

Aus der Klinik und Poliklinik für Psychiatrie und Psychotherapie

Direktor: Prof. Dr. H.-J. Möller

Abteilung für Klinische Neurophysiologie

Leitung: Prof. Dr. U. Hegerl

Wahrnehmung emotionaler Reize:
akustisch evozierte Potentiale, LORETA-Analyse zentraler Generatoren und Einfluss von
Persönlichkeitsfaktoren

Dissertation zum Erwerb des Doktorgrades der Medizin an der Medizinische Fakultät der
Ludwig- Maximilians- Universität zu München

Vorgelegt von
Verena Mittermeier
aus Dingolfing

Jahr 2007

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität München

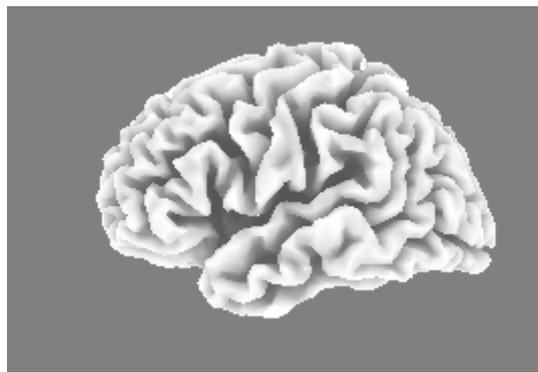
Berichterstatter: Prof. Dr U. Hegerl

Mitberichterstatter: Prof. Dr. E. Pöppel
Prof. Dr. A. Straube

Mitbetreuung durch den
promovierten Mitarbeiter: Dr. med. Christoph Mulert

Dekan: Prof. Dr. med. D. Reinhardt

Tag der mündlichen Prüfung: 1.2.2007



Verena Mittermeier

Wahrnehmung emotionaler Reize:
akustisch evozierte Potentiale, LORETA-Analyse zentraler Generatoren und
Einfluss von Persönlichkeitsfaktoren

1. Einleitung	1
1.1. Emotion und Aufmerksamkeit	1
1