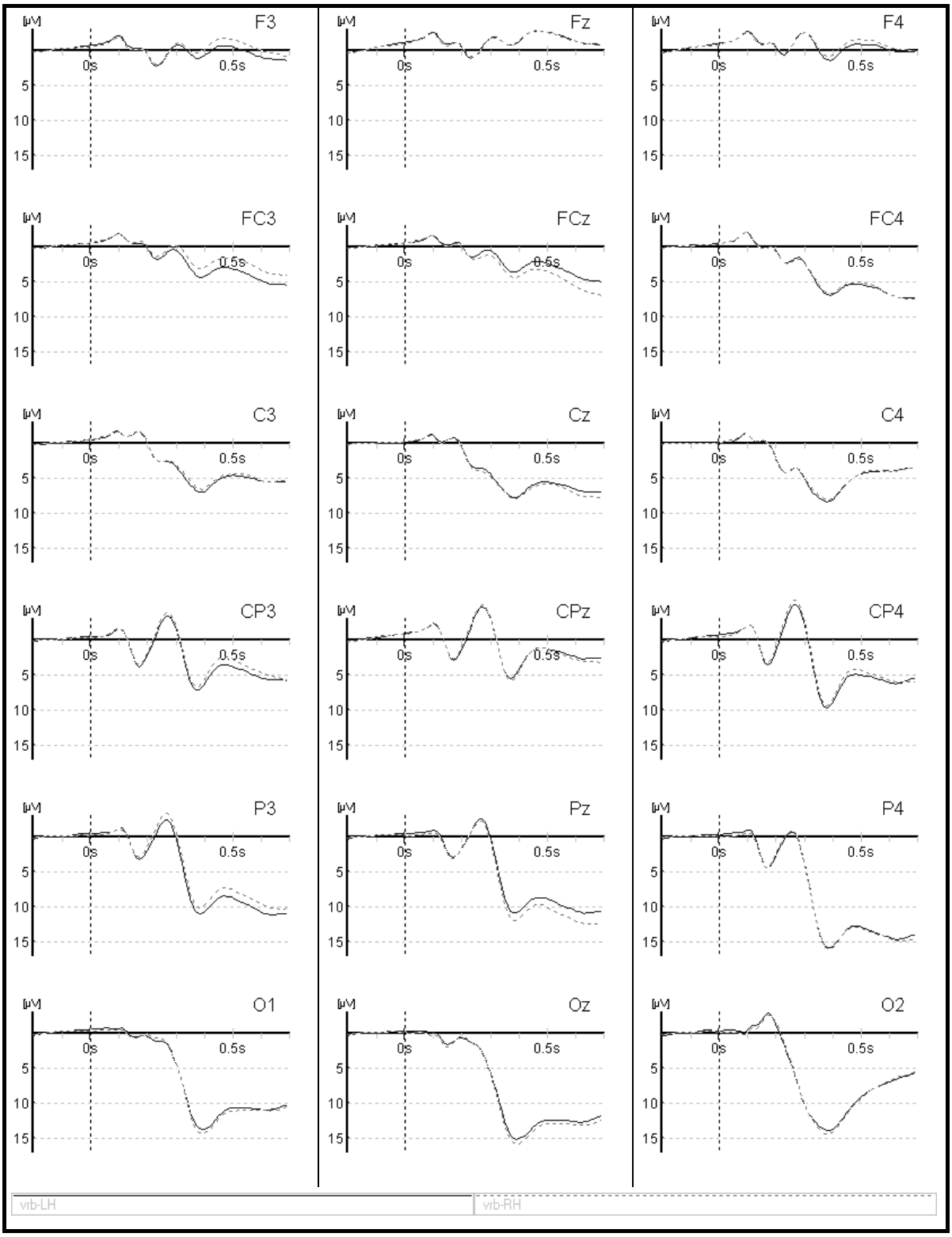


**Abb. 4-25: Grandmeans auf linke vs. rechte Reaktionshand (bildhafte Stimuli)**

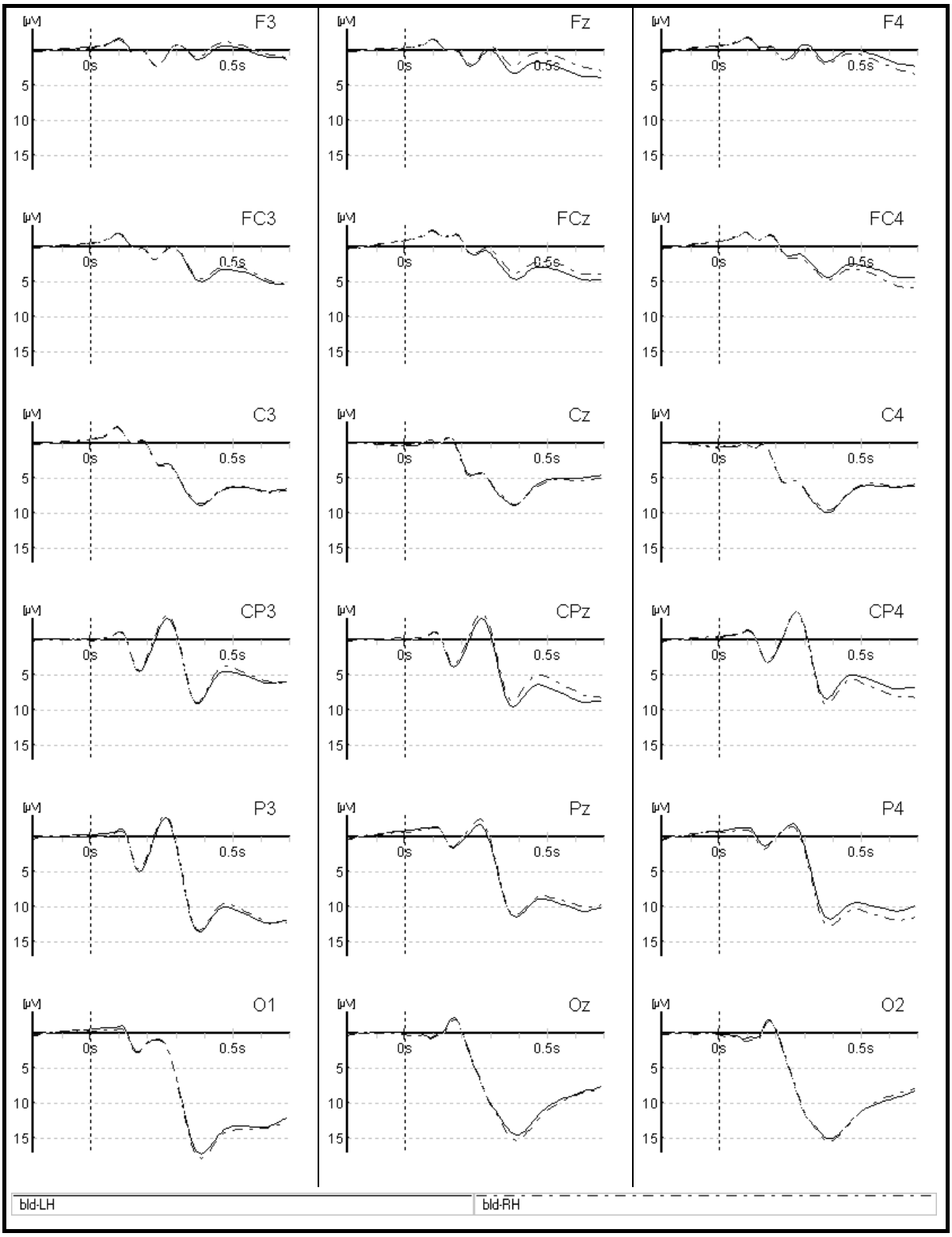


**Abb. 4-26: Grandmeans auf LVHF, RVHF u. Distraktoren (verbale Stimuli)**

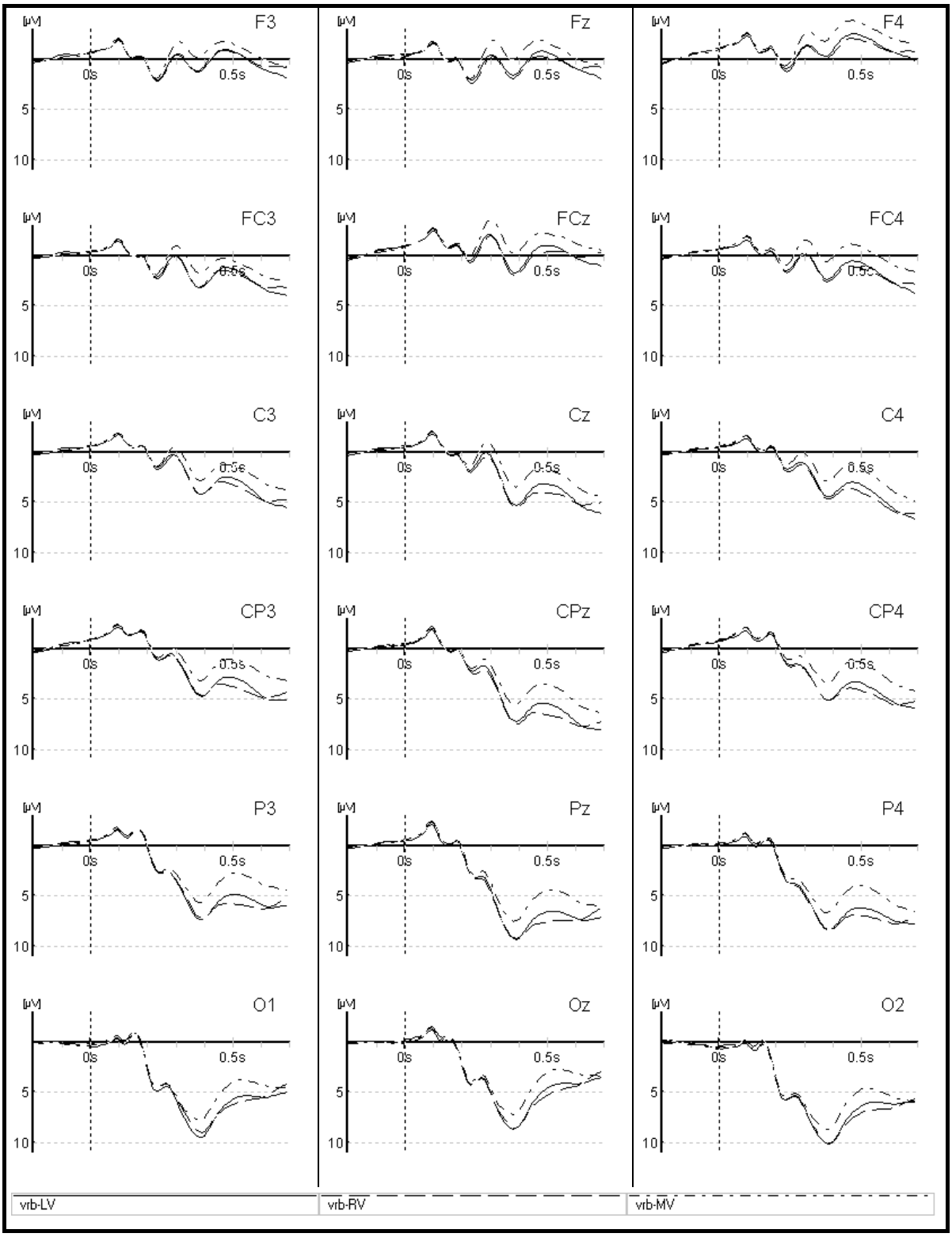


**Abb. 4-27: Grandmeans auf LVHF, RVHF u. Distraktoren (bildhafte Stimuli)**

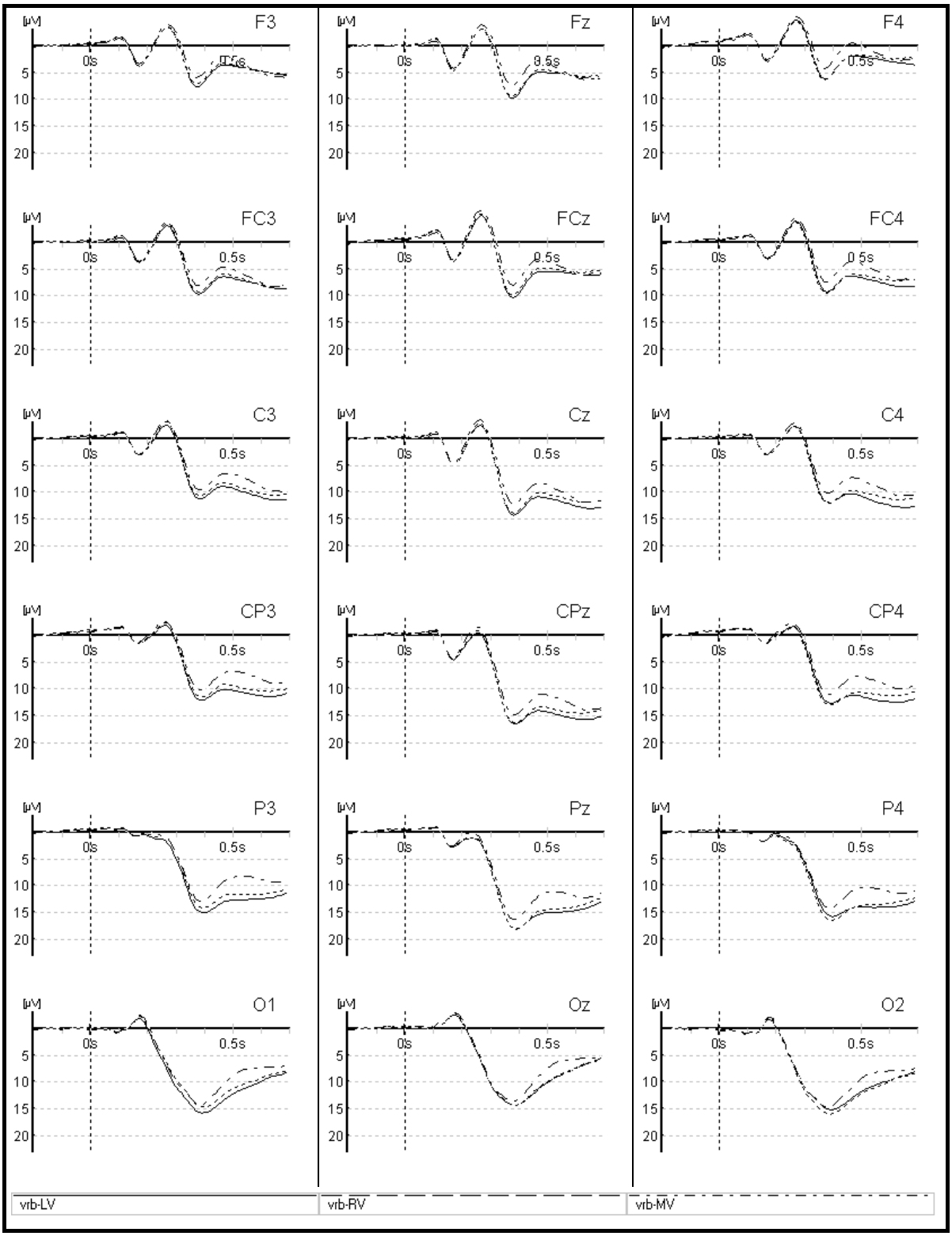


**Abb. 4-28: Grandmeans auf ipsi vs. kontra-lateraler Modus (verbale Stimuli)**

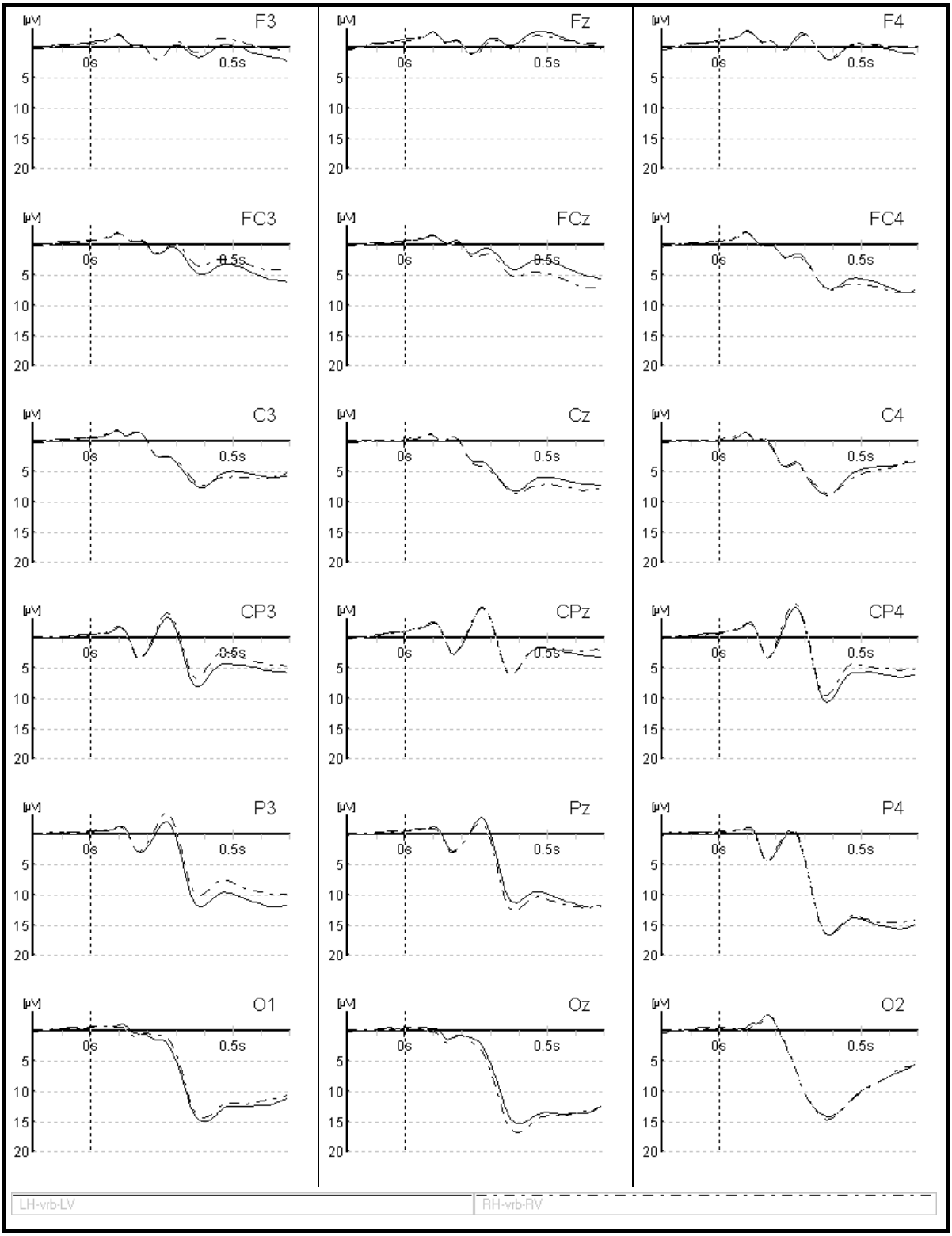
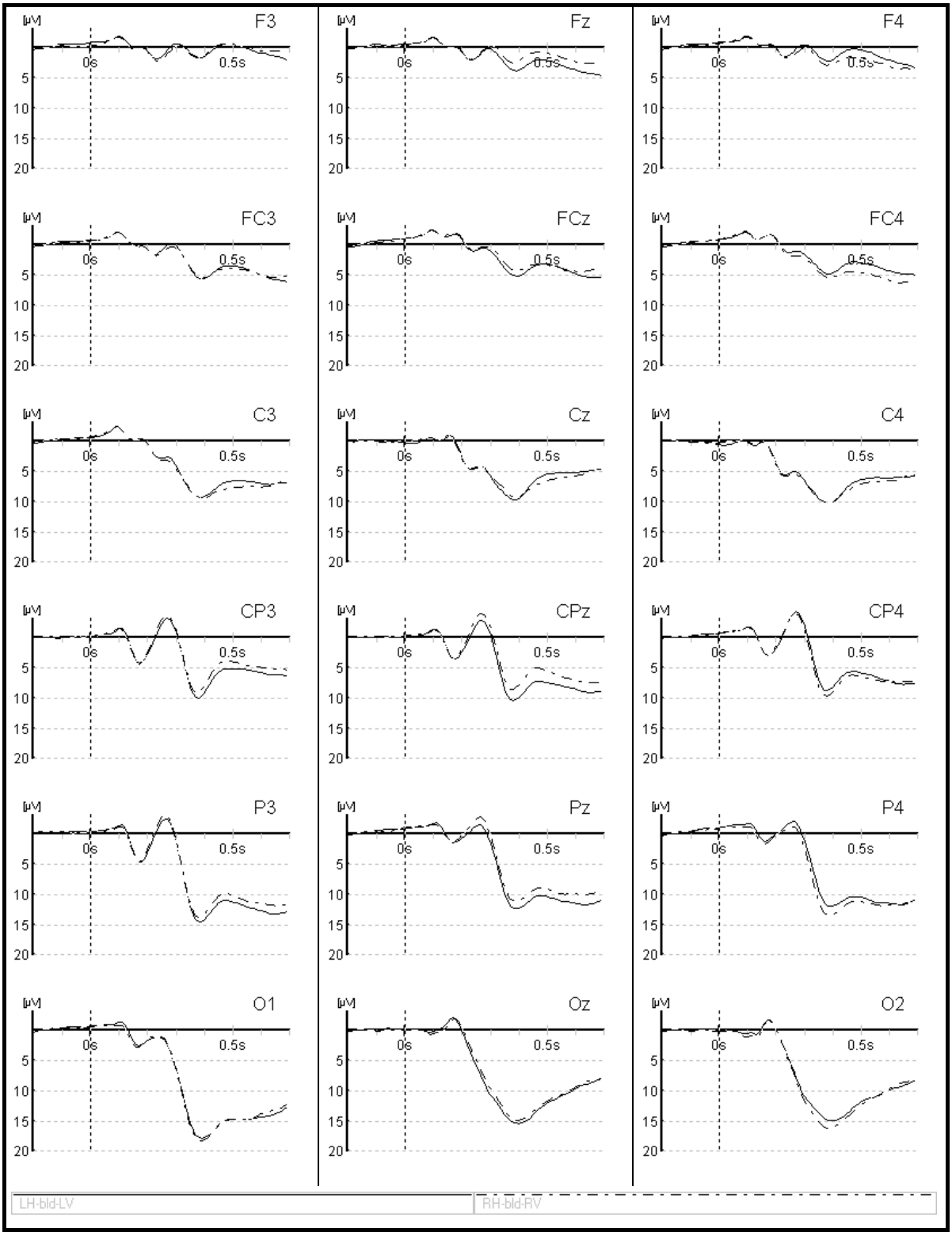


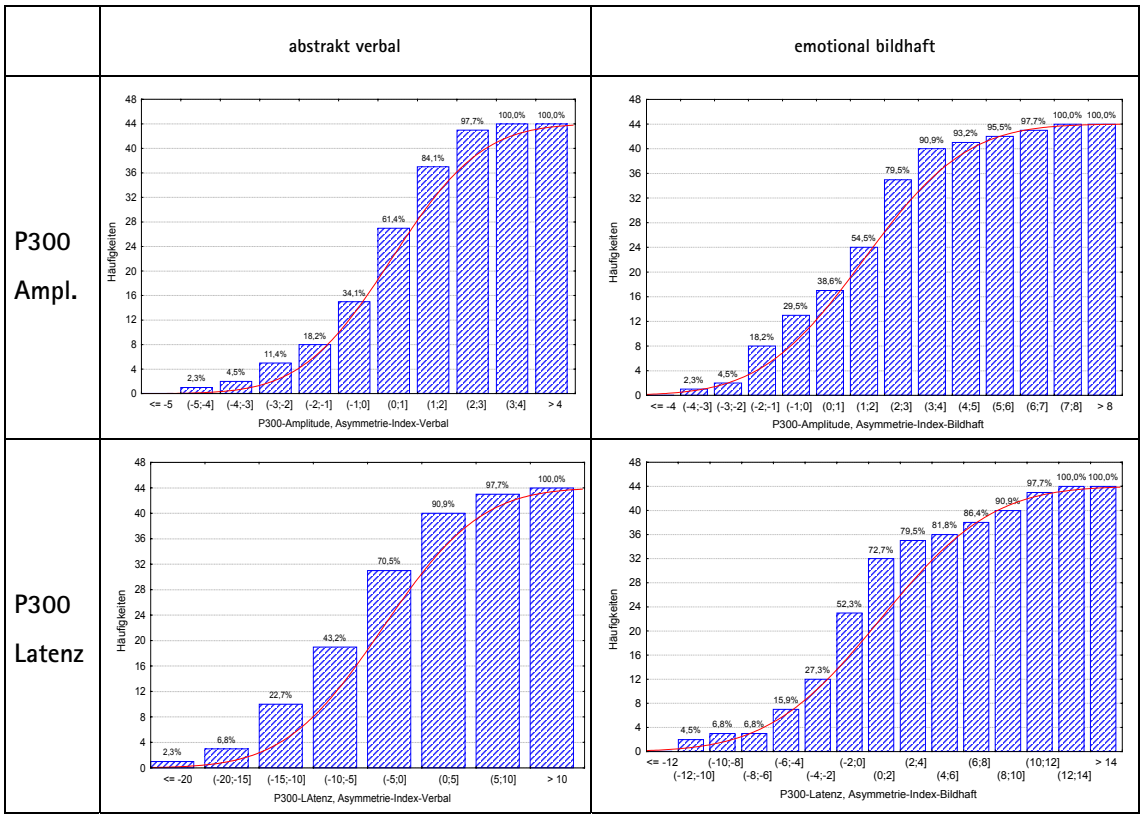
**Abb. 4-29: Grandmeans auf ipsi vs. kontra-lateraler Modus (bildhafte Stimuli)**



### 4.2.3 Asymmetrie-Indizes für Amplitude und Latenz der P300

Analog zur Berechnung der funktionellen Asymmetrie-Indizes wird in dieser Studie der Versuch gemacht, für die P300-Komponente eine Indexäquivalent zu berechnen. Dazu wurde die Amplitude und die Latenz der P300 der Elektroden P3 und P4 zu einem Asymmetrie-Parameter Zusammengefaßt. Die Elektroden P3 und P4 wurden ausgewählt, da diese Positionen in der allgemeinen Forschungsliteratur mit der P300 assoziiert werden. Ähnlich wie bei den Verhaltensparametern wurde auch hier der Index durch eine Rechts (P4) minus Links (P3) Differenz berechnet und durch die Gesamtheit von P4 + P3 dividiert. Demnach zeigt ein positiver Index der P300-Amplitude eine relativ größere Positivierung über der rechten Hemisphäre an (AmP RH>LH). Ein positiver Index für die P300-Latenz indiziert relativ kürzere Latenzen über der linken Hemisphäre (LaT LH<RH). Die folgende Abbildung vergleicht die kummulierten Häufigkeiten für die jeweiligen Asymmetrie-Indizes (P300–Amplitude und–Latenz) auf verbale bzw. bildhafte Stimuli.

**Abb. 4-30: Kummulierte Häufigkeitsverteilung für P300– Asymmetrie-Indizes**




Insgesamt betrachtet, verlaufen die Asymmetrie-Indizes beider Stimulustypen eher parallel. Anders als bei den Asymmetrie-Indizes der Verhaltensdaten ergibt sich hier keine Überkreuzung der Asymmetrie-Polariät. Nachfolgende Tabelle veranschaulicht dies:

**Tab. 4-8: Verteilungsvergleich der Asymmetrie-Indizes der P300- Amplitude und Latenz**

| | **AmP** LH>RH / **LaT** LH<RH | **AmP** RH>LH / **LaT** RH<LH |
|---|---|---|
| **verbal** | (34.1%) / (29.5%) | (65.9%) / (70.5%) |
| **bildhaft** | (29.5%) / (48.7%) | (70.5%) / (52.3%) |

AmP LH>RH = größere P300-Amplitude über der linken Hemisphäre, LaT LH<RH = kürzere P300-Latenz über der linken Hemisphäre, AmP RH>LH = größere P300-Amplitude über der rechten Hemisphäre, LaT RH<LH = kürzere P300-Latenz über der rechten Hemisphäre.

Eine Zusammenfassung der Häufigkeitsverteilungen aus obiger Abbildung zeigt Tabelle 4-8. Bei beiden Stimulustypen zeigt sich häufiger über der rechten Hemisphäre eine relative größere P300-Amplitude (verbal: 65.9% und bildhaft: 70.5%) sowie kürzere P300-Latenzen (verbal: 70.5% und bildhaft: 52.3%). Anders als bei den Verhaltens-Asymmetrie-Indizes findet man hier bei beiden Reizklassen eine durchgehend höhere Häufigkeit unter den Probanden i.S. einer größeren Positivierung und kürzeren Latenz der P300 über der rechten Hemisphäre. Darüber hinaus korrelieren die Asymmetrie-Indizes der P300 –Amplitude und –Latenz für verbale und bildhafte Stimuli signifikant ($p < .05$) miteinander: $r_{\text{Asy-P3Ampl-verbal – Asy-P3Amplitude-bildhaft}} = .36$ und $r_{\text{Asy-P3Latenz-verbal– ASY-P3Latenz-bildhaft}} = .42$).

### 4.2.4 Ipsi-versus Kontralaterale Verarbeitung

Die P300-Amplitude als auch die Latenz dieser Komponente wurde hinsichtlich ihrer lateralisierten Verarbeitungsform ausgewertet. Grundsätzlich kann man zwischen ipsi- und kontralateraler Verarbeitungsform der verbalen und bildhaften Reize unterscheiden. Von ipsilateral ist die Rede, wenn die motorischen Gehrinareale der Reaktionshand und die rezeptiven Areale zur Wahrnehmung des lateralisiert dargebotenen Reizes in derselben Hemisphäre lokalisiert sind. Wenn die Versuchsperson also in der experimentellen Bedingung mit der rechten Hand reagiert und der Reiz im rechten visuellen Halbfeld dargeboten wird, spricht man für die linke Hemisphäre von einer ipsilateralen Verarbeitungsform und gleichermaßen für die rechte Hemisphäre von einer kontralateralen Verarbeitungsform. Da in den beiden Experimenten sowohl die Reaktionshandseite als auch die Darbietungsseite vollständig variiert wurden, kann die folgende Auswertung für die P300-Amplitude und –Latenz potentielle Unterschiede zwischen der ipsilaterlen und kontraleralen Verarbeitungsform aufdecken. Mischkombinationen, d.h. rechte Reaktionshand und Darbietung des Zielreizes im LVHF sowie linke Reaktionshand und RVHF werden in diesem Auswertungsabschnitt nicht mit einbezogen. Aus der Kombination von Reaktionshand- und Darbietungsseite entsteht folgendes Vierfelderschema (s. Tabelle 4-9), aus dem man den Zusammenhang zwischen Elektrodenseite (Hemisphäre) und experimenteller Bedingungskombination erschließen kann.

**Tab. 4-9: Zusammenhang zwischen Verarbeitungsform und experimenteller Bedingung**

| | Linke Hemisphäre (linke Elektrode) | Rechte Hemisphäre (rechte Elektrode) |
|---|---|---|
| Ipsilaterale Verarbeitung | **ReHand / RVHF** | **LiHand / LVHF** |
| Kontralaterale Verarbeitung | **LiHand / LVHF** | **ReHand / RVHF** |

#### 4.2.4.1 P300-Amplitude (COIP)

In der folgenden Auswertung wurde für die P300-Latenz und für die P300-Amplitude jeweils eine fünffaktorielle ANOVA REIZ(2) x HEMI(2) x ANTPOST(2) x INTREG(3) x COIP(2) mit Messwiederholung auf den letzten vier Faktoren gerechnet. Im Falle einer Verletzung der Sphärizität wurden Greenhouse-Geiser-Epsilon korrigierte P-Werte interpretiert. Die Faktoren und ihre Stufen gliedern sich wie folgt auf: REIZ (verbal vs. bildhaft), HEMI (linke vs. rechte Elektroden auf dem Skalp), ANTPOST (anteriore oder posteriore Elektrodengruppe), INTREG (interregional, d.h. dreifach

Gruppierung innerhalb des anterioren (F, FC, C) und posterioren (CP, P, O) Skalpbereichs) und COIP (kontralaterale vs. ipsilaterale Verarbeitungsform). Im weiteren Verlauf dieser Arbeit wird diese spezifische ANOVA auch Colp-Analyse genannt. Nachfolgend (Tabelle 4-10) finden sich die Ergebnisse der Varianzanalyse der P300-Amplitude. Abgebildet sind lediglich die signifikanten Effekte ($p \leq .05$ und mit einer Effektstärke $\omega^2 \geq .03$).

**Tab. 4-10: Signifikante Ergebnisse der Colp-Analyse, AV P300-Amplitude**

| | FG-Effekt | FG-Fehler | F-Wert | p-Wert | $\omega^2$ |
|---|---|---|---|---|---|
| REIZ | 1 | 43 | 176.37 | 0.00 | .67 |
| ANTPOST | 1 | 43 | 72.89 | 0.00 | .45 |
| INTREG | 2 | 86 | 79.57 | 0.00 | .54 |
| COIP | 1 | 43 | 53.63 | 0.00 | .37 |
| HEMI * ANTPOST | 1 | 43 | 29.51 | 0.00 | .14 |
| HEMI * INTREG | 2 | 86 | 33.49 | 0.00 | .20 |
| REIZ * ANTPOST * INTREG | 2 | 86 | 12.58 | 0.00 | .04 |
| HEMI * ANTPOST * INTREG | 2 | 86 | 19.63 | 0.00 | .07 |
| ANTPOST * COIP | 1 | 43 | 14.33 | 0.00 | .07 |
| ANTPOST * INTREG * COIP | 2 | 86 | 19.69 | 0.00 | .07 |

Vier Haupteffekte, nämlich REIZ, ANTPOST, INTREG und COIP wurden signifikant. Die stärksten Haupteffekte bilden Elektrodeneffekte interregionaler Art ($F(2,86) = 79.57$, $p < .00$, $\omega^2 = .54$) und der Amplitudenunterschied zwischen anterioreren und posterioren Elektrodengruppen ($F(1,43) = 72.89$, $p < .00$, $\omega^2 = .54$). Vergleicht man demnach nur die ipsilaterale und die kontralaterale Verarbeitungsform miteinander, so wird der regionale Unterschied zwischen diesen beiden Skalpaufteilungen maximal (anteriore P300-Amplitude = 6.9 µV posteriore P-Amplitude = 11.8µV; (ANTPOST x COIP, $F(1,43) = 14.33$, $p < .00$, $\omega^2 = .07$).

Betrachtet man den Haupteffekt REIZ ($F(1,43) = 176.37$, $p < .02$, $\omega^2 = .67$), so beträgt die Differenz zwischen verbaler (6.2 µV) und bildhafter (12.5µV) experimenteller Bedingung 6.3µV. Allerdings interagiert der Faktor REIZ weder mit COIP noch mit HEMI. Für beide Reiztypen spiegelt sich eine vergleichsweise kleinere P300-Amplitude für die ipsilaterale im Vergleich zur kontralateralen Verarbeitungsbedingung wider ($F(1,43) = 3.86$, $p < .06$, n.s., s. Abbildung 4-32).

**Abb. 4-31: Haupteffekt COIP (P300-Amplitude)**

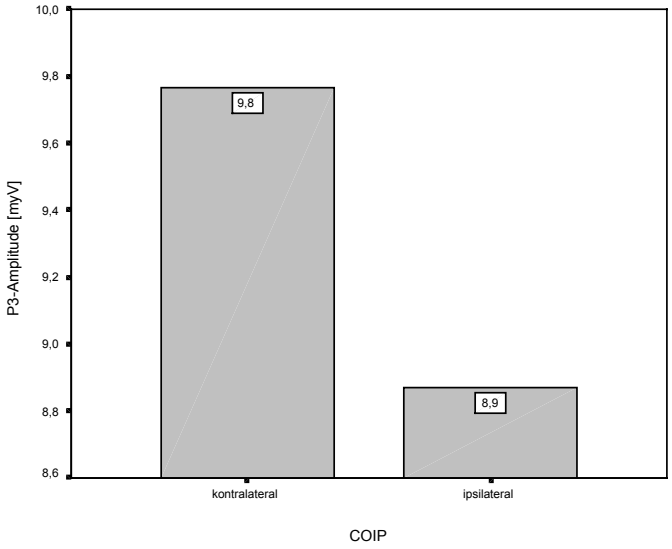
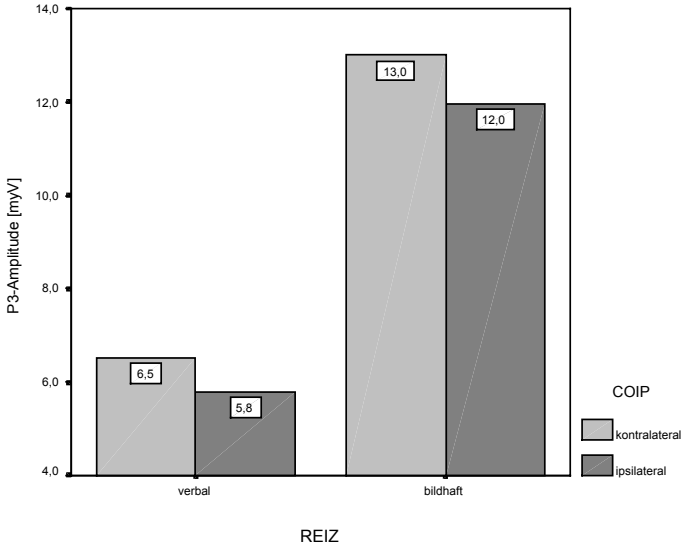



**Abb. 4-32: Interaktion REIZ x COIP (P300-Amplitude)**




Der Haupteffekt COIP zeigt sich in einer generell größeren P300-Amplitude (allerdings nur ein kleiner Differenzbetrag von 0.9µV) während der kontralateralen Verarbeitungsform ($F(1,43) = 53.63$, $p < .00$, $\omega^2 = .37$, s. Abbildung 4-31). Kein weiterer experimenteller Faktor interagiert mit dem Faktor COIP.

Zusammengefasst betrachtet läßt sich festhalten, daß unabhängig von der Hemisphärenseite (HEMI x COIP, $F(1,43) = 0.01$, $p < .92$, n.s.) und unbeeinflußt von der Art des Reizmaterials (REIZ x COIP, $F(1,43) = 3.86$, $p < .06$, n.s.), wird konsistent durch eine ipsilaterale Verarbeitungsweise eine kleinere P300-Amplitude (0.9µV) über dem lateralen Skalp generiert (s. Abb. 4-32).

#### 4.2.4.2 P300-Latenz (COIP)

In der folgenden Tabelle 4-11 finden sich die Ergebnisse der Colp-Varianzanalyse der P300-Latenz. Abgebildet sind lediglich die signifikanten Effekte ($p \leq .05$ und mit einer Effektstärke $\omega^2 \geq .03$). Die Faktorenzusammensetzung sowie ihre Abstufungen entsprechen analog dem Auswertungsdesign der Colp-Analyse der P300-Amplitude.

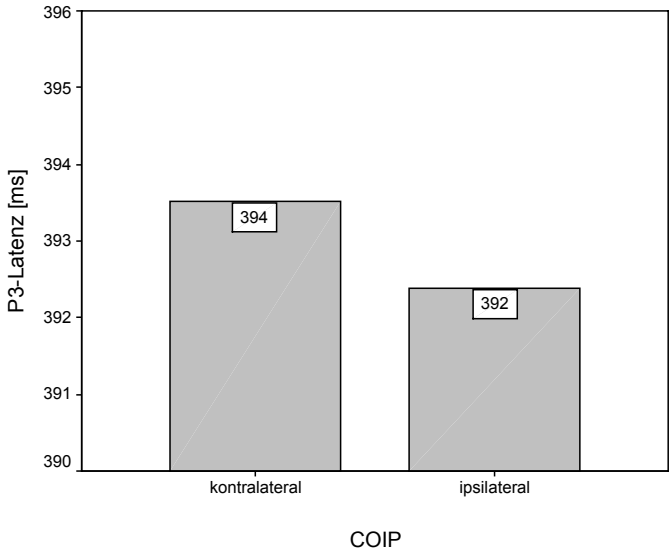
**Tab. 4-11: Signifikante Ergebnisse der Colp-Analyse, AV P300-Latenz**

| | FGEffekt | FGFehler | F-Wert | p-Wert | $\omega^2$ |
|---|---|---|---|---|---|
| EIZ | 1 | 43 | 6.17 | 0.02 | .06 |
| HEMI | 1 | 43 | 5.22 | 0.03 | .05 |
| ANTPOST | 1 | 43 | 15.50 | 0.00 | .14 |
| INTREG | 2 | 86 | 4.49 | 0.03 | .05 |
| COIP | 1 | 43 | 6.48 | 0.02 | .06 |
| REIZ x ANTPOST | 1 | 43 | 8.02 | 0.01 | .04 |
| HEMI x INTREG | 2 | 86 | 6.06 | 0.00 | .04 |
| ANTPOST x INTREG | 2 | 86 | 23.80 | 0.00 | .15 |
| ANTPOST x COIP | 1 | 43 | 10.96 | 0.00 | .05 |

Im Allgemeinen entsprechen die Ergebnisse der Effekttabelle zur Auswertung der P300-Latenz weitgehend dem Effektmuster der Colp-Analyse zur Auswertung der P300-Amplitude (s. Tabelle 4-8). In dieser Auswertung werden alle möglichen Haupteffekte signifikant und Wechselwirkungen in der P300-Latenz bestehen lediglich aufgrund von Interaktionen mit Elektrodenfaktoren. Der Konstruktfaktor COIP interagiert mit keinem anderen experimentellen Faktor signifikant.

Alleinig der Haupteffekt Colp wird signifikant (($F(1,43) = 6.48$, $p < .02$, $\omega^2 = .06$, s. Abb. 4-33). Die P300-Latenz der kontralateralen Verarbeitungsbedingung (394 ms) liegt durchschnittlich 2 ms später als die der ipsilateralen (392 ms). Doch bei einer Differenz von nur 2 ms und einer Effektstärke von lediglich 6% fällt dieser Haupteffekt eher marginal aus.

Abb. 4-33: Haupteffekt **COIP** (P300-Latenz)




Zusammengefasst betrachtet läßt sich festhalten, daß die P300-Latenz des jeweiligen Verarbeitungsmodus unabhängig von der Hemisphärenseite (HEMI x COIP, $F(1,43) = 3.14$, $p < .08$, n.s.) und unbeeinflußt von der Art des Reizmaterials (REIZ x COIP, $F(1,43) = 3.81$, $p < .06$, n.s.) bleibt.

### 4.2.5 Average-Amplituden

Zur näheren Analyse des Potentialverlaufs wurden die mittleren Potentiale von sieben unterschiedlichen Zeitfenstern bestimmt. Die Zeitfenster gliedern sich wie folgt auf: eine Baseline, definiert als die mittlere Amplitude von 200 ms unmittelbar vor Reizgabe; sowie sechs weitere mittlere Amplituden über jeweils 100 ms –Schrittweiten nach Beginn der Reizdarbietung (0 bis 100 ms, 110 bis 200 ms, 210 bis 300 ms, 310 bis 400 ms, 410 bis 500 ms und 510 bis 600 ms). Die jeweiligen Potentiale (Average-Amplituden) resultieren aus dem Differenzmaß der mittleren Amplitude eines jeden Zeitfensters zur Baseline. Die folgende Auswertung basiert auf einer sechsfaktoriellen ANOVA REIZ(2) x HEMI(3) x ANTPOST(2) x INTREG(3) x HAND(2) x VHF(3) mit Messwiederholung auf allen sechs Faktoren für jede der sieben Average-Amplituden. Im Falle der Verletzung der Sphärizität wurden Greenhouse-Geiser-Epsilon korrigierte P-Werte interpretiert. Die folgenden Tabellen (4-12 bis 4-19) und Abbildungen (4-34 bis 4-45) zeigen lediglich einen bestimmten Ausschnitt aus den Ergebnissen der sieben unterschiedlichen Varianzanalysen. Sämtliche Interaktionen mit den Elektrodenfaktoren INTREG und ANTPOST werden in den folgenden Darstellungen nicht widergespiegelt. Dargestellt werden alle Haupteffekte der experimentellen Faktoren (HAND, HEMI, REIZ und VHF) ohne Elektrodeneffekte, sowie alle Wechselwirkungen der Faktoren REIZ, HEMI, HAND und VHF ohne ihre Interaktion mit den Elektrodenfaktoren. Im Folgenden werden demnach nur die Effekte der jeweiligen Haupteffekte sowie deren Wechselwirkungen mit den experimentellen Faktoren (HAND, HEMI, VHF und REIZ) näher beleuchtet. Jedes einzelne Unterkapitel verfügt über eine Tabelle des Effektverlaufes sowie eine Grafik zur Veranschaulichung des Amplituden-Verlaufes und der -Differenzen innerhalb der jeweiligen experimentellen Bedingungen.

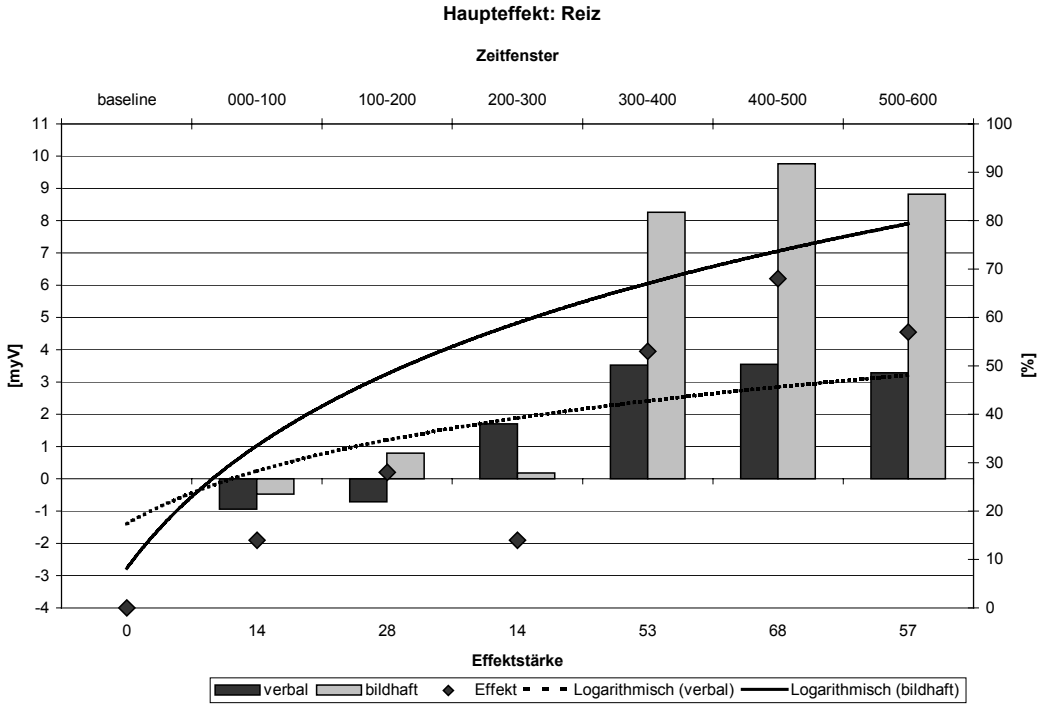
*Reizeffekte*

Insgesamt zeigt sich zwischen den beiden Reiztypen ein ähnliches Differenzmuster wie in der Amplitude der P300-Komponente. Lediglich in der Baseline spiegelt sich kein signifikanter Unterschied zwischen verbaler und bildhafter Reizverarbeitung wider. In allen weiteren Zeitfenstern ist ein deutlicher Amplitudenvorteil für die Verarbeitung bildhaften Materials zu erkennen. In den späten Zeitfensteren (ab 300 ms ff.) wird der Unterschied maximal und spiegelt sich in deutlichen Effektstärken wider. Tabelle 4-12 und Abbildung 4-34 zeigen den Effektverlauf des Hautpeffektes sowie die einzelnen Amplitudenwerte in den jeweiligen Zeitfenstern.

**Tab. 4-12: Effektverlauf der Average-Amplitude, Haupteffekt REIZ**

| | Baseline | 000-100 | 100-200 | 200-300 | 300-400 | 400-500 | 500-600 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| REIZ | F(1,43)=0.4 p<.52, n.s. | F(1,43)=15.51p <.00, $\omega^2$=.14 | F(1,43)=34.47p <.00, $\omega^2$=.28 | F(1,43)=15.02p <.00, $\omega^2$=.14 | F(1,43)=99.33p <.00, $\omega^2$=.53 | F(1,43)=184.0p <.00, $\omega^2$=.68 | F(1,43)=116.5p <.00, $\omega^2$=.57 |

**Abb. 4-34: Effektverlauf der Average-Amplitude, Haupteffekt REIZ**




In allen Grafiken ist eine logarithmische Regressionskurve der jeweiligen unabhängigen Variablen eingezeichnet. Sie dient lediglich zur Veranschaulichung des zeitlichen Verlaufes potentieller Effekte über alle Zeitfenster und hat keine weitere Funktion.

*VHF-Effekte*

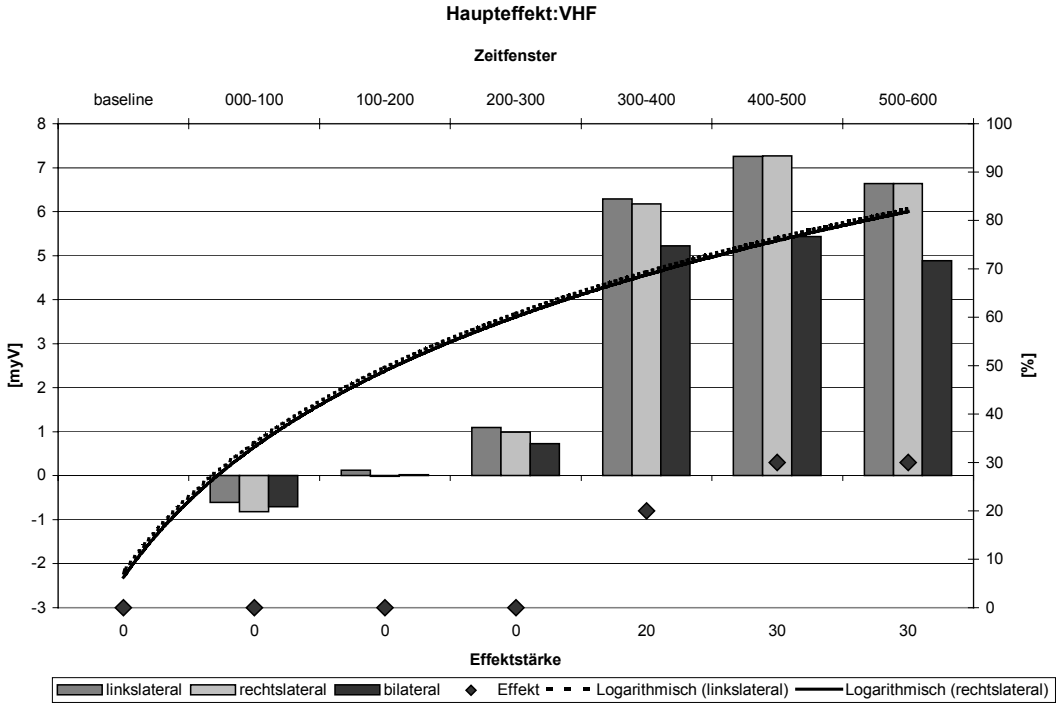
Der Effektverlauf in den verschiedenen Zeitfenstern des VHF-Haupteffektes ähnelt wiederum dem der P300-Komponente. Die beiden Zielbedinungen, nämlich dann wenn der Targetreiz entweder im linken oder rechten visuellen Halbfeld erschien, evozieren in den späten Zeitfenstern vergleichsweise höhere Amplituden als die Bedingung, in der ein Distraktorenpaar bilateral dargeboten wurde. Die Tatsache, daß sich erst ab 300 ms aufwärts ein signifikanter Unterschied zwischen den experimentellen Darbietungsbedingungen und der Kontrollbedingung einstellt, weist darauf hin, daß erst ab ca. 300 ms ein Reizeleborationsprozess einsetzt und sich die kognitive Verarbeitung endogener Reizeigenschaften in den Potentialen niederschlagen. Die mittlere P300-Latenz mit 380 ms für alle Bedingungen ist ein weiteres Indiz dafür, daß zu diesem Zeitpunkt die

inhaltliche Reizbewertung als ein kognitiver Teilschritt einsetzt. Die weniger aufgabenrelevante Darbietungsform des Distraktorenpaares löst vergleichsweise geringere Amplituden über dem gesamten Skalp aus. Dieser Unterschied beginnt in dem Zeitraum von 300-400 ms und hält bis nach 600 ms an (s. Tab. 4-13 und Abb. 4-35).

**Tab. 4-13: Effektverlauf der Average-Amplitude, Haupteffekt VHF**

| | Baseline | 000-100 | 100-200 | 200-300 | 300-400 | 400-500 | 500-600 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| VHF | F(2,86)=3.14 p<.03, $\omega^2$=.03 | F(2,86)=1.11p <.34, n.s. | F(2,86)=0.31p <.73, n.s. | F(2,86)=2.21p <.12, n.s. | F(2,86)=17.85 p<.00, $\omega^2$=.20 | F(2,86)=29.46 p<.00, $\omega^2$=.30 | F(2,86)=20.34 p<.00, $\omega^2$=.23 |

**Abb. 4-35: Effektverlauf der Average-Amplitude, Haupteffekt VHF**




Wie aus der Abbildung 4-35 ersichtlich wird, existiert in keinem der Zeitfenster ein signi-fikanter Unterschied zwischen links- und rechtslateraler Darbietung des Zielreizes. In beiden Reizklassen evozieren beide Darbietungsseiten des Zielreizes gleich große Potentiale über dem gesamten Skalp. Der Effekt wird alleinig durch die Differenz der Amplituden auf das Distraktorenpaar determiniert.

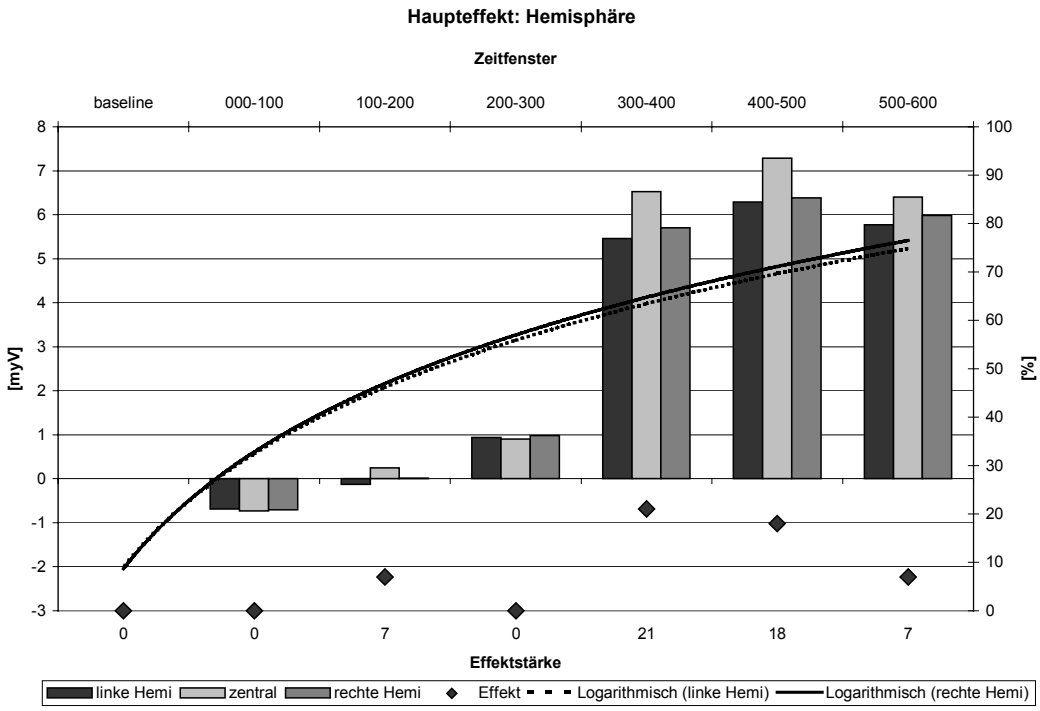
*Hemisphäreneffekte*

Tabelle 4-14 zeigt den Verlauf des Hemisphären-Haupteffektes über alle Zeitfenster. Auch hier zeigt sich erst in den späten Zeitfenstern (ab 300 ms ff.) ein signifikanter Unterschied zwischen zentraler Elektrodenreihe und den beiden lateralen Reihen. Post hoc Analysen deckten keinen statistisch bedeutsamen Unterschied in irgendeinem der Zeitfenster zwischen links vs. rechts – lateralen Elektrodenpositionen auf (s. Abb. 4-36).

**Tab. 4-14: Effektverlauf der Average-Amplitude, Haupteffekt HEMI**

| | Baseline | 000-100 | 100-200 | 200-300 | 300-400 | 400-500 | 500-600 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| HEMI | F(2,86)=1.03p <.36, n.s. | F(2,86)=1.19p <.31, n.s. | F(2,86)=5.62 p<.01, $\omega^2$=.07 | F(2,86)=0.15p <.86, n.s. | F(2,86)=18.73 p<.00, $\omega^2$=.21 | F(2,86)=15.39 p<.00, $\omega^2$=.18 | F(2,86)=5.97 p<.00, $\omega^2$=.07 |

**Abb. 4-36: Effektverlauf der Average-Amplitude, Haupteffekt HEMI**



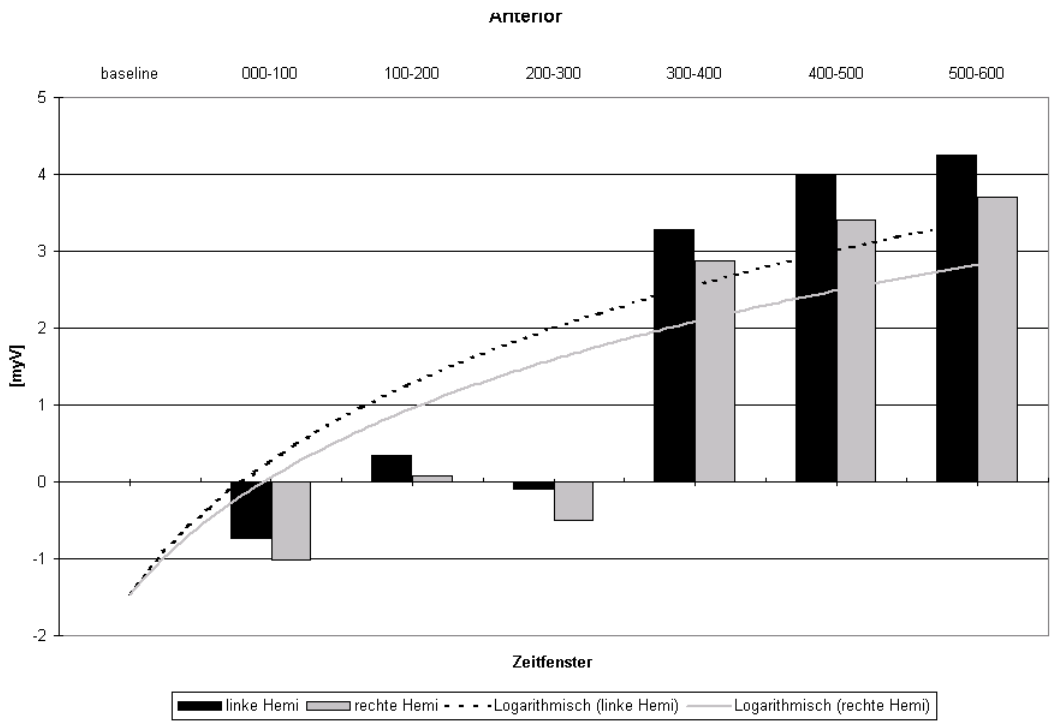

Der Amplitudenvorteil der zentralen Elektroden ist durch die Umrechnung der Cz-Referenzelektrode auf Average-Referenz ((A1+A2)/2) zu erklären. Die lateralen Elektroden liegen topografisch relativ näher an den Mastoidelektroden als die zentralen Elektroden. Je weiter eine Zielelektrode von ihrer Referenz entfernt liegt, desto größer kann ein bestehender Potentialunterschied ausfallen. Die Tatsache, daß erst ab 300 ms dieser Effekt auftritt steht mit der späten Positivierung des Cortex ab 300 ms ff. im Zusammenhang.

In keinem der Zeitfenster wurde eine Amplitudendifferenz zwischen linker und rechter Hemisphäre signifikant (paarweise Vergleiche zwischen linken, rechten und zentralen Elektrodenpositionen, Bonferoni adjustiert). Die Stärke des Hemisphärenhaupteffektes wird lediglich durch die Unterschiede der lateralen zu den zentralen Zielelektroden geprägt. Demnach kann man zu jedem Zeitpunkt innerhalb des evozierten Potentialverlaufes einen generellen Unterschied in der Aktivierung der einen oder anderen Gehirnhälfte ausschließen.

*Interaktion zwischen Hemisphäre und anterioren/posterioren Elektrodenpositionen:*

Obwohl man von keinem generellem Hemisphärenhaupteffekt über dem gesamten Skalp sprechen kann, besteht eine Interaktion mit dem Faktor ANTPOST in fast allen Zeitfenster (s. Tab. 4-15).

**Abb. 4-37: Verlauf der Hemisphärenunterschiede der anterioren Elektrodenpaare**



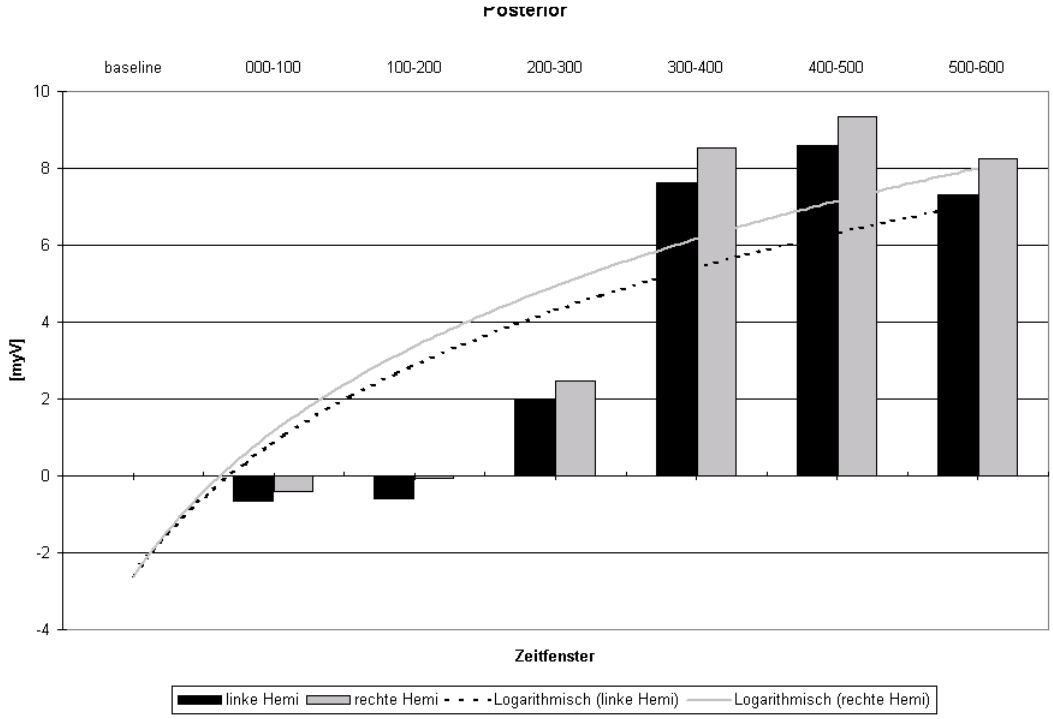

**Tab. 4-15: Effektverlauf der Average-Amplitude, Interaktion HEMI x ANTPOST**

| | Baseline | 000-100 | 100-200 | 200-300 | 300-400 | 400-500 | 500-600 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ANTPOST x HEMI | F(2,86)=1.20p <.31, n.s. | F(2,86)=137 p<.00 $\omega^2$=..51 | F(2,86)=19.2 p<.12, $\omega^2$=12. | F(2,86)=16.46 p<.00, $\omega^2$=.10 | F(2,86)=27.52 p<.00, $\omega^2$=.17 | F(2,86)=27.05 p<.00, $\omega^2$=.16 | F(2,86)=33.92p <.00, $\omega^2$=.20 |

Vergleicht man Abbildung 4-37 mit 4-38, so erkennt man für die anterioren Elektrodenpaare (F, Fc und C) eine relativ größere Positivierung der linkshemisphärischen Elektroden, unabhängig vom Reizmaterial (REIZ) und Darbietungsseite des Zielreizes (VHF). Dieser leichte Shift kehrt sich zu

einer relativ größeren rechtshemisphärischen Positivierung an den posterioren Elektroden-positionen (Cp, P und O) um.

**Abb. 4-38: Verlauf der Hemisphärenunterschiede der posterioren Elektrodenpaare**




Verfolgt man den Effektverlauf dieses Shifts über die unterschiedlichen Zeitfenster, so hat diese Elektrodenwechselwirkung ihr Maximum schon zwischen 100 und 200 ms nach Reizdarbietung. Der Richtungswechsel der Amplitudendifferenzen zwischen anteriorer und posteriorer Skalpregion bleibt dann bis über 600 ms nach Reizeinsatz mit einem deutlichen Effekt (gemitteltes $\omega^2$=.21) bestehen.

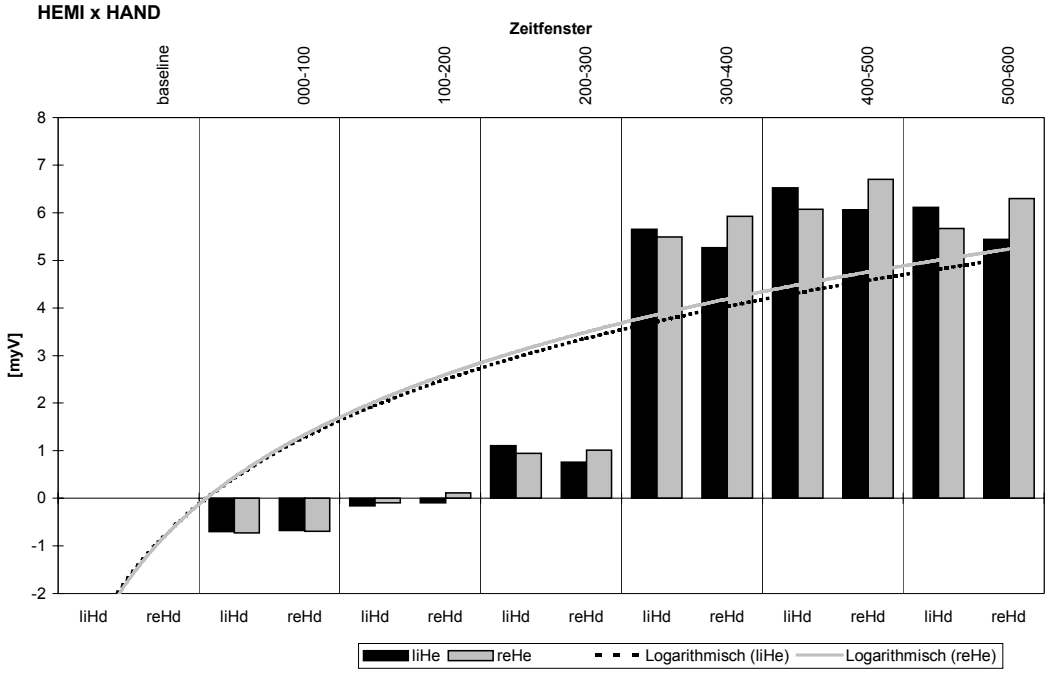
*Handeffekte*

In keinem der Zeitfenster zeigte sich ein bedeutsamer Unterschied zwischen der Aufgabenbearbeitung mit rechter oder linker Reaktionshand (s. Tabelle 4-16). Aufgrund der homogenen Insignifikanz über alle Zeitbereiche zwischen den Reaktionshandseiten sowie der ausbleibenden Wechselwirkung mit anderen Faktoren, wird an dieser Stelle auf eine grafische Veranschaulichung der meisten Effektverläufe verzichtet.

**Tab. 4-16: Effektverlauf der Average-Amplitude, Haupteffekt HAND und Interaktionen**

| | Baseline | 000-100 | 100-200 | 200-300 | 300-400 | 400-500 | 500-600 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| HAND | F(1,43)=1.21 p<.28, n.s. | F(1,43)=0.11 P<.74, n.s. | F(1,43)=0.81p <.37, n.s. | F(1,43)=0.84 p<.37, n.s. | F(1,43)=0.01 p<.94, n.s. | F(1,43)=0.07 p<.79, n.s. | F(1,43)=0.11 p<.75, n.s. |
| HAND x VHF | F(2,86)=1.05 p<.36, n.s. | F(2,86)=0.52 p<.60, n.s. | F(2,86)=0.64p <.53, n.s. | F(2,86)=0.73 p<.48, n.s. | F(2,86)=0.45 p<.64, n.s. | F(2,86)=0.79 p<.46, n.s. | F(2,86)=0.23 p<.80, n.s. |
| HAND x REIZ | F(1,43)=0.23 p<.63, n.s. | F(1,43)=1.13 p<.29, n.s. | F(1,43)=0.03p <.87, n.s. | F(1,43)=0.89 p<.35, n.s. | F(1,43)=0.39 p<.54, n.s. | F(1,43)=0.08 p<.78, n.s. | F(1,43)=0.08 p<.78, n.s. |
| HAND x HEMI | F(2,86)=4.46 p<.01, $\omega^2$=.03 | F(2,86)=0.83p <.44, n.s. | F(2,86)=2.93p <.06, n.s. | F(2,86)=14.54p <.00, $\omega^2$=.09 | F(2,86)=36.45p <.00, $\omega^2$=.21 | F(2,86)=50.0 p<.0, $\omega^2$=.27 | F(2,86)=49.64p <.00, $\omega^2$=.27 |

**Abb. 4-39: Effektverlauf der Average-Amplitude, Interaktion HEMI x HAND**




Die Wechselwirkung zwischen Reaktionshandseite und Hemisphäre wird ab dem Zeitfenster 200 bis 300 ms und ff. signifikant. In allen folgenden Zeitfenstern ab 200 ms zeigt sich folgendes Muster: Es wurden auf der ipsilateral zur Hand gelegenen Hemisphäre größere Amplituden gemessen. Über der rechten Gehirnhälfte wurden relative größere Amplituden gemessen, wenn die Versuchsperson mit rechten Hand reagierte und umgekehrt traten größere Amplituden auf der linken Hemisphäre auf, wenn die Person mit der linken Hand reagierte. Über derjenigen Hemisphäre, welche die motorische Reaktion kontrollierte, welche also kontralateral zur Reaktionshandseite lag, wurden ab 200 ms relativ kleinere (negativere) Amplituden gemessen.

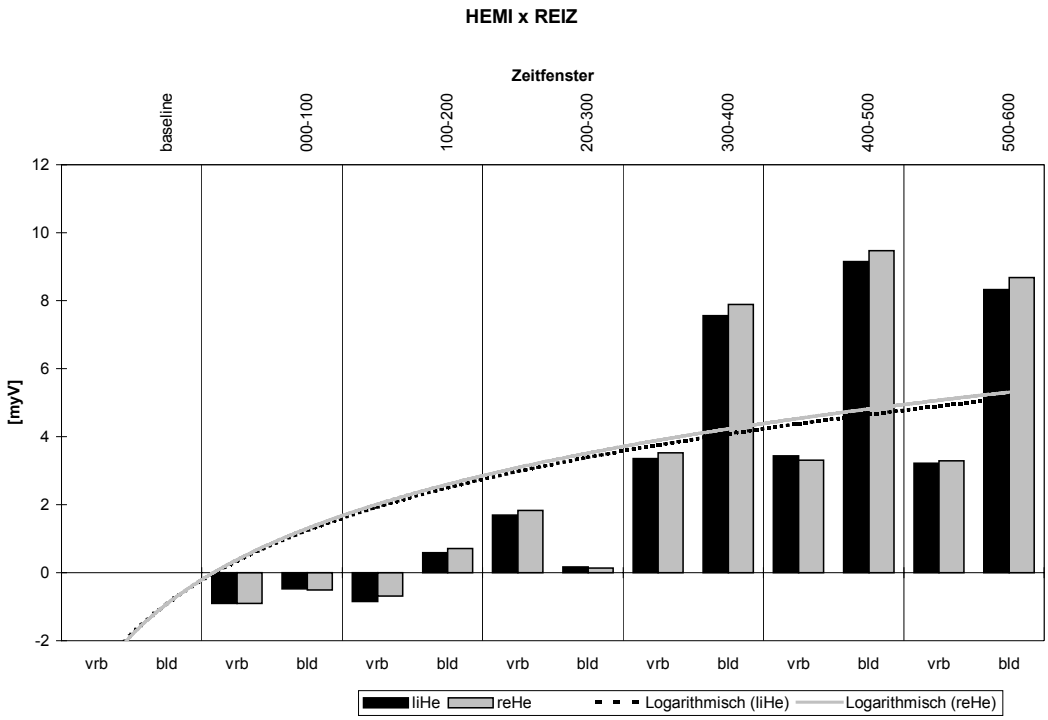
*Interaktion zwischen Reiztyp und Hemisphäre*

Falls eine Hemisphäre spezifisch mit einer Prädisposition für ein bestimmtes Reizmaterial assoziiert werden kann, so sollte die Wechselwirkung zwischen Reizmaterial und Hemisphärenseite signifikant werden. Tabelle 4-17 zeigt den Effektverlauf dieser Interaktion über alle Zeitfenster für die Average-Amplitude in 100 ms Intervallen.

**Tab. 4-17: Effektverlauf der Average-Amplitude, Interaktion REIZ x HEMI**

| | Baseline | 000-100 | 100-200 | 200-300 | 300-400 | 400-500 | 500-600 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| REIZ x HEMI | F(2,86)=1.40 p<.25, n.s. | F(2,86)=6.61 p<.00, $\omega^2$=.04 | F(2,86)=5.09 p<.01, $\omega^2$=.03 | F(2,86)=2.57 p<.08, n.s. | F(2,86)=31.23 p<.00, $\omega^2$=.19 | F(2,86)=14.57 p<.00, $\omega^2$=.09 | F(2,86)=14.99 p<.00, $\omega^2$=.10 |

**Abb. 4-40: Effektverlauf der Average-Amplitude, Interaktion HEMI x REIZ**




Allerdings bei näherer Betrachtung der Effektmuster zeigt sich, daß die signifikanten Interaktionen lediglich auf den Abweichungen zwischen den zentralen und lateralen Elektrodenpositionen basieren (s. Abb. 4-40). Betrachtet man nur die Unterschiede zwischen lateralen

Elektrodenpositionen (linke vs. rechte Reihe = linke vs. rechte Hemisphäre) innerhalb der Reizkategorien, so zeigt sich in keinem der Zeitfenster auch nur ansatzweise eine signifikante Wechselwirkung zwischen Hemisphäre und Reizmaterial. Die Annahme, daß über der rechten Hemisphäre bei der Verarbeitung bildhaften Materials relativ größere Amplituden gemessen werden und bei der Verarbeitung verbalen Materials über der linken Hemisphäre relativ größere Amplituden entstehen, zeigt sich in keinem der Zeitfenster. Aus Post hoc Analysen resultierte in keinem Zeitbereich ein signifikanter Unterschied in der Average-Amplitude zwischen den Hemisphären, sowohl bei der Verarbeitung verbalen als auch bildhaften Materials.

Interaktion zwischen VHF und Hemisphäre

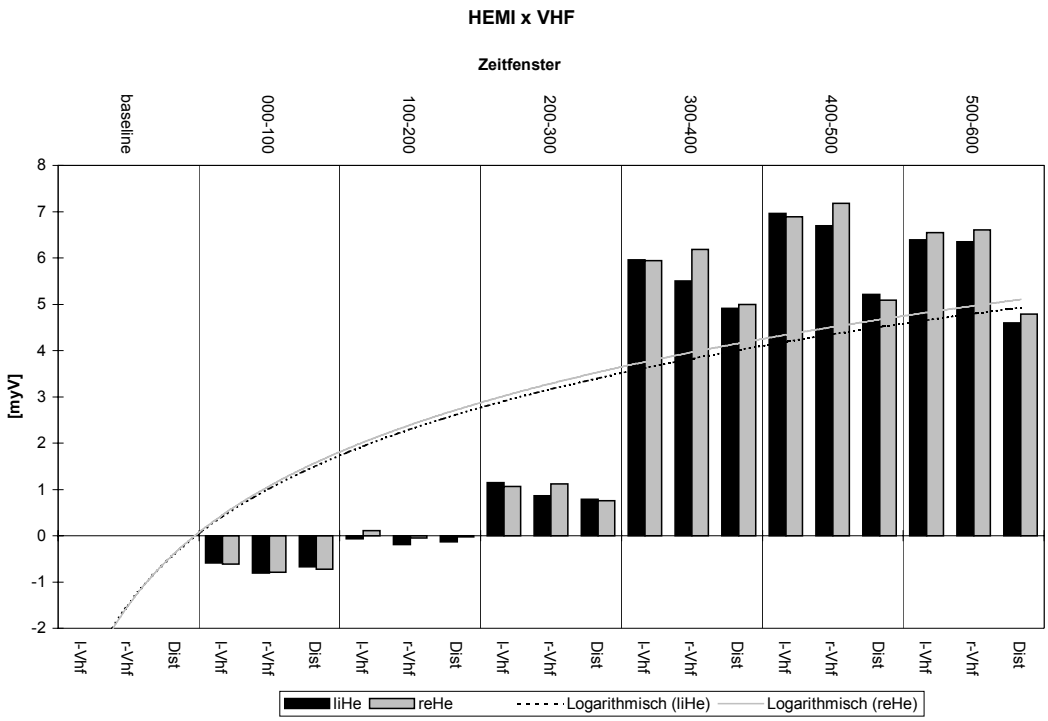
In Abhängigkeit von der Darbietungsseite des Zielreizes, sollte auf dem Skalp ein Lateralitätseffekt zu messen sein. Wenn bspw. der Zielreiz im LVHF dargeboten wird, so sollte kontralateral über der rechten Hemisphäre eine vergleichsweise größere Amplitude zu messen sein, als über der ipsilateral gelegenen Gehirnhälfte. Doch aufgrund der bilateralen Darbietungsweise sind über beiden Hemisphären fast identische Potentialhöhen zu finden, unabhängig davon ob der Zielreiz links oder rechtsseitig bzw. gar nicht präsentiert wurde (Distraktorbedingung). Tabelle 4-18 zeigt den Effektverlauf dieser Interaktion über alle Zeitfenster.

**Tab. 4-18: Effektverlauf der Average-Amplitude, Interaktion HEMI X VHF**

| | Baseline | 000-100 | 100-200 | 200-300 | 300-400 | 400-500 | 500-600 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| HEMI X VHF | F(4.172)=0.34 p<.85, n.s. | F(4.172)=0.53 p<.71, n.s. | F(4.172)=0.21 p<.93, n.s. | F(4.172)=5.75 p<.00, $\omega^2$=.05 | F(4.172)=16.7 p<.00, $\omega^2$=.14 | F(4.172)=7.14 p<.00, $\omega^2$=.06 | F(4.172)=0.27 p<.90, n.s. |

In dem Zeitbereich von 300-400 ms findet der Wechselwirkungseffekt zwischen Hemisphäre (HEMI) und Darbietungsbedingung (VHF) sein Maximum und niveliert sich ab 500-600 ms wiederum. Dieser Effekt ist allerdings nicht auf die Wechselwirkung zwischen linker vs. rechter Darbietungsseite und linker vs. rechter Hemisphäre zurückzuführen, sondern basiert lediglich auf den Potentialunterschieden zur jeweiligen Distraktorbedingung. Abbildung 4-41 verdeutlicht dies. In keinem der Zeitfenster werden die Potentialdifferenzen zwischen linker und rechter Hemisphäre durch die Darbietungsseite des Zielreizes moderiert. Post hoc Analysen bestätigen diesen visuellen Eindruck.

**Abb. 4-41: Effektverlauf der Average-Amplitude, Interaktion HEMI x VHF**




Wechselwirkung zwischen VHF und REIZ

Der Einfluß der Darbietungseite des Zielreizes spiegelt sich nicht nur geringfügig oder gar nicht in den Potentailunterschieden der Hemisphären wider, sondern ebenso wenig in der Wechselwirkung mit der Spezifität des Reizmaterials. Zeile 1 von Tabelle 4-19 zeigt keine einzige signifikante Interaktion zwischen Reiztyp und Darbietungsseite des Reizmaterials. Die hypothensrelevantere Interaktion, REIZ x VHF x HEMI zeigt ein analoges Effektmuster.

Unabhängig von der Spezifität des zu verarbeitenden Reizmaterials und der Darbietungsseite desselben, zeigen sich über den Hemisphären keine spezifischen Potentialunterschiede.

**Tab. 4-19: Effektverlauf der Average-Amplitude, HEMI x REIZ (x VHF)**

| | Baseline | 000-100 | 100-200 | 200-300 | 300-400 | 400-500 | 500-600 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| REIZ x VHF | F(2,86)=0.24 p<.79, n.s. | F(2,86)=1.69 p<.19, n.s. | F(2,86)=1.04 p<.36, n.s. | F(2,86)=0.03 p<.97, n.s. | F(2,86)=1.84 p<.17, n.s. | F(2,86)=1.37 p<.26, n.s. | F(2,86)=1.56 p<.22, n.s. |
| REIZ x VHF X HEMI | F(4.172)=0.43 p<.78, n.s. | F(4.172)=1..35 p<.25, n.s. | F(4.172)=0.09 p<..99, n.s. | F(4.172)=3.76 p<.01, $\omega^2$=..02 | F(4.172)=7.66 p<.00, $\omega^2$=..05 | F(4.172)=3.31 p<.01, n.s. | F(4.172)=1.77 p<.14, n.s. |

Der Faktor HEMI interagiert weder mit dem Reiztyp (REIZ) noch mit der Darbietungsseite des Zielreizes (VHF). Die Potentialdifferenzen beider Hemisphären werden weder durch die Art des Reizmaterials, noch durch die Wahl der Darbietungsseite, noch durch die Interaktion zwischen Darbietungsseite und Reiztyp in keinem der untersuchten Zeitbereiche beeinflußt.

Obwohl in der oben dargestellten Dreifach-Wechselwirkung (REIZ X VHF X HEMI) kein signifikanter Hemisphärenunterschied in Abhängigkeit des Reiztypes sowie Darbietungsseite des Zielreizes existiert, so existiert (dennoch) ansatzweise eine analoge Interaktion mit dem Elektrodenfaktor AntPost. Die Abbildungen 4-42 bis 4-45 verdeutlichen diesen Zusammenhang. Obwohl der in den folgenden vier Abbildungen der dargestellte Effekt nur marginal ist, so findet man sowohl für verbales als auch für bildhaftes Reizmaterial an den anterioren Elektrodenpaaren (F, C, Fc) eine relativ größere linkshemisphärische Positivierung und umgekehrt an den posterioren Elektrodenpaaren (C, P, O) eine rechtshemisphärische Positivierung. Dieses Asymmetriemuster entspricht genau dem wie weiter oben der Zweifachwechselwirkung zwischen HEMI X ANTPOST (s. Abb. 4-37 und 4.38). Letztere Ergebnisse machen also deutlich, daß dieser Asymmetrieshift zwischen anteriorer und posteriorer Skalpregion unabhängig vom Reiztyp als auch von der Darbietungsseite des Zielstimulus ist.

REIZ X HEMI X VHF X ANTPOST: – Gegenüberstellung zwischen anteriorer und posteriorer Elektrodengruppe für **verbales** Reizmaterial

**Abb. 4-42: Interaktion HEMI x VHF, (verbale Stimuli, anteriore Elektrodengruppe)**

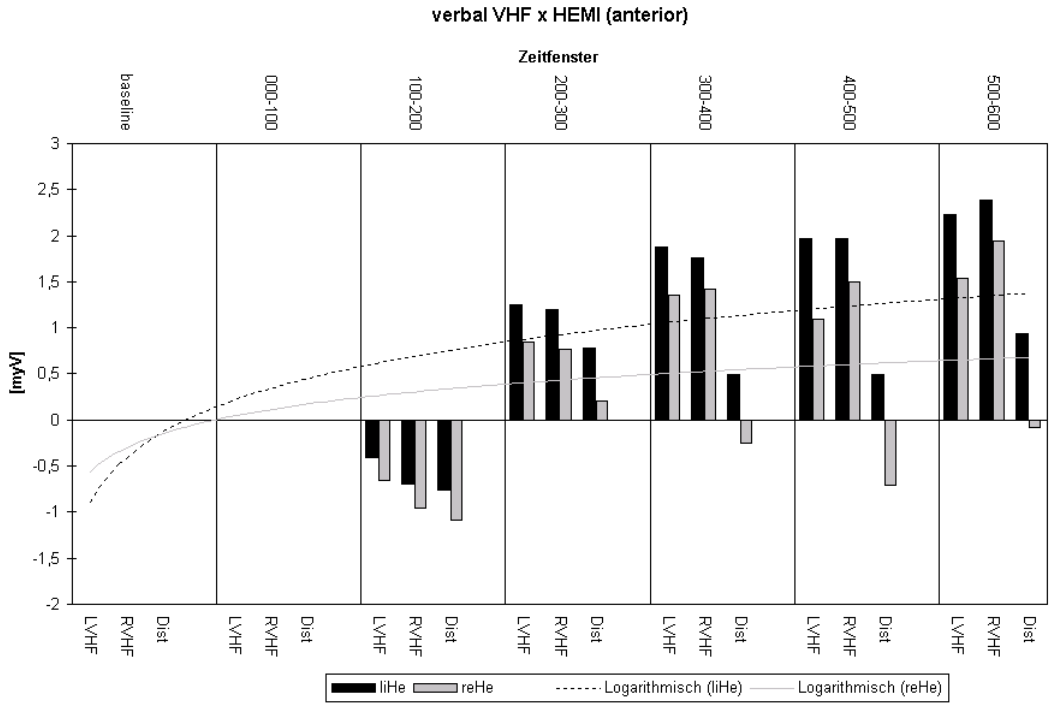
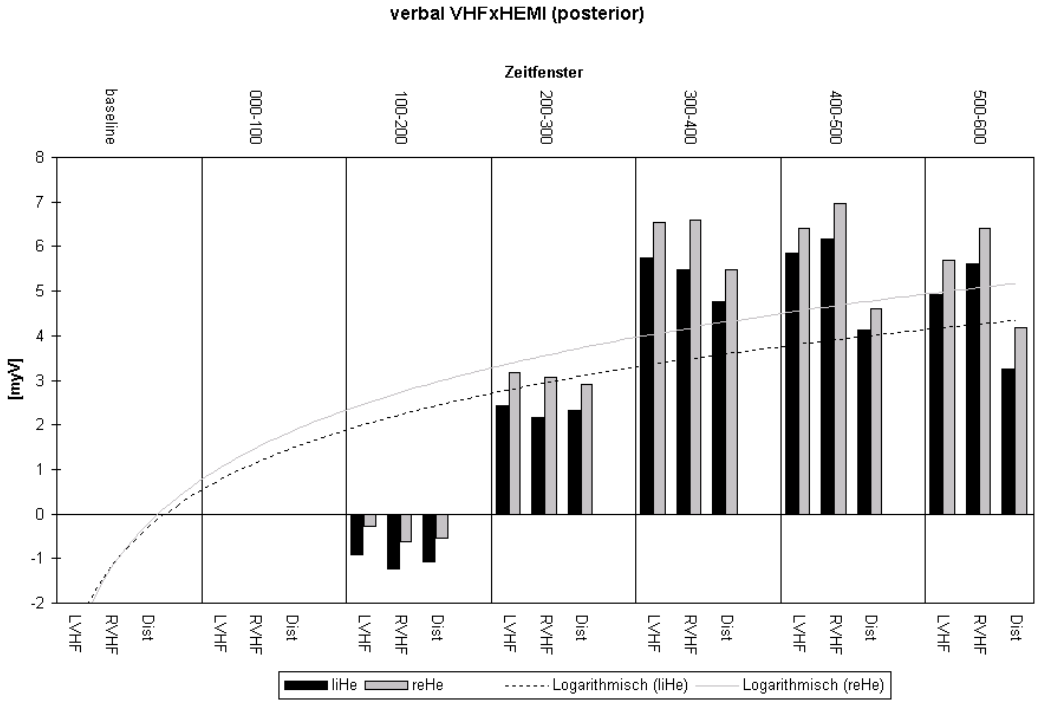



**Abb. 4-43: Interaktion HEMI x VHF, verbales Reizmaterial posteriore Elektrodengruppe**



REIZ X HEMI X VHF X ANTPOST: – Gegenüberstellung zwischen anteriorer und posteriorer Elektrodengruppe für **bildhaftes** Reizmaterial

**Abb. 4-44: Interaktion HEMI x VHF, bildhaftes Reizmaterial, anteriore Elektrodengruppe**

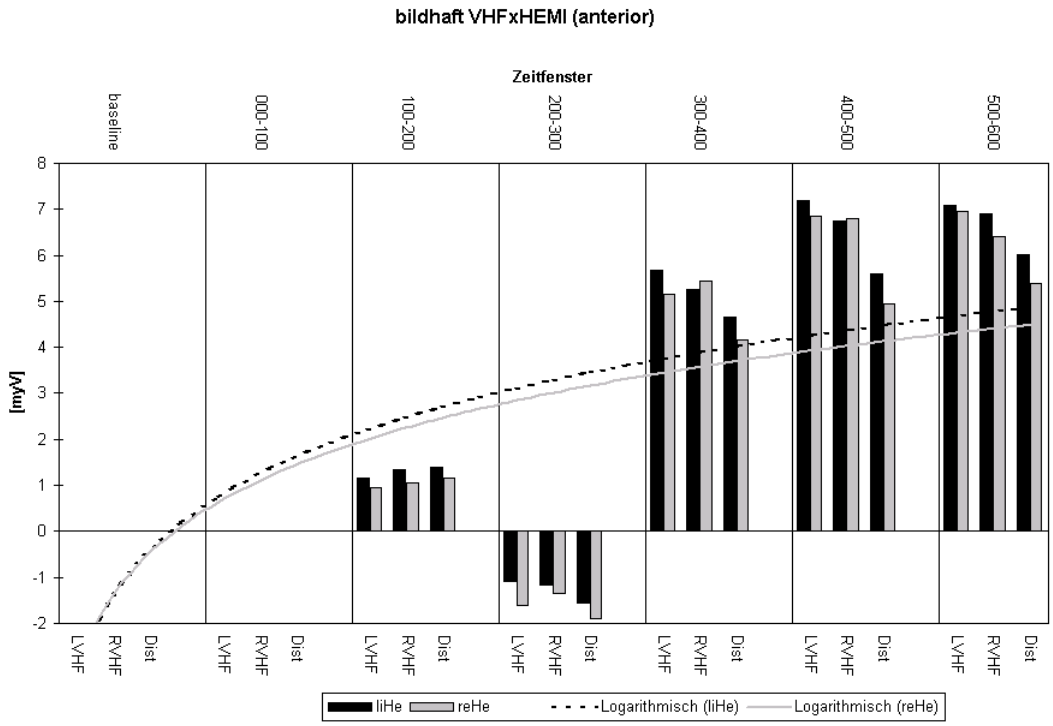
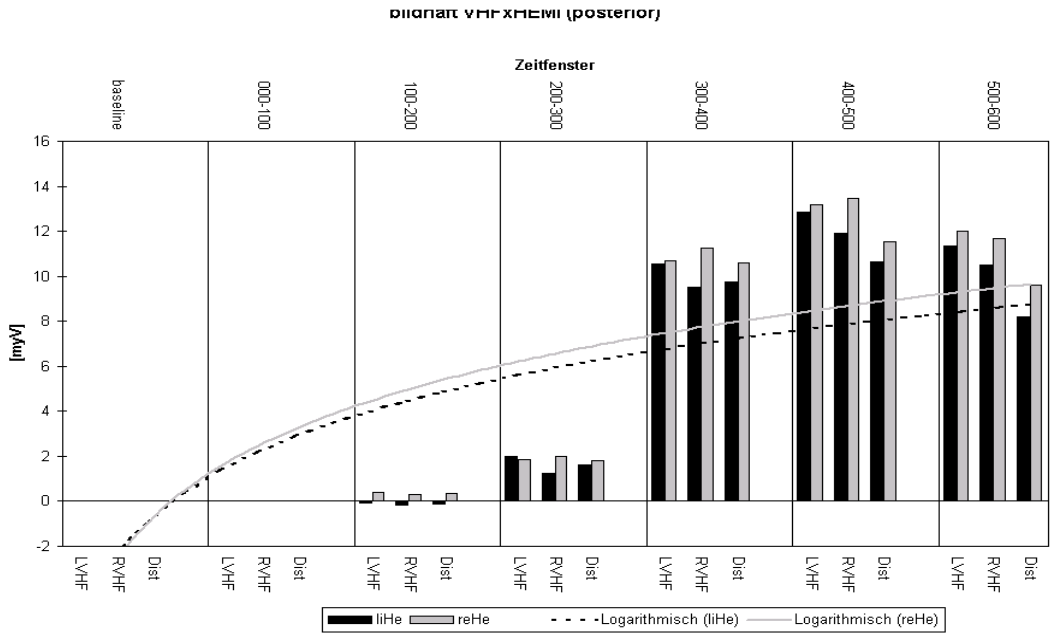


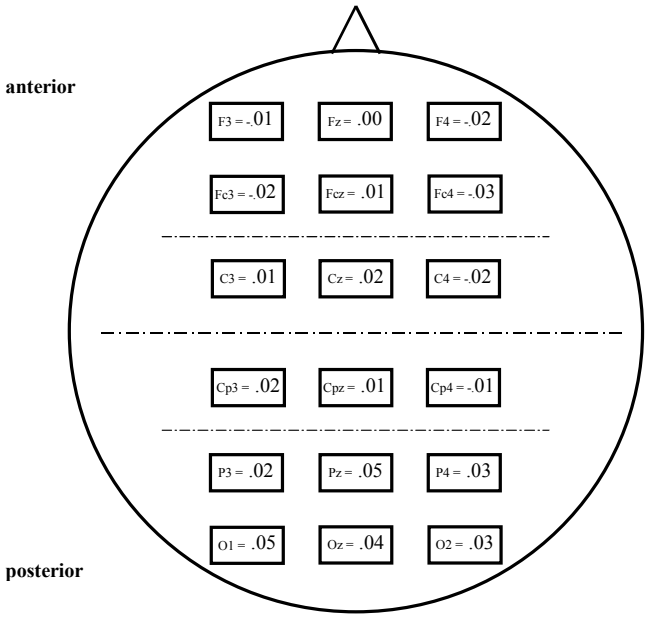

**Abb. 4-45: Interaktion HEMI x VHF, bildhaftes Reizmaterial, posteriore Elektrodengruppe**



## 4.2.6 P300-Latenz und Reaktionszeiten

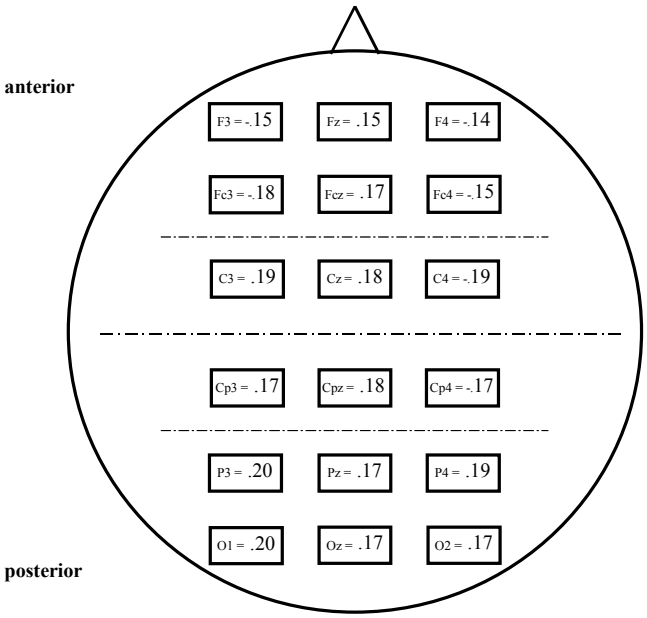
Die mittlere Reaktionszeit auf verbales Reizmaterial liegt bei 740.37 ms und die mittlere P300-Latenz bei 388 ms. Demnach vergehen zwischen Reizelaboration und Reaktionsausübung rund 352 ms. In Abbildung 4-46 sind die jeweiligen Korrelationen der Elektrodenpositionen zischen P300-Latenz und Reaktionszeit über alle experimentelle Bedingungen abgebildet. Die Mittelwerte beziehen sich auf Fischer-Z transformierte Korrelationen. An allen Elektrodenpositionen zeigt sich einen deutliche Dissoziation zwischen den Verhaltensmaßen und der mittleren Latenz des P300-Peaks über dem Skalp. Keine der Korrelationsmaße zeigt annähernd einen signifikanten Zusammenhang zischen den beiden Zeitmaßen (mittlere Korrelation über alle Elektrodenpositionen und experimentelle Bedingungen zwischen P300-Latenz und Reaktionszeit während der Verarbeitung verbalen Reizmaterials = .01, n.s.).

**Abb. 4-46: Korrelation zwischen P300-Latenz und Reaktionszeit für verbales Reizmaterial**




Für bildhaftes Reizmaterial liegt die mittlere Reaktionszeit bei 699.17 ms und einer P300-Latenz von 395 ms. Hier besteht eine zeitliche Differenz von rund 304 ms zwischen der Reaktionsausübung und Reizelaboration. .In Abbildung 4-47 sind die jeweiligen Korrelationen der Elektrodenpositionen zischen P300-Latenz und Reaktionszeit über alle experimentelle Bedingungen abgebildet. Die Mittelwerte beziehen sich auf Fischer-Z transformierte Korrelationen.

**Abb. 4-47: Korrelation zwischen P300-Latenz und Reaktionszeit für bildhaftes Reizmaterial**




Analog zum verbalen Reizmaterial zeigt sich auch für das bildhafte Stimulusmaterial an allen Elektrodenpositionen kein signifikanter Zusammenhang zwischen den Verhaltensmaßen und der mittleren Latenz des P300-Peaks über dem Skalp (mittlere Korrelation über alle Elektrodenpositionen und experimentelle Bedingungen zwischen P300-Latenz und Reaktionszeit während der Verarbeitung bildhaften Reizmaterials = .17, n.s.).

Neben den nicht signifikanten Korrelationen zwischen den Reaktionszeiten und der P300-Latenzen weisen auch die Asymmetrie-Indizes der P300- Amplitude und Latenz sowie den Indizes der Reaktionszeiten und Trefferquoten keinen substantiellen Zusammenhang (s. Tab. 4-20) auf.

**Tab. 4-20: Korrelationen zwischen den funktionellen u. kortikalen Asymmetrie-Indizes**

| | Asy-RT-Verb. | Asy-RT-Bild. | Asy-TR-Verb. | Asy-TR-Bild. |
|---|---|---|---|---|
| **Asy-Verb.-P300-Ampl.** | -,10 n.s. | -,15 n.s. | -,05 n.s. | -,30 n.s. |
| **Asy-Bild.-P300-Ampl.** | ,10 n.s. | ,04 n.s. | ,03 n.s. | -,08 n.s. |
| **Asy-Verb.-P300-Latenz** | ,00 n.s. | ,26 n.s. | -,08 n.s. | ,05 n.s. |
| **Asy-Bild.-P300-Latenz** | ,21 n.s. | -,06 n.s. | ,11 n.s. | -,20 n.s. |

Asy = Asymmetrie-Index; RT = Reaktionszeit, TR = Trefferquote

# 5 Diskussion

*Verarbeitungsspezifität und kognitive Lösungsstrategien*

Obwohl allgemein bei 96% der rechtshändigen und bei 70% der linkshändigen Personen ein linkshemisphärischer Leistungsvorteil für verbales Material bestehen soll (Rasmussen, 1977), so gibt es auch widersprüchliche Forschungsergebnisse, welche das Prinzip dieser Hemisphärizität in Frage stellen. Mittlerweile existieren gesicherte Erkenntnisse darüber, daß die Validität vieler Lateralitätsstudien aus unterschiedlichsten Gründen gering ausfiel. So ist bspw. ein verbaler Stimulus nicht immer ein verbaler Stimulus. Seine physikalische Beschaffenheit (z.B. die Buchstabengröße), seine Schreibweise (z.B. Handschrift vs. Druckschrift), die assoziative Bedeutung eines Wortes (z.B. abstrakt vs. konkret), die Art und Weise der Darbietung (z.B. uni- vs. bilateral oder spiegelbildlich vs. normal) sowie die experimentelle Aufgabenstellung (z.B. Lettermatching vs. Gedächtnisaufgabe) moderieren die Hemisphärenasymmetrie in unterschiedlicher Art und Weise. In diesem Zusammenhang muß ein experimentelles Paradigma sicherstellen, daß ein verbaler Reiz auch kognitiv verbal verarbeitet wird. Manche Versuchspersonen entwickeln unterschiedliche kognitive Strategien, um eine experimentelle Aufgabe zu bearbeiten. Sehr erschwert wird dieses Problem durch die Tatsache, daß die Versuchspersonen ihre Strategien während einer experimentellen Sitzung wechseln. Denn auch die Darbietung von Buchstaben oder Wörtern kann von einem Probanden mit einer räumlich-visuellen Strategie verarbeitet werden.

In den Experimenten dieser Arbeit wurde in mehrfacher Hinsicht auf die geschilderte Problematik eingegangen. Der verbale Stimulussatz bestand zum einen nur aus abstrakten Substantiven, um eine bildhafte Assoziation zu vermeiden. Die Wörter wurden in Druckbuchstaben dargeboten und variierten nicht in ihrer Buchstabenzahl, um die Variation des Schwierigkeitsgrades der Erkennbar- bzw. Lesbarkeit zwischen den einzelnen Wörtern möglichst gering zu halten. Der Einsatz einer bilateralen Darbietung der Stimuli in dieser Studie basiert auf den Ergebnissen, daß die simultane Darbietung von Wörtern die Polarität der zugrunde liegenden Hemisphärenasymmetrie nicht verändert, sondern sogar verstärken soll (Boles, 1983). Das Befundmuster dieser Studie der funktionellen Asymmetrien in den Verhaltensmaßen bestätigt jedenfalls die Annahme, daß der bilaterale Darbietungsmodus eine prädispositionelle Verarbeitungsasymmetrie für den ein oder anderen Stimulustyp nicht abschwächt. Die Frage, ob hingegen das Ausbleiben kortikaler Asymmetrien mit der simultanen Präsentation zweier Reize in Verbindung gebracht werden kann, wird im Laufe dieses Kapitels erneut aufgegriffen.

Die Kontrolle der kognitiven Strategie während der Ausführung der experimentellen Aufgaben in beiden Wahrnehmungsexperimenten war eine wichtige Voraussetzung für ein reliable Datengrundlage. Damit die Versuchspersonen sich nicht im Laufe des Experimentes auf eine seitenorientierte Lösungsstrategie festlegen konnten, wurde eine Kontrollbedingung mit Distraktorenstimuli eingeführt. Durch die Darbietung der Distraktoren waren die Probanden gezwungen, ihre Augen vor jedem Trail mittig zu fixieren und es war ihnen nicht möglich, sich zu Beginn eines jeden Trials schon im Vorfeld auf eine Seite festzulegen.

Die Stimuli der jeweiligen Stimulusklassen (verbal vs. bildhaft) wurden ebenfalls so ausgewählt, daß eine typspezifische Verarbeitungsweise zur Bewältigung der experimentellen Aufgabe notwendig war. D.h. die Wörter sollten verbal und die Gesichter bildhaft kognitiv verarbeitet werden. Auf seiten der Wörter wurden alle verbalen Stimuli in Großbuchstaben und mit konstanter Buchstabenanzahl dargeboten, so daß eine bildhafte Lösungsstrategie zur Identifikation des Sinnwortes weniger in Frage kommen konnte. Hinsichtlich der bildhaften Verarbeitung zeigten die dargebotenen Gesichter auch einen emotionalen Ausdruck, um die rechtshemisphärische Dominanz der zugrunde liegenden kognitiven Verarbeitung zu unterstreichen.

*Schwierigkeitsgrad zwischen den Reizklassen*

Zwischen den beiden Reizklassen scheint es einen unterschiedlichen Schwierigkeitsgrad bei der Bearbeitung der experimentellen Aufgabe gegeben zu haben. Obwohl das verbale wie das bildhafte Reizmaterial mit einer identischen Darbietungszeit (150 ms) dargeboten wurde, sprechen für eine vergleichsweise schwierigere Aufgabenstellung des verbalen Experimentes die relativ längeren Reaktionszeiten (41 ms) und geringeren Trefferquoten (10,1 %) der Probanden auf diese lateralisiert dargebotenen Stimuli.

Darüber hinaus zeigte sich auch auf elektrokortikaler Ebene ein Unterschied zwischen den beiden Reizklassen. Die durch verbale Stimuli evozierte P300 hatte eine vergleichsweise reduziertere Amplitude (7.3 myV) als auf bildhafte Reize. Allerdings spiegelte sich das angenommene Schwierigkeitsgefälle zwischen den beiden Reiztypen in der P300-Latenz nicht wider. Die mittlere P300-Latenz auf die verbalen Stimuli (388 ms) war 7 ms kürzer als die auf bildhafte Stimuli (395 ms).

Eine zu niedrige oder eine zu hohe Anforderung an den Probanden kann vor allem zu einem Wechsel nicht intendierter Analysestrategien seitens der Versuchsperson führen. Eine Unterforderung könnte beispielsweise dazu führen, daß die Versuchsperson gar nicht erst ihre (experimentell intendierten) kognitiven Resourcen in Anspruch nimmt und eine Überforderung könnte eine Zuhilfenahme experimentell unerwünschter Bewältigungsstrategien mit sich bringen, wie z.B. die formelle bildhafte Bearbeitung von Buchstaben. Wie auch immer, ein zu hoher oder zu

niedriger Schwierigkeitsgrad wird eher eine bestehende Hemisphärenasymmetrie abschwächen. Doch in diesen Experimenten zeigen sich auf der Ebene der funktionellen Asymmetrien hypothesenkonforme Lateralitätsmuster für beide Reizklassen, so daß der Schwierigkeitsgrad der jeweiligen Aufgabe nicht für das Ausbleiben der Asymmetrien der kortikalen Aktiviertheit verantwortlich gemacht werden kann. Prozentuale Trefferquoten in den Experimenten von 66.2% (verbal) und 76.3% (bildhaft) lassen auf ein adäquates Schwierigkeitsniveau wie das der Originalstudien (Mannhaupt et a. 1983 und Gerhards et al. 1997) schließen.

Die Etablierung einer Kontrollbedingung durch die Präsentation von Distraktorentrials, um die Entwicklung unerwünschter Lösungsstrategien seitens der Versuchsperson zu unterbinden (eine solche unerwünschte Lösungsstrategie wäre beispielsweise, daß der Proband schon vor Beginn der Stimulusdarbietung eine Halbfeldseite anvisiert und somit sicher stellt, eine 50 % Trefferquote zu erzielen), hatte in beiden Experimenten Erfolg gehabt. Wie die interaktive Kontrolle des HEOG-Kanales ergab, so entwickelte keiner der 44 Versuchspersonen eine Tendenz, schon vor Trialbeginn ein bestimmtes Darbietungshalbfeld zu präferieren. Die Dropout-Quote für ausselektierte Trials aufgrund von Saccadenaktivität vor Reizdarbietung lag durchschnittlich unter 2 % pro Versuchsperson.

Die Trefferquoten und die Reaktionszeiten auf die Distraktoren fielen wie erwartet geringer bzw. länger aus, denn der Abgleich zweier Nicht-Zielreize bedurfte vergleichsweise einer längeren Evaluationszeit als die der positiven Rückmeldung bei der Detektion eines Zielreizes. Außerdem wies die P300 Amplitude der Distraktorenpaare eine vergleichsweise geringere Amplitude auf als die auf die lateralisierten Zielreize, was ebenfalls im Sinne einer inhaltlichen Beachtung der gestellten experimentellen Instruktionen durch die Probanden interpretiert werden kann.

Ein weiterer Hinweis dafür, daß die Versuchspersonen gemäß den Instruktionen reagiert haben und somit den mittig dargestellten Fixierpunkt zu Beginn des experimentellen Trials anvisiert haben ist, daß der Haupteffekt des Faktors VHF in keiner der gerechneten Varianzanalysen signifikant wurde, sofern nur die RVHF und die LVHF –Abstufung in die Analyse mit ein bezogen wurden. In keiner der abhängigen Variablen (Reaktionszeiten, Trefferquoten, P300- Amplitude und Latenz sowie Average-Amplituden) wurde die RVHF-LVHF Differenz statistisch bedeutsam, so daß die Annahme einer Prädisposition der Versuchspersonen für ein bestimmtes Darbietungshalbfeld widerlegt wird.

*Händigkeit*

Obwohl die theoretisch angenommene Hemisphärizität der Asymmetrien überwiegend bei rechtshändigen Personen anzutreffen ist, so blieb der Einfluß der Reaktionshandseite auf die gemessenen Variablen aus. Bei keiner der abhängigen Variablen machte die Seite der Re-

aktionshand einen Effekt auf die gemessenen Asymmetrien. In allen Asymmetrien wurde der Haupteffekt HAND nicht signifikant. Doch die signifikante Interaktion HAND x VHF in der P300-Amplitude hob sich mit einer deutlichen Effektstärke ($\omega^2$=.25) von den anderen Effekten ab. In der P300-Amplitude zeigte sich sehr deutlich, daß über derjenigen Hemisphäre die größte Amplitude zu messen war, welche ipsilateral zur Reaktionshand lag. Betrachtete man den Unterschied dieser Interaktion in Abhängigkeit von der anterioren vs. posterioren Skalpregion, so zeigte sich der geschilderte Richtungswechsel nur in dem anterioren Skalpbereich, was eher auf eine kortikale Aktivität in Hinblick auf eine reaktionsvorbereitende Funktion zurückschließen läßt.

Gerade im Zusammenhang mit Lateralitätsexperimenten und EKP-Messungen existieren einige Befundmuster, welche eher auf der ipsilateral zur Darbietungsseite gelegenen Hemisphäre die größeren Amplituden bestimmter Komponenten im EKP evozierten (s. z.B. Überblick von Rugg, 1982 und Donchin, 1977). In dem in dieser Studie verwendeten experimentellen Paradigma, hatten die Versuchspersonen die Aufgabe, manuell per Tastendruck zu reagieren. Bei einem Paradigma dieser Art, muß konsequenterweise auf der kortikalen Ebene zwischen wahrnehmungsorientierten, stimulusevaluierenden, reaktionsvorbereitenden und reaktionsausübenden Prozessen unterschieden werden. In jedem dieser informationsverarbeitenden Prozesse können Asymmetrien auf kortikaler Ebene auftauchen und sich ggf. sogar gegenseitig moderieren. So sollte zu Beginn einer Studie klar sein, auf welcher dieser kognitiven Ebenen eine Asymmetrie untersucht bzw. mit Lateralität in Zusammenhang gebracht werden soll.

*Häufigkeitsverteilung der Asymmetrie-Indizes*

Die Frage, ob die Personen während des Experimentes ihre kognitiven Strategien zur Bewältigung der experimentellen Aufgabe wechselten, kann in dieser Arbeit nicht vollständig beantwortet werden. Darüber hinaus kann hier auch keine Aussage darüber gemacht werden, ob die Versuchspersonen tatsächlich bei Präsentation verbaler Stimuli eine verbale Lösungsstrategie verfolgten. Allerdings lassen die hohen positiven Korrelationen (von .85, verbal bis zu .96, bildhaft) der funktionellen Asymmetrie-Indizes zwischen dem ersten und dem zweiten experimentellen Block darauf schließen, daß die Versuchspersonen während eines Experimentes in konsistenter Weise eine bestimmte Verarbeitungsstrategie ausübten und nicht zwischen beispielsweise bildhafter und verbaler Verarbeitungsweise wechselten.

Aufgrund der Häufigkeitsverteilungen der funktionellen als auch cerebralen Asymmetrie-Indizes kann allerdings festgestellt werden, daß manche Personen während des gesamten Experimentes durchschnittlich eher einen RVHF bzw. LVHF –Vorteil auf funktioneller Ebene sowie eher eine rechts- bzw. links- hemisphärische größere Positivierung / kürzere P300-Latenz über dem Skalp

aufweisen. Demnach scheinen manche Versuchspersonen während des Experimentes eher ein rechtsgerichtetes und wiederum andere Probanden ein linksgerichtetes Asymmetriemuster bei der Bearbeitung eines bestimmten Reiztyps zu haben. Angesichts von Split-Half-Reliabilitäten von .90 bis .94 in den Reaktionszeiten und von .76 bis .89 in den Trefferquoten der jeweiligen experimentellen Bedingungen wird diese Annahme noch untermauert.

Bezüglich der funktionellen Asymmetrie-Indizes zeigt der Großteil der Probanden einen LVHF-Vorteil in den Trefferquoten (86.4 %) und kürzere Reaktionszeiten (84.1 %) bei der Bearbeitung des bildhaften Materials. Diese Häufigkeitsverteilung steht im Einklang mit der Hypothese der Hemisphärendominanz der linken Gehirnhälfte für bildhafte Stimuli. Hinsichtlich der Häufigkeitsverteilung in den cerbralen Asymmetrie-Indizes der P300-Amplitude und Latenz wird dieses Muster ebenfalls unterstützt. Ein Anteil von 70.5 % der Probanden hatte während der Bearbeitung der bildhaften experimentellen Trials eine rechtshemisphärisch größere Positivierung der P300 und bei 52.3% wurden kürzere P300-Latenzen über dem rechten Skalp gemessen. Bezüglich der Verteilung der Asymmetrie-Indizes für verbales Material sieht die Befundlage nicht ganz so einheitlich aus. Bei vergleichsweise nur 56.7 % der Probanden zeigte sich in den Trefferquoten ein erwartungsgemäßer relativer RVHF-Vorteil bei der verbalen Aufgabe und nur 36.3 % wiesen einen RVHF-Vorteil in den Reaktionszeiten auf. Auch in der Häufigkeitsverteilung der P300-Asymmetrie-Indizes der verbalen Bedingung konnte die Annahme eines linkshemisphärischen Leistungsvorteils nicht bestätigt werden. Bei nur 29.5 % der Versuchspersonen wurden linkshemisphärisch relativ kürzere P300-Latenzen beobachtet und bei nur 34.1 % der Personen konnte über der linken Gehirnhälfte relativ größere P300-Amplituden gemessen werden.

*P300-Latenz und Reaktionszeiten*

Insgesamt wurde keine der möglichen Korrelationen zwischen den Indizes der funktionellen Asymmetrien auf Verhaltensebene und den cerebralen Asymmetrie-Indizes der P300 signifikant. Weder ein substantieller Zusammenhang zwischen den Asymmetrie-Indizes der Reaktionszeiten und der P300-Latenz sowie der Performance-Asymmetrie der Trefferquoten und der Höhe der P300-Amplitude konnte aufgezeigt werden. Das Ausbleiben von signifikanten Korrelationen zwischen den Ebenen der funktionellen und cerebralen Asymmetrie-Indizes gliedert sich ein, in den weiteren Befund, daß ebenfalls kein Zusammenhang zwischen den Reaktionszeiten und der P300-Latenz gefunden werden konnte. In beiden Wahrnehmungsexperimenten blieben substantielle Korrelationen zwischen diesen beiden Maßen aus, obwohl in der Literatur vielfach ein positiver Zusammenhang zwischen P300-Latenz und Reaktionszeiten nachgewiesen werden konnte (Donchin, 1988).

Hinsichtlich dieses Befundmusters sei an dieser Stelle auf die Arbeiten von McCarty und Donchin (1981) sowie Duncan-Johnson und Kopell (1981) hingewiesen. Sie untersuchten den Zusammenhang zwischen Reaktionszeiten und der P300-Latenz im Rahmen eines Stroop-Paradigmas. In ihren Experimenten gingen die Forscher der Frage nach, ob die Reaktionsverzögerung bei Inkongruenz von Stimulus-Farbe und -Inhalt aufgrund von konkurrierenden Stimulusevalutionsprozessen oder entgegen gerichteten Prozessen der Reaktionsvorbereitung zustande kommt. Jedenfalls konnte diese Frage nicht durch solche Untersuchungen beantwortet werden, die alleinig Reaktionszeiten erfaßten. Unter der Annahme, daß die einzelnen Stufen bestimmter kognitiver Prozesse sich sequentiell ereignen, stellten die Autoren die Hypothese auf, daß sich eine Stimulusinterferenz in verlängerten Reaktionszeiten, jedoch nicht in längeren P300-Latenzen widerspiegeln soll. Denn Prozesse der Reaktionsselektion und der Reaktionsausübung haben nach Ansicht der Autoren keinen Effekt auf die Latenz der P300. Die Latenz dieser EKP-Komponente wird eher mit Prozessen der Stimulus-Selektion und -Evaluation in Zusammenhang gebracht (Donchin, 1988). In der P300-Latenz sollen sich somit lediglich stimulusevaluierende Prozesse widerspiegeln. Die anschließenden reaktionsselektiven Prozesse beeinflussen die P300-Latenz nicht, zumal diese sich erst nach den Stimulus evaluierenden Prozessen zeitlich anschließen sollen. Eine sequentielle Verarbeitungsweise vorausgesetzt, schlagen sich demnach beide Prozesskomponenten additiv in der gemessenen Reaktionszeit nieder.

Tatsächlich konnte in keinem der beiden Experimente von McCarty und Donchin (1981) sowie Duncan-Johnson und Kopell (1981) ein substantieller Zusammenhang zwischen der P300-Latenz und den gemessenen Reaktionszeiten innerhalb der experimentellen Bedingungen gefunden werden. Die Ergebnisse dieser Studien belegen deutlich die Annahme, daß die P300-Latenz eher sensitiv bezüglich der Dauer des Stimulusevalutionsprozesses und eher insensitiv für reaktionsselektive Prozesse ist. Hingegen jedoch die Reaktionszeiten durch beide kognitive Prozesse beeinflußt werden.

Innerhalb dieses Untersuchungsrahmens tritt ein ganz ähnlicher Effekt auf, nämlich eine analoge Dissoziation zwischen den Maßen der Verhaltensebene und denen der kortikalen Aktivierung. In erster Linie ist hier der fehlende Zusammenhang zwischen Reaktionszeiten und P300-Latenz zu sehen. Anscheinend wurde in einer Vielzahl von früheren Experimenten zur Untersuchung von Performance-Asymmetrien lediglich die Lateralität der Output-Ebene, der reaktions-vorbereitenden und -ausführenden Asymmetrien, erfaßt. Doch in keinem der phasischen kortikalen Aktivitätsmaßen (P300-Amplitude und -Latenz sowie Average-Amplituden) dieser Studie, konnte eine Asymmetrie bzw. ein substantieller Zusammenhang zwischen Hemisphärendominanz und Spezifität für ein bestimmtes Stimulusmaterial nachvollzogen werden. Ohnehin existieren sehr

wenige EKP-Studien zur Untersuchung von Lateralitätseffekten, so daß dieser Negativbefund in keinem direkten Widerspruch mit anderen Ergebnissen steht. Obwohl die Ergebnisse der Verhaltensasymmetrien auf stabilen Reliabilitäten basieren und darüber hinaus eindeutige Replikationen zu anderen Ergebnissen aus anderen Studien darstellen, konnte keine Asymmtrie kortikaler Aktiviertheit gemessen werden. Aufgrund der oben beschriebenen Ergebnisse hinsichtlich der Dissoziation zwischen Reaktionszeiten und P300-Latenz ist es naheliegend anzunehmen, daß die hier gemessenen Asymmetrien der Performanceebene lediglich reaktionsselektive Prozesse zur Reaktionsvorbereitung widerspiegeln und die hier gemessenen P300-Latenzen eher Stimulusevaluationsprozesse als reaktionsvorbereitende Prozesse reflektieren.
So existiert in den Ergebnissen der Average-Amplituden tatsächlich ein topografischer Unterschied in den späteren Zeitfenstern zwischen anterioren und posterioren Elektrodenpositionen. Der anteriore Skalpbereich kann eher mit kognitiven Prozessen zur Reaktionsvorbereitung und der posteriore Skalpbereich des Cortex eher mit solchen Prozessen der Stimulusevaluation assoziiert werden. Doch wenn lediglich auf reaktionsselektiver Ebene Asymmetrien gemessen werden konnten, so bleibt die Frage ungeklärt, ob sich eine prädispositionelle Hemisphärendo-minanz für ein bestimmtes Reizmaterial sich nicht auch auf stimulusevaluierende Prozesse auswirkt. Unter der Annahme, daß die P300 eher mit den phasischen kognitiven Prozessen der Stimulusevaluation und einem Kontextupdating assoziiert werden kann, konnten in dieser Studie keine Asymmetrien hinsichtlich der Stimulusevaluation gefunden werden. Bei mittleren Reaktionszeiten in einem Bereich zwischen 700 bis 740 ms liegt eine mittlere P300-Latenz von 380 ms relativ frühzeitig. Innerhalb dieser Zeitdifferenz (340 ms) könnten sich lateralisierte reaktionsvorbereitende Prozesse durchaus anschließen. Es tut sich in diesem Zusammenhang die Frage auf, ob sich das EKP und seine exo- sowie endogenen Komponenten überhaupt dazu eignen, eine funktionelle Asymmetrie abzubilden. Studien in denen das lateralisierte Bereitschaftspotential erfaßt wurde, können eher einen solchen Zusammenhang aufzeichnen (s. z.B. Wascher, 1996).

*Funktionelle Asymmetrien*

Die Ergebnisse der Verhaltensasymmetrien des Wahrnehmungsexperimentes auf verbales Reizmaterial replizieren die Ergebnisse von Mannhaupt (1983) und stützen eine weitgehend konsistente Befundlage für einen RVHF-Vorteil für verbales Reizmaterial (z.B. MacClone, 1980; Day, 1977; Leiber, 1976; Bradshaw, 1977; Gruzelier, 1991; Iaccino, 1993). Die Reaktionszeiten als auch die Trefferquoten spiegelten einen RVHF-Vorteil bei der Präsentation verbalen Materials wider. Wenn der abstrakte verbale Zielreiz von der Versuchsperson bearbeitet wurde, so resultierte in den Reaktionszeiten ein erwartungsgemäßer relativer RVHF-Vorteil (41.6 ms) gegenüber dem

LVHF. Bei den Trefferquoten zeigte sich ein deutlicher RVHF-Treffervorteil von 15.5% gegenüber dem LVHF.

Die Muster der Verhaltensasymmetrien auf bildhaftes Reizmaterial replizieren die Resultate von Gerhards (1997) und unterstützen somit eine weitgehend konsistente Befundlage für einen LVHF-Vorteil während der Verarbeitung emotionaler Gesichter (z.B. Bryden, 1983; Erdmann, 1990; Landis, 1979; Strauss, 1981; Suberi, 1977; Kolb, 1996). In den vorliegenden Ergebnissen spiegelte sich deutlich ein LVHF-Vorteil in den Reaktionszeiten und Trefferquoten wider. Wenn ein emotional bildhafter Zielreiz der Versuchsperson dargeboten wurde, so resultierte in den Reaktionszeiten ein, wenn auch nicht signifikanter, aber erwartungsgemäßer relativer LVHF-Vorteil (9 ms) gegenüber dem RVHF. Hinsichtlich der Trefferquoten auf das bildhafte Stimulusmaterial fiel jedoch die visuelle Halbfelddifferenz signifikant aus. Wenn die Gesichter im LVHF dargeboten wurden, trafen die Probanden 11.3% häufiger als im rechten RVHF.

Alles in allem unterstützen die Verhaltensmessungen aus den beiden Wahrnehmungs-experimenten die Befunde von Mannhaupt (1983) bzw. Gerhards (1997) und stellen eine Replikation beider Originalstudien dar. Der Grad sowie die Polarität der gefundenen funktionellen Asymmetrien entspricht denen der Vorgängerarbeiten sowie der theoretischen Annahme. Aufgrund der gemessenen funktionellen Asymmetrien der Reaktionszeiten und Trefferquoten werden die hypothetischen Annahmen der spezifischen Hemisphärendominanz hinsichtlich einer Prädisposition für die Verarbeitung verbalen vs. bildhaften Reizmaterials bestätigt.

*Kortikale Asymmetrien phasischer Aktiviertheit*

Doch auf der Ebene der kortikalen Asymmetrien konnte sich keines der oben genannten funktionellen Asymmetriemuster widerspiegeln. Die Amplitude sowie die Latenz der P300 wurden weder von der Darbietungsseite des jeweiligen Zielstimulus (VHF) noch von der Reaktionshandseite (HAND) beeinflußt. Unabhängig davon, mit welcher Reaktionshand die Versuchsperson reagierte, zeigten sich keine lateralen Differenzen in den P300-Potentialen und auch nicht in den Latenzen. Die Interaktion zwischen dem Topographiefaktor HEMI (linke vs. rechte Elektrodenposition) und VHF (Zielreiz im linken vs. rechten visuellen Halbfeld) war in beiden Parametern der P300 nicht signifikant.

Darüber hinaus wurde die Asymmetrie der P300-Komponente ebenso wenig durch die Art des Stimulusmaterials beeinflußt. Weder die Lateralität der P300- Amplitude noch ihre Latenz stand in irgendeiner Abhängigkeit vom Reiztyp. Unabhängig davon, ob verbales oder bildhaftes Material von den Probanden bearbeitet wurde, wurden die Interaktionen mit dem Hemisphärenfaktor oder mit der Darbietungsseite nicht signifikant.

Obwohl die Replikationen beider Wahrnehmungsexperimente hinsichtlich der funktionellen Asymmetrien auf der Verhaltensebene gelungen sind, kann auf der Ebene der phasischen kortikalen Asymmetrien keinesfalls von Lateralitätseffekten gesprochen werden. Das Muster der reizspezifischen Hemisphärenasymmetrie vieler Performance-Experimente kann in den hier ausgewerteten elektrophysiologischen Parametern nicht ansatzweise nachvollzogen werden. Insbesondere muß aufgrund der vorliegenden Ergebnisse behauptet werden, daß sich die P300 als elektrophysiologischer Indikator für zugrundeliegende kortikale Asymmetrieprozesse im Rahmen eines solchen experimentellen Paradigmas nur wenig oder gar nicht eignet.

Sicherlich können an dieser Stelle eine Reihe von methodischen Einwänden gemacht werden, um das Ausbleiben der kortikalen Asymmetrie-Effekte alternativ zu erklären – beispielsweise in der Auswahl einer geeigneten Referenzelektrode. Doch dieses Argument kann insbesondere dadurch abgeschwächt werden, indem sich das vorliegende Befundmuster in eine Reihe von Ergebnissen anderer Studien einreiht, welche ebenfalls keine Asymmetrie-Effekte in den späten Komponenten des ereigniskorrelierten Potentials aufdecken konnten, obwohl diese mit anderen Referenzelektroden arbeiteten (z.B. Shelburne, 1972; Friedman et al., 1975; Gallin und Ellis, 1975; Kutas, 1990). Ein anderer methodischer Einwand an dieser Stelle wäre die Verwendung des bilateralen Darbietungsmodus. So könnte man behaupten, daß aufgrund der zeitlich parallelen Darbietung eines links- und rechtsseitig dargebotenen Stimulus auch konsequenterweise eine bilaterale parallele kortikale Informationsverarbeitung aktiviert würde und somit keine Asymmetrie-Effekte messbar sind. Doch diesem Argument sind zwei Argumente entgegen zu halten. Einerseits existieren konsistente Befunde für einen anhaltenden Asymmetrie-Effekt unter der bilateralen Darbietungsweise, denn auf performanter Ebene sollen sich die Lateralitätseffekte unter dieser Darbietungsweise sogar noch verstärken (Boles, 1983). Andererseits muß man von einer bilateralen Generatorstruktur der P300 ausgehen, wenn man annimmt, daß die P300-Asymmetrie aufgrund einer bilateralen Darbietungsweise der Zielstimuli niveliert werden würde. Doch es gibt bis dato noch keine eindeutigen Beweise dafür, daß in den beiden Hemisphären völlig unabhängige P300-Generatorsysteme arbeiten. Zwar fanden Kutas et al. (1990) eine klare P300-Asymmetrie bei Split-Brain Patietenten durch lateral evozierte Stimuli., was die Autoren zum Anlaß nahmen, die Hypothese, daß die P300 durch ein bilaterales diffuses subkortikales System generiert wird, in Frage zu stellen. Doch ihre Ergebnisse konnten wiederum keinen eindeutigen Beweis für die Existenz völlig unabhängiger interhemisphärischer P300-Generatorsysteme erbringen.

In analoger Weise zeigte sich ein Ausbleiben der Lateralitätseffekte in den Average-Amplituden. In sämtlichen Zeitfenstern konnten keine reizspezifischen und VHF abhängigen Asymmetrien verzeichnet werden. Auch in den frühen Zeitfenstern blieben die erwarteten Lateralitätseffekte

aus. Der Einfluß der Darbietungsseite des Zielreizes und die Art des Stimulus hatten keinen Einfluß auf mögliche Asymmetrien der gemittelten Potentiale der Average-Amplituden. Weder die Wechselwirkung zwischen den lateralen Elektrodenpostitionen mit dem Faktor VHF noch mit dem Faktor REIZ wurden in irgendeinem der Zeitfenster der Average-Amplituden signifikant.

Nur in Hinblick auf die Seite der Reaktionshand im Zusammenspiel mit der Seite des Zielreizes konnten Lateralitätseffekte in den elektrophysiologischen Potentialen gefunden werden. So zeigte sich deutlich, daß über derjenigen Hemisphäre die relativ größeren P300-Amplituden zu messen waren, welche ipsilateral zur Reaktionshand lag. Mit einem $\omega^2$=.25 hat dieser Effekt (HEMI x HAND; F(2,86)=44.10, p<.00) einen sehr großen Erklärungsanteil an der Varianz in der entsprechenden abhängigen Variable. Größere Amplituden über der ipsilateral zur Reaktionshand gelegenen Gehirnhälfte wurden schon mehrmals in der Literatur zitiert (Rugg, 1982; Kutas et al. 1990). Die Autoren begründen diesen Effekt mit sich überlappenden negativen motorischen Bereitschaftspotentialen derjenigen Hemisphäre, welche kontralateral zur Reaktionshand liegt. Demnach führt eine kontralaterale Negierung, durch reaktionsvorbereitende Prozesse, zu einer ipsilateral relativ größeren Positivierung beispielsweise in der P300-Amplitude. Diese Erklärungsweise trifft auf das vorliegende Befundmuster zu. Tatsächlich finden sich in den Daten (P300-Amplitude und Average-Amplituden) neben den Zweifachinteraktionen HEMI x HAND auch deutliche Wechselwirkungen zwischen den Faktoren ANTPOST x HEMI x HAND, wo sich besonders an den anterioren Elektrodenpositionen diese ipsilateral zur Reaktionshand gelegene Amplitudenpositivierung deutlich zeigt. Dieser Effekt ist ein weiteres Indiz dafür, daß die hier gemessenen funktionellen Asymmetrien lediglich reaktionsbezogene Prozesse reflektieren.

Vergleicht man allerdings die ipsi- vs. kontralaterale Verarbeitungsform, so resultiert eine signifikante Differenz in der P300-Amplitude zugunsten der kontralateral gelegenen Hemisphäre (F(1,43)=53.6, p <.00, $\omega^2$=.37). Wenn also die zur Reaktionsausübung betreffenden Gehirnareale einer Reaktionshand und die rezeptiven Areale zur Wahrnehmung des lateralisiert projizierten Zielreizes in derselben Hemisphäre lokalisiert sind, werden über dieser Gehirnhälfte im Vergleich zur kontralateralen Hemisphäre kleinere P300-Amplituden gemessen. Ein Erklärungsansatz begründet diesen Effekt durch eine erhöhte Anstrengung der kontralateral gelegenen Hemisphäre, welche nicht direkt den Zielreiz appliziert bekam, an aufgabenrelevante Informationen zu gelangen. Betrachtet man jedoch die absolute Differenz zwischen den beiden Verarbeitungsformen, so fällt diese mit nur 0.9 myV sehr gering aus. Auch die Differenz der beiden Verarbeitungstypen von 2 ms in der P300-Latenz zugunsten der ipsilateralen Verarbeitungsweise fällt ähnlich marginal aus. Aufgrund der sehr geringen Differenzen zwischen den beiden Verarbeitungstypen kann man an dieser Stelle kaum von einem substantiellen Unterschied

zwischen den beiden lateralisierten Verarbeitungsformen sprechen, obwohl die Differenzen in der P300-Amplitude und Latenz statistisch signifikant wurden.

*Ausblick*

Eine der großen Unzulänglichkeiten der Lateralitätsforschung ist das Problem, solche Lateralitätsindizies zu erzeugen, welche verläßlich und reliabel auf indiviueller Ebene sind. Bis heute ist man kaum in der Lage, die Lateralität eines Individuums weder auf Verhaltens- noch auf cerebraler Ebene eindeutig und reliabel zu charakterisieren. Grob zusammengefaßt, hat man aufgrund der bisherigen Forschung zwei unterschiedliche Landkarten aufgezeichnet, wobei jede ihren eigenen Aussagewert hat, allerdings sind beide sehr verschieden. Die beiden Karten repräsentieren die Lateralität des Verhaltens- und der Neuropsychologie. Beide sind nicht dasselbe, doch möglicherweise beschreiben beide dieselben zu Grunde liegenden Prozesse. So ist eine neuropsychologische Lateralität eine nützliche Quelle zur Beschreibung für bestimmte Aspekte der Verhaltenasymmetrie, doch ist sie nicht unbedingt notwendig zur Erforschung von lateraliserten Verhaltenskomponenten. Es wird fälschlicherweise sehr oft angenommen, daß Verhaltenslateralität zur Untersuchung von Hemisphärenasymmetrien genutzt werden kann. Doch funktionelle Asymmetrien gehen nicht unbedingt mit strukturellen Asymmetrien einher. Viele Psychophysiologen unserer Zeit neigen vorzeitig dazu, auf neurowissenschaftliche Konzepte auf der Basis von psychologischen Erkenntnissen zu schließen.

Künftig wird wohl die Entwicklung von expliziten kognitiven Strukturmodellen wichtig sein, aus denen mögliche Verhaltensasymmetrien ableitbar, klare Vorhersagen möglich und Einflußfaktoren eindeutig gekennzeichnet sind. Ein Großteil des heutigen Erkenntnisstandes in der Lateralitätsforschung basiert auf sogenannten „post hoc Erklärungen".

Weiterhin sollten künftige Modelle auch die Möglichkeit von parallelen Verarbeitungsprozessen mit einbeziehen. So könnte eine lateralisierte Asymmetrie eben auch durch Ungleichheiten in einem Satz von parallelen Prozessen oder zwischen separaten seriellen Verarbeitungsschritten bedingt sein.

In diesem Kontext ist es wichtig, kognitive Subprozesse zu identifizieren und die Lateralitätsaussage somit auf kleinere, in sich abgeschlossene Teilprozesse, zu beziehen. Obwohl in dieser Arbeit eine klare Dissoziation zwischen den Mustern der funktionellen Asymmetrien und denen der phasischen kortikalen Aktiviertheit besteht, scheint die Verwendung von zeitlich hochauflösenden EEG-Messungen eben weiterhin dadurch begründet, um detailliertere Asymmetrieaussagen bezüglich lateralisierter kognitiver Teilprozesse machen zu können.

# 6 Literaturverzeichnis

Asbornsen, A., Hugdahl, K., Bryden, M.P. (1992). Manipulations of subjects level of arousal in dichotic listening. *Brain and Cognition*(19), 183-194.

Beaumont, J. G. (1982). *Divided visual field studies of cerebral organization.* London: Academic Press.

Beaumont, J. G., Young, A.W., McManus, I.C. (1984). Hemisphäricity: A Critical Review. *Cognitive Neuropsychology, 1*(2), 191-212.

Beaumont, J. G. (1997). Future Research Directions in Laterality. *Neuropsychology Review, 7*(3), 107-126.

Behrmann, M., Winocur, G., Moscovitch, M. (1992). Dissociation between mental imagery and object recognition in a brain-damged patient. *Nature, 359*, 636-637.

Berger, J. M. (1988). Interhemisphäric cooperation and activation in integration of verbal information. *Behavioural Brain Research, 29*, 193-200.

Berlucchi, G., Brizzololara, D., Marzi, C.A., Rizzolatti, G., Umilta, C. (1974). Can lateral asymmetries in attention explain interfield differences in visual perception? *Cortex, 10*, 177-185.

Bever, T. G., Hurtig, R.R., Handel, A.B. (1976). Analytic processing elicits right ear superiority in monaurally presented speech. *Neuropsychologia, 14*, 175-182.

Birbaumer, N., Elbert, T. (1988). P3: byproduct of a byproduct. *Behavioral and Brain Sciences, 11*, 375-377.

Birbaumer, N., Schmidt, R.F. (1990). *Biologische Psychologie.* Berlin: Springer.

Bodian, D. (1962). Discussion first Session. In V. B. Mountcastle (Ed.), *Interhemisphäric Relations and Cerebral Dominance* (pp. 25-26). Baltimore: The John Hopkins Press.

Bogen, J. E., DeZure, R., TenHouten, N., Marsh, J. (1972). The other side of the brain IV: The A/P ratio. *Bulletin of Los Angeles Neurological Societies, 37*, 49-61.

Boles, D. B. (1983). Hemisphäric Interaction in visual field Asymmetry. *Cortex, 19*, 99-113.

Boles, D. B. (1985). The effects of display and report order asymmetries on lateralized word recognition. *Brain and Language, 26*, 106-116.

Boles, D. B. (1990). What bilateral displays do. *Brain and Cognition, 12*, 205-228.

Borod, J. C. (1992). Interhemisphäric and Intrahemisphäric control of emotion: A focus on unilateral brain damage. *Journal of Consulting and Clinical Psychology, 60*, 339-348.

Bradshaw, G. J., Hicks, R.E., Rose, B. (1979). Lexical discrimination and letter-string identification in the two visual fields. *Brain and Language, 8*, 10-18.

Bradshaw, J. L., Gates, A., Nettleton, N.C. (1977). Bihemisphäric involvement in lexical decisions: Handedness and a possible sex difference. *Neuropsychologia, 15*, 277-286.

Bradshaw, J. L., Nettleton, N.C. (1981). The nature of hemisphäric specialization in man. *The Behavioral and Brain Sciences, 4*, 51-91.

Bradshaw, J. L., Nettleton, N.C. (1983). *Human Cerebral Asymmetry*: Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ.

Brinkman, J., Kuypers, H.G.J.M. (1973). Cerebral control of contralateral and ipsilateral arm, hand and finger movements in the splitbrain rhesus monkey. *Brain, 96*, 653-674.

Bryden, M. P. (1982). *Laterality: functional asymmetry in the intact brain.* New York: Academic Press.

Bryden, M. P., Ley, R.G. (1983). Right hemisphäric involvement in the perception and expression of emotion in normal humans. In K. M. Heilman, Satz, P. (Ed.), *Neuropsychology of Human Emotion.* (pp. 6-44). New York: Guilford.

Bryden, M. P. (1986). On the possible dangers of using horizontal word displays in visual field studies. *Brain and Cognition, 5*, 362-368.

Buchsbaum, M., Fedio, P. (1970). Hemisphäric differences in evoked potentials to verbal and nonverbal stimuli in the left or right visual fields. *Physiology and Behavior, 5*, 207-210.

Carretie, L., Iglesias, J. (1995). An ERP study on the specificity of facial expression processing. *International Journal of Psychophysiology, 19*, 183-192.

Chiarello, C., Dronkers, N.F., Hardyck, C. (1984). Choosing sides: On the variability of language lateralization in normal subjects. *Neuropsychologia, 22*, 363-373.

Cohen, G. (1972). Hemisphäre differences in a letter classification task. *Perception and Psychophysiology, 11*, 139-142.

Cohen, G. (1973). Hemisphäric differences in serial versus parallel processing. *Journal of experimental Psychology, 97*, 349-356.

Cohen, G., Freeman, R.H. (1978). Individual differences in reading strategies in relation to handedness and cerebral asymmetry., *Attention and Performance* (Vol. VII, pp. 411-427). Hillsdale, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.

Cohen, G. (1982). Theoretical interpretations of lateral asymmetries. In J. G. Beaumont (Ed.), *Divided visual field studies of cerebral organization.* (pp. 87-111). New York: Academic Press.

Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral science.* (2 ed.). Hillsdale, NJ: Erlbaum.

Corballis, M. C. (1980). Laterality and myth. *American Psychologist, 35*, 284-295.
Corballis, M. C. (1983). *Human Laterality.* New York: Academic Press.

Davidson, R. J. (1984). Hemisphäric Asymmetry and Emotion. In K. R. Scherer, Ekman, P. (Ed.), *Approaches to Emotions* (pp. 39-57). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.

Davidson, R. J., Ekman, P., Saron, C.D., Senulis, J.A., Friesen, W.V. (1990). Approach/Withdrawal and cerebral asymmetry: Emotional expression and brain physiology. *Journal of Personality and Social Psychology*(58), 330-341.

Davidson, R. J. (1995). Cerebral asymmetry, emotion and affective style. In R. J. Davidson, Hugdahl, K. (Ed.), *Brain Asymmetry* (pp. 361-387). Cambridge, MA: MIT Press.

Davis, R., Schmitt, V. (1973). Visual and verbal coding in the interhemisphäric transfer of information. *Brain, 95*, 347-356.

Day, J. (1977). Right-Hemisphäre Language Processing in Normal Right-Handers. *Journal of Experimental Psychology, 3*(3), 518-528.

Desmedt, J. E., Robertson, D. (1977). Differential enhancement of early and late components of the cerebral somatosensory evoked potentials during forced-paced cognitive tasks in man. *Journal of Physiology, 271*, 761-782.

Desmedt, J. E. (1980). P300 in serial tasks: An essential post-decision closure mechanisms. In H. H. Kornhuber, Deecke, L. (Ed.), *Motivation. Motor and Sensory Processes of the Brain.* (Vol. 54, ). Amsterdam: Elsevier/North Holland.

Desmedt, J. E. (1981). Scalp recorded cerebral event-related potentials in man as point of entry into the analysis of cognitive processing. In F. O. Schmidt, Worden, F.G., Adelman, G., Dennis, D. (Ed.), *The Organization of the Cerebral Cortex* (Vol. 19, ). Cambridge: MIT Press.

Diamond, R., Carey, S. (1986). Why faces are and are not special: An effect of expertise. *Journal of experimental Psychology: General, 15*, 107-117.

Diedrich, O. (1996). *Die kortikale Kontrolle emotionaler Reaktionen.* Lengerich: Pabst Science Publishers.

Dimond, S. J. (1972). *The double brain.* Eddinburgh: Churchill Livingstone.

Dimond, S. J., Beaumont, J. G. (Ed.). (1974). *Hemisphäre function in the human brain.* London: Elek Science.

Dimond, S. J. (1976). Depletion of attentional capacity after total commissurotomy in man. *Brain, 99*, 350-356.

Dimond, S. J. (1979). Performance by split-brain humans on lateralized vigilance tasks. *Cortex, 15*, 43-50.

Dolinsky, R. (1973). Word fragments as recall cues: Role of syllables. *Journal of Experimental Psychology, 97*, 272-274.

Donchin, E., Kutas, M., und McCarthy, G. (1977a). Electrocortical indices of hemisphäric utilization. In R. W. D. S. Harnad, L. Goldstein, J. J. Haynes, und G. Krauthamer (Ed.), *Lateralization in the nervous system* (pp. 339-384). London: Academic Press.

Donchin, E., G. McCarthy und M. Kutas. (1977b). *Electroencephalographic invetsigations of hemisphäric specialization.* (Vol. Language and Hemisphäric Specialization in Man. Cerebral ERP's). Basel: Karger.

Donchin, E., Coles, M.G.H. (1988). Is the P300 a manifestation of contex updating? *Behavioral and Brain Sciences, 11*, 357-374.

Duncan-Johnson, C. C., Kopell, B.S. (1981). The Stroop Effect: Brain Potentials Localize the Source of Interference. *Science, 214*, 938-940.

Efron, R. (1963). The effect of handedness on the perception of simultaneity and temporal order. *Brain, 86*, 261-284.

Efron, R. (1990). *The Decline and Fall of Hemisphäric Specialization.* Hillsdale, New Jersey, Hove, London: Lawrence Erlbaum Associates.

Eidelberg, D., Galburda, A. M. (1982). Symmetry and asymmetry in the human posterior thalamus. *Archives of Neurology, 39*, 325-332.

Ekman, P., Friesen, W.V. (1976). *Pictures of facial affect.* Palo Alto, CA: Consulting Psychologist Press.

Elbert, T. (1993). Slow cortical potentials reflect the regulation of cortical excitability. In W. C. McCallum, Curry, S.H. (Ed.), *Slow potential changes in the human brain.* (pp. 235-251). New York: Plenum Press.

Erdmann, G., Kaiser, J. (1990). Hemisphärenunterschiede beim Erkennen des emotionalen Ausdrucks von Gesichtern: Emotionserkennen oder Mustererkennen? *Zeitschrift für Neuropsychologie, 1*, 45-56.

Ericksen, B. A., Eriksen, C.W. (1974). The importance of being first: A tachistoscopic study of the contribution of each letter to the recognition of four-letter-words. *Perception and Psychophysics, 15*, 66-72.

Etcoff, N. L. (1989). Asymmetries in recognition of emotion. In F. Boller, Grafman, J. (Ed.), *Handbook of Neuropsychology* (Vol. 3, pp. 362-382). Amsterdam: Elsevier.

Eviatar, Z., Zaidel, E. (1991). The effects of word length and emotionality on hemisphäric contribution to lexical decision. *Neuropsychlogia, 29*, 415-428.

Faller, A. (1984). *Der Körper des Menschen.* (Vol. 10). Stuttgart, New York: Georg Thieme Verlag.

Falzi, G., Perrone, L. A.,. (1982). Right-Left Asymmetry in anterior speech region. *Archives of Neurlogy, 39*, 239-240.
Friedman, A., Polson, M.C. (1981). Hemisphäres as independent resource systems: Linited capacity processing and cerebral specialisation. *Journal of Experimental Psychology, 7*, 1031-1058.

Friedman, D., Simson, R., Ritter, W., Rapin, I. (1975). Cortical Evoked Potentials Elicited by Real Speech Words and Human Sounds. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology, 38*, 13-19.

Furst, C. J. (1976a). EEG alpha asymmetry and visuo-spatial performance. *Nature, 260*, 254-255.

Furst, C. J. (1976b). EEG asymmetry and visuospatial performance. *Nature, 260*, 225-254.
Gainotti, G., Caltagirone, C., Zoccolotti, P. (1993). Left/right and cortical/subcortical dichotomies in the neurophysiolgical study of human emotions. *Cognition and Emotions, 7*, 71-93.

Gallin, D., Ellis, R. R. (1975). Asymmetry in Evoked Potentials as an Index of Laterilized Cognitive Processes: Relation to EEG Alpha Asymmetry. *Neuropsychologia, 13*, 45-50.
Gazzaniga, M. S., Sperry, R.W. (1967). Language after sectioning of the cerebral commissures. *Brain, 90*, 131-148.

Gazzaniga, M. S., Hillyard, S.A. (1973). Attention mechanisms following brain bisection. In S. Kornhuber (Ed.), *Attention and Performance* (Vol. V, pp. 221-238). New York: Academic Press.

Gazzaniga, M. S. (1983). Right hemisphäre language following brain bisection: a 20 year perspective. *American Psychologist, 38*, 525-537.

Geffen, G., Bradshaw, J.L., Nettleton, C.N. (1972). Hemisphäric asymmetry: Verbal and spatial encoding of visual stimuli. *Journal of Experimental Psychology., 95*(1), 25-31.

Gerhards, F. (1997). Lateral faces on an body compliant scale. *Psychophysiology, 12*, 12-23.

Geschwind, N., Levitsky, W. (1968). Left-Right Asymmetries in Temporal Speech Region. *Science, 161*, 186-187.

Gordon, H. W. (1996). Hemisphäricity. In J. G. Beaumont, Kenealy, P.M., Rogers, M.J.C. (Ed.), *The Blackwell Dictionary of Neuropsychology* (pp. 388-395). Oxford: Blackwell.

Gott, P. S. (1973). Language after dominant hemisphärectomy. *Journal of neurological neurosurgical Psychiatry, 36*, 1082-1088.

Gratton, G., Coles, M. G. H., und Donchin, E. (1983). A new mothod for off-line removal of occular artifact. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology, 55*, 468-484.

Graves, R., Landis, T., Goodglass, H. (1981). Laterality and sex differences for visual recognition of emotional and nonemotional words. *Neuropsychologia, 19*, 95-102.

Gruzelier, J., Phelan, M. (1991). Stress induced reversal of a lexical divided visual-field asymmetry accompanied by retarded electrodermal habituation. *International Journal of Psychophysiology, 11*, 269-276.
Hagemann, D., Naumann, E., Lürken, A., Becker, G., Maier, S., Bartussek, D. (1999). EEG-Asymmetry, dispositional mood and personality. *Personality and Individual Differences, 26*, 541-568.

Hannay, H. J. (1986). Some issues and concerns in neuropsychological research: An introduction. In H. J. Hannay (Ed.), *Experimental Techniques in Human Neuropsychology* (pp. 3-14). Oxford: University Press.

Hardyck, C. (1986). Cerebral asymmetries and experimental parameters: real differences or imaginary variations? *Brain and Cognition, 5*, 223-239.

Hautzinger, M., Bailer, S. (1994). *Allgemeine Depressionsskala (ADS).* Weinheim/Germany: Beltz.

Heilman, K. M., Van den Abell, T. (1980). Right hemisphäre dominance for attention: The mechanism underlying hemisphäric asymmetries of inattention (neglect). *Neurology, 30*, 327-330.

Heilman, K. M., Watson, R.T., Valenstein, E., Goldberg, M.E. (1987). Attention: Behavior and neural mechanisms. In V. B. Mountcastle, Plum, F., Geiger, S.R. (Ed.), *Handbook of Physiology: The Nervous System* (pp. 461-481). Bethesda, MD.: American Physiological Society.

Heinze, H. J., Luck, S.J., Hillyard, S.A. (1990). Visual event-related potentials index focused attention within bilateral stimulus arrays. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology, 2*, 23-34.

Hellige, J. B. (1976). Changes in same-different laterality patterns as a function of practice and stimulus quality. *Perceptual Psychophysiology, 20*, 267-273.

Hellige, J. B., Cox, P.J., Litvac, L. (1979a). Information processing in the cerebral hemisphäres: Selective hemisphäric activiation and capacity limitations. *Journal of Experimental Psychology, 108*, 251-279.

Hellige, J. B., Webster, R. (1979b). Right Hemisphäre Superiority for Inital Stages of Letter Processing. *Neuropsychologia, 17*, 653-660.

Hellige, J. B. (1986). Visual Laterality and the Acuity Gradient: Potential Artifacts and Procedures. *Brain and Language, 5*, 369-376.
Hellige, J. B., Jonsson, J.E., Michimata, C. (1988). Processing vom LVF, RVF and bilateral presentations: Examinations of metacontrol and interhemisphäric interaction. *Brain and Cognition, 7*, 39-53.

Hellige, J. B. (1990). Hemisphäric asymmetry. *Annual Review of Psychology, 41*, 55-80.

Hellige, J. B. (1996). Divided Visual Field Technique. In J. G. Beaumont, Kenealy, P.M.,

Rogers, M.J.C. (Ed.), *The Blackwell Dictionary of Neuropsychology* (pp. 286-290). Blackwell, Oxford.

Hermelin, B., O'Connor, N. (1971). Functional asymmetry in the reading of Braille. *Neuropsychologia, 9*, 431-435.
Hillyard, S., Picton, T.W. (1987). Electrophysiology of cognition. In F. Plum (Ed.), *Handbook of Physiology Section 1: The Nervous System* (Vol. V Higher Functions of the Brain, pp. 519-584). Washington, D.C.: American Physiological Society.

Hillyard, S. A. (1973). The CNV and human behavior. In W. C. McCallum, Knotts, J.R. (Ed.), *Event-Related Slow Potentials of the Brain. Their Relation to Behavior.* (pp. 161-171). New York: Academic Press.

Hillyard, S. A., Munte, T.F. (1984). Selective attention to color and locational cues. An analysis with event-related potentials. *Perception and Psychophysiks, 36*, 185-198.

Hillyard, S. A., Munte, T.F. (1984a). Selective Attention to Color and Locational Cues. An Analysis with event-related brain potentials. *Perception and Psychophysics, 36*, 185-198.

Hines, D., Fennel, E.B., Bowers, D., Satz, P. (1980). Left-handers show greater test-retest variability in auditory and visual asymmetry. *Brain and Language, 10*, 208-211.

Hirschman, R. S., Safer, M.A. (1982). Hemisphäric differences in perceiving positive and negative emotions. *Cortex, 18*, 569-580.

Hochberg, F. H., Lemay, M. (1978). Arteriographic correlates of handedness. *Neurology, 25*, 218-222.

Horn, J., Reitan, R.M. (1982). Effect of lateralized cerebral damage upon contralateral and ipsilateral sensorimotor performances. *Journal of Clinical Neuropsychology, 26*(6), 633-650.

Hugdahl, K. (Ed.). (1988). *Handbook of Dichotic Listening: Theory, Methods and Research.* Chichester: Wiley.

Hugdahl, K., Andersson, B. (1989). Visual half-field tests of lateralized letter presentations: Differences between preliterate and literate children. *International Journal of Neuroscience, 44*, 215-226.

Hugdahl, K. (1990). Brain Laterality - Beyond the Basics. *European Psychologist, 1*(3), 206-220.

Iaccino, J. L. (1993). *Left brain - right brain differences: inquiries, evidence, and new approaches.* Hillsdale: Erlbaum.

Johnson-Laird, P. N. (1983). *Mental Models: Towards a Cognitive Science of Language, Inference, and Consciousness.* Cambridge: Cambridge University Press.

Karlin, L. (1970). Cognition, preparation and sensory-evoked potentials. *Psychological Bulletin, 73*, 122-136.

Kayser, J., Tenke, C., Nordby, H., Hammerborg, D., Hugdahl, K., und Erdmann, G. (1997). ERP asymmetries to emotional stimuli in a visual half-field paradigm. *Psychophysiology, 34*, 414-426.

Kinsbourne, M. (1973). The control of attention by interaction between the cerebral hemisphäres. In S. Kornblun (Ed.), *Attention and Performance* (Vol. IV, pp. 239-256). New York, London: Academic Press.

Kinsbourne, M. (1975). The mechanism of hemisphäric control of the lateral gradient of attention. In P. M. A. Rabbitt, Dornic, S. (Ed.), *Attention and Performance* (pp. 81-97). London and New York: Academic Press.

Kinsbourne, M. (1978). *Asymmetrical function of the brain.* Cambridge, U.K.: Cambridge University Press.

Kirsner, K., Schwartz, S. (1986). Words and Hemifields: Do the hemisphäres enjoy equal opportunity? *Brain and Cognition, 5*, 354-361.

Knight, R. T., Scabini, D., Woods, D.L., Clayworth, C.C. (1989). Contributions of tempo-parietal junction to the human auditory P3. *Brain Research, 502*, 109-116.

Kok, A., van de Vijver, R., und Bouma , A. (1985). Effects of visual field and matching instruction on event-related potentials and reaction time. *Brain and Cognition, 4*, 377-387.

Kok, A. R., J. A. J. (1986). ERPs to laterally presented pictures and words in a semantic categorization task. *Psychophysiology, 23*, 672-683.

Kolb, B., Milner, B., Taylor, L. (1983). Perception of faces by patients with localized cortical exisions. *Canadian Journal Journal of Psychology, 37*, 8-18.

Kolb, B., Whishaw, I. Q. (1996). *Fundamentals of Human Neuropsychology.* (4 ed.). New York and Oxford: W.H. Freeman and Company.

Kostandov, E. A., Arzumanov, Y.L. (1986). The influence of subliminal words on functional hemisphäric asymmetry. *International Journal of Psychophysiology, 4*, 143-147.

Kutas, M., Petten C. van, Besson, M. (1988). Event-related potential asymmetries during the reading of sentences. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology, 69*, 218-233.

Kutas, M., Hillyard, A. S., Volpe, B. T., Gazzaniga, M. S. (1990). Late Positive Event-Related Potentials after Commissural Section in Humans. *Journal of Cognitive Neuroscience, 2*(3), 258-271.

Landis, T., Assal, G., Perret, E. (1979). Opposite cerebral hemisphäric superiorities for visual associative processing of emotional facial expressions and objects. *Nature, 278*, 739-740.

Landis, T., Cummings, J.L., Christen, L., Bogen, J.E., Imhof, H.G. (1986). Are unilateral right posterior cerebral lesions sufficient to cause prosopagnosia? Clinical and radiological findings in six additional patients. *Cortex, 22*, 243-252.

Lang, S. F., Nelson, C.A., Collins, P.F. (1990). Event-related potentials to emotional and neutral stimuli. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology, 12*, 946-958.

Larsen, J. P., Hoien, T., Lundberg, I., Odegaard, H. (1990). MRI evaluation of the size and symmetry of the planum temporale in adoloscents with developmental dyslexia. *Brain and Language, 24*, 267-275.

Laurian, S., Bader, M., Lanares, J., Oros, L. (1991). Topography of event-related potentials elicited by visual emotional stimuli. *International Journal of Psychophysiology, 10*, 231-238.

Ledlow, A., Swanson, J. M., und Kinsbourne, M. (1978). Reaction times and evoked potentials as indicators of hemisphäric differences for laterally presented name and physical matches. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 4*, 440-454.

Leiber, L. (1976). Lexical decisions in the right and left cerebral hemisphäres. *Brain and Language, 3*, 443-450.

Leventhal, H., Tomarken, A.J. (1986). Emotion: Today's problems. *Annual Review of Psychology, 37*, 565-610.

Levy, J., Trevarthen, C., Sperry, R.W. (1972). Perception of bilateral chimeric figures following hemisphäric disconnection. *Brain, 95*, 61-78.

Levy, J., Reid, M. (1976). Variations in writing posture and cerebral organization. *Science, 194*, 337-339.

Levy, J. (1983). Language, cognition, and the right hemisphäre: a response to Gazzaniga. *American Psychologist, 38*, 538-541.

Levy, J. (1985). Interhemisphäric collaboration: Single-mindedness in the asymmetric brain. In B. C.T. (Ed.), *Hemisphäric Function and Collaboration in the Child.* (pp. 11-31). New York: Academic Press.

Lomas, J., Kimura, D. (1976). Intrahemisphäric interaction between speaking and sequential manual activity. *Neuropsychologia, 14*, 23-33.

Ludwig, T. E., Jeeves, M.A., Norman, W.D., DeWitt, R. (1993). The bilateral field advantage on a letter-matching task. *Cortex, 29*, 691-713.

MacClone, J. (1980). Sex differences and human brain asymmetry. *Behavioral and Brain Sciences, 3*, 215-263.

Mackavey, W., Curcio, F., Rosen, J. (1975). Tachistoscopic word recognition performance under conditions of simultaneous presentation. *Neuropsychologia, 13*, 27-33.

Magliero, A., Bashore, T.R., Coles, M.G.H., Donchin, E. (1984). On the dependence of P300 latency on stimulus evaluation processes. *Psychophysiology, 21*, 171-186.

Mangun, G. R., Hillyard, S.A. (1990). Allocation of visual attention to spatial location: Tradeoff functions for event-related brain potentials and Detektion performance. *Perception and Psychophysics., 2*, 300-319.

Mannhaupt, H. R. (1983). Processing of Abstract and Concrete Nouns in a Laterilized Memory Search Task. *Psychological Research, 45*, 91-105.

McCallum, R. S., Glynn, S. M. (1979). Hemisphäric specialization and creative behavior. *Journal of Creative Behavior, 13*, 263-273.

McCarthy, G., Donchin, E. (1981). A Metric for Thought: A Comparison of P300 Latency and Reaction Time. *Science, 211*, 77-79.

McCarthy, G., Wood, C.C., Williamson, P.D., Spencer, D.D. (1989). Task-dependend field potentials in human hippocampal formation. *Journal of Neuroscience, 9*, 4253-4268.

McKeever, W. F., Huling, M.D. (1981). Lateral dominance in tachistoscopic word recognition performance obtained with simultaneous bilateral input. *Neuropsychologia, 9*, 15-20.

Molfese, D. L. (1983). Event Related Potentials and Language Process. In A. W. K. R. Gaillard, W. (Ed.), *Tutorials in ERP Research: Endogenous Components* (pp. 345-367): North-Holland Publishing Company.

Moore, W. H., Weidner, W.E. (1974). Bilateral tachistoscopic word perception in aphasic and normal subjects. *Perception and Motor Skills, 39*, 1003-1011.

Morgan, A. H., MacDonald, H., Hilgard, E.R. (1974). EEG alpha: lateral asymmetry related to task and hypnotizability. *Psychophysiology, 11*, 275-282.

Moscovitch, M., Scullion, D., Christie, D. (1976a). Early versus late stages of processing and their relation to functional hemisphäric asymmetries in face recognition. *Journal of Experimental Psychology, 2*, 401-416.

Moscovitch, M. (1976b). On the representation of language in the right hemisphäre of right-handed people. *Brain and Language, 3*, 47-71.

Näätänen, R. (1975). Selective Attention and evoked potentials in humans: A critical review. *Biological Psychology., 2*, 237-307.

Natale, M., Gur, R.E., Gur, R.C. (1983). Hemisphäric asymmetries in processing emotional expressions. *Neuropsychologia, 21*, 555-565.

Nebes, R. D. (1971). Superiority of the minor hemisphäre in commissurotomized man for the perception of part-whole relations. *Cortex, 7*, 333-349.

Neville, H. J., Kutas, M., und Schmidt, A. (1982). Event-related potential studies of cerebral specialization during reading. *Brain and Language, 16*, 300-315.

Newman, J. P. (1990). Effects of characterological anxiety and situational arousal on the solving of a color-word interference task: Hemisphäric processing implications. *International Journal of Neuroscience, 52*, 1-9.

Nordholz, H. (1999). Analyzer (Version 1.30). München: Brain Vision.

Oatley, K. (1978). *Perceptions and Representations: The Theoretical Bases of the Brain research and Psychology.* London: Methuen.
Ojemann, G. A. (1983). Brain Organization for Language from the Perspective of Electrical Stimulation Mapping. *Behavioral and Brain Sciences, 6*, 189-230.

Oldfield, R. C. (1971). The assessment and analysis of handedness: The Edinburgh Inventory. *Neuropsychologia, 9*, 97-113.

Peters, M. (1995). Handedness and its relation to other indicies of cerebral lateralization. In R. J. D. K. Hugdahl (Ed.), *Brain Asymmetry* (pp. 183-214). Cambridge: MA: MIT Press.

Picton, T. W. (1992). The P300 wave of the human event-related potential. *Journal of Clinical Neurophysiology, 9*, 456-479.

Pineda, J. A., Foote, S.L., Neville, H.J. (1989). Effects of locus coeruleus lesions on auditory: long-latency, event-related potentials in monkey. *Journal of Neuroscience, 9*, 81-91.

Pirozollo, J. F. (1977). Lateral asymmetries in visual perception: A review of tachistoscopic visual half-field studies. *Perception and Motor Skills, 45*, 695-701.

Pizzagalli, D. (1998). *Face, Word and Emotional Processing: EEG and ERP studies on emotions with a focus on personality.* Zurich: Zentralstelle der Studentenschaft.

Posner, M. I. (1980). Orienting and Attention. *Q. Journal of experimental Psychology., 32*, 3-25.

Pritchard, W. S. (1981). Psychophysiology of P300. *Psychological Bulletin, 89*, 506-540.

Rasmussen, T., Milner, B. (1977). The role of the early left brain injury in determining lateralization of cerebral speech functions. *Annals of the New York Academy of Sciences, 299*, 355-369.

Reuter-Lorenz, P., Davidson, R. J. (1981). Differential Contributions of the Two Cerebral Hemisphäres to the Perception of Happy and Sad Faces. *Neuropsychologia, 19*, 609-613.

Reuter-Lorenz, P., Givis, R.P., Moscovitch, M. (1983). Hemisphäric specialization and perception of emotion: evidence from right handers and from inverted non-inverted left-handers. *Neuropsychologia, 21*, 687-692.

Risberg, J. (1980). Regional Cerebral blood flow measurements by Xe-inhalation methology and applications in neuropsychology and psychiatry. *Brain and Language, 9*, 9-34.

Ritter, W., Vaughan, H.G. (1969). Averaged evoked responses in vigilance and discrimination: A reassessment. *Science, 164*, 326-328.

Rizzolatti, G., Buchtel, H.A. (1977). Hemisphäric superiority in reaction time to faces: a sex difference. *Cortex, 13*, 300-305.

Roberts, L. E., Rau, H., Lutzenberger, W., Birbaumer, N. (1994). Mapping P300 waves onto inhibition: go/nogo discrimination. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology, 92*, 44-55.

Rockstroh, B., Müller, M., Cohen, R., Elbert, T. (1992). Probing the functional brain state during P300-evocation. *Journal of Psychophysiology, 6*, 175-184.
Roschmann, R., Wittling, W. (1992). Topographic brain mapping of emotion-related hemisphäre asymmetries. *International Journal of Neuroscience, 63*, 5-16.

Rösler, F., Heil, M. (1991). Towards a functional categorization of slow waves: taking into account past and future events. *Psychophysiology, 28*, 344-359.

Ross, E. D., Mesulam, M. M. (1979). Dominant language function of the right hemisphäre? Prosody and emotional gesturing. *Archives of Neurology, 36*, 144-148.

Rössler, F. (1983). Endogenous ERP's and Cognition: Probes, prospects and pitfalls in matching pieces of the mind-body puzzle. In A. W. K. Galliard, Ritter, W. (Ed.), *Tutorials in event related potential research: Endogenous components.* (pp. 9-35). Amsterdam: North-Holland.

Ruchkin, D., Sutton, S. (1983). Positive slow wave and P300: Association and dissociation. In W. K. Gaillard, Ritter, W. (Ed.), *Tutorials in event-related potential research: Endogenous components* (pp. 233-250). Amsterdam: North-Holland.

Ruchkin, D. S., Johnson, R., Mahaffey, D., und Sutton, S. (1988). Toward a functional categorization of slow waves. *Psychophysiolgy, 25*, 339-353.

Rugg, M., Kok, A., Barrett, G., und Fischler, I. (1986). ERPs associated with language and hemisphäric specialization: A review. In R. Z. W. C. McCallum, und F. Denoth (Ed.), *Cerebral psychophysiogy: Studies in event-related potentials* (Vol. EEG Suppl. 38, pp. 273-300). Amsterdam: Elsevier.

Rugg, M. D., und Beaumont, J. G. (1978). Interhemisphäric asymmetries in the visual evoked response: Effects of stimulus lateralization and task. *Biological Psycholgy, 6*, 283-292.

Rugg, M. D. (1982). Electrophysical Studies. In J. G. Beaumont (Ed.), *Divided visual field studies of cerebral organisation.* London: Academic Press.

Rugg, M. D. (1983). The relationship between evoked potentials and lateral asymmetries of processing. In A. W. K. G. W. Ritter (Ed.), *Tutorials in ERP research: Endogenous components* (pp. 369-383): North Holland.

Rugg, M. D., Kok, A., Barrett, G., Fischler, I. (1985). ERP's associated with language and hermispheric specialization. Proceddings of the seventh international conference on event related potentials of the brain. *Supplement of Electroencephalography and Clinical Neurophysiology, 16*, 43-49.

Schlaug, G., Jäncke, L., Huang, Y., Steinmetz, H. (1995). In vivo evidence of structural brain asymmetry in musicians. *Science, 267*, 699-701.

Schmuller, J. (1980). Stimulus repitition in studies of laterality. *Brain and Language, 10*, 205-207.

Schupp, H. T., Lutzenberger, W., Rau, H., Birbaumer, N. (1994). Positive shifts of event-related potentials: a state of cortical disfasciliation as reflected by the startle reflex probe. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology, 90*, 135-144.

Schweinberger, S. R., Sommer, W. (1991). Contributions of stimulus encoding and memory search to right hemisphäre superiority in face recognition: Behavioral and electrophysical evidence. *Neuropsychlogia, 29*, 389-413.

Schweinberger, S. R., Sommer, W., Stiller, R.M. (1994). Event-related potentials and models of performance asymmetries in face and word recognition. *Neuropsychologia, 32*, 175-191.

Searleman, A. (1977). A review of right hemisphäre linguistic capabilities. *Psychological Bulletin, 84*, 503-528.

Segalowitz, S. J., Cohen, H. (1989). Right hemisphäre EEG sensivity to speech. *Brain and Language, 37*(2), 220-231.

Seifert, J. (1999). EkpScan (Version 1.03). Trier: EEG-Labor Universität Trier.

Sergent, J. (1983). The role of input in visual hemisphäric asymmetries. *Psychological Bulletin, 93*, 481-512.

Sergent, J. (1995). Hemisphäric contribution to face processing: Patterns of convergence and divergence. In R. J. Davidson, Hugdahl, K. (Ed.), *Brain Asymmetry* (pp. 157-181). Cambridge: The MIT Press.

Shallice, T. (1988). *From Neuropsychology to Mental Structure.* Cambridge: Cambridge University Press.

Shelburne, G. (1972). This is not a love song. *Psychophysiology, 12*, 12-23.

Silberman, E. K., Weingartner, H. (1986). Hemisphäric lateralization of functions related to emotion. *Brain and Cognition, 5*, 322-353.

Smith, D. B. D., Donchin, E., Cohen, I., Starr, A. (1970). Auditory average evoked potentials in man during binaural listening. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology, 28*, 146-152.

Snyder, E., Hillyard, S.A., Galambos, R. (1980). Similarities and differences among the P3 waves to detected signals in three modalities. *Psychophysiology, 17*, 112-122.

Speaks, C., Niccum, N., Carney, E. (1982). Statistical properties of responses to dichotic listening with CV nonsense syllables. *Journal of the Acoustical Society of America, 72*, 1185-1194.

Springer, S. P., Deutsch, G. (1995). *Linkes/Rechtes Gehirn.* (3 ed.). Heidelberg, Berlin, Oxford: Spektrum Akademischer Verlag.

Stapleton, J. M., Halgren, E. (1987). Endogenous potentials evoked in simple cognitive tasks: Depth components and task correlates. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology, 67*, 44-52.

Strauss, E., Moscovitch, M. (1981). Perception of facial expressions. *Brain and Language, 13*, 308-332.

Strauss, E., Kosaka, B., Wada, J. (1983). The neurological basis of lateralized cerebral function: A review. *Human Neurobiology, 2*, 115-127.

Suberi, J., McKeever, W.F. (1977). Differential right hemisphäre storage of emotional and nonemotional faces. *Neuropsychologia, 15*, 757-768.

Sutton, S., Braren, M., Zubin, J., John, E.R. (1967). Information delivery and the sensory evoked potential. *Science, 155*, 1436-1439.

Teuber, H.-L. (1955). Physiological Psychology. *Annual Review of Psychology, 6*, 267-296.

Thatcher, R. W. (1977). *Evoked potential correlates of hemisphäric lateralization during semantic information processing.* New York: Academic Press.

Trevarthen, C., Sperry, R.W. (1973). Perceptual unity of the ambient visual field in human commissurotomy patients. *Brain, 96*, 547-570.

Tucker, D. M., Williamson, P.A. (1984). Asymmetric neural control systems in human self-regulation. *Psychological Review, 91*, 185-215.

Tucker, D. M., Liotti, M., Potts, G.F., Russel, G.S., Posner, M.I. (1994). Spatiotemporal analysis of brain electrical fields. *Human Brain Mapping, 1*, 134-152.

Umilta, C., Rizzolatti, G., Anzola, G.P., Luppino, G., Porro, C. (1985). Evidence of interhemisphäric transmission in laterality effects. *Neuropsychologia, 23*, 203-213.

Van de Vijver, F. R., Kok, A., Bakker, D.J., Bouma, A. (1984). Lateralization of ERP components during verbal dichotic information processing. *Psychophysiology, 21*, 123-134.

Van Strien, J. W., Heijt, R.,. (1995). Altered visual field asymmetries for letter naming and letter matching as a result of concurrent presentation of threatening and nonthreatening words. *Brain and Cognition, 29*, 187-203.

Vanderploeg, R. D., Brown, W.S., Marsh, J.T. (1987). Judgements of emotion in words and faces: ERP correlates. *International Journal of Psychophysiology, 5*, 193-205.

Verleger, R. (1988). A critique of the context updating hypothesis and an alternative interpretation of P3. *Behavioral and Brain Sciences, 11*, 343-356.

Ward, T. B., Ross, L.E. (1977). Laterality differences and practice effects under central backward masking conditions. *Memory and Cognition, 5*, 221-226.

White, M. J. (1972). Hemisphäric Asymmetries in Tachistoscopic Information-Procssing. *British Journal of Psychology, 63*, 497-508.

Witelson, S. L. (1977). Anatomical asymmetry in the temporal lobes: its documentation phylogenesis and relationship to functional asymmetry. *Ann N. Y. Academic Science, 299*, 328-356.

Wood, C. C., Goff, W.R., Day, R.S. (1971). Auditory evoked potentials during speech perception. *Science, 173*, 1248-1251.

Young, A. W. (1982). Methodological and Theoretical Bases of DVF-Studies. In J. G. Beaumont (Ed.), *Divided visual field studies of cerebral organisation.* London: Academic Press.

Young, A. W., Hay, D.C., McWeeny, K.H. (1985). Right cerebral hemisphäre superiority for constructing facial representations. *Neuropsychologia, 23*(2), 195-202.

Young, J. Z. (1962). Why do we have two Brains. In M. V.B. (Ed.), *Interhemisphäric Relations and Cerebral Dominance* (pp. 7-24). Baltimore: The John Hopkins Press.

Gusterath, den 18.11.2000

## ERKLÄRUNG

Hiermit erkläre ich, daß ich die vorliegende Arbeit selbständig verfaßt und keine anderen Hilfsmittel als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel verwendet und die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Gedanken als solche kenntlich gemacht habe.

Alexander Lürken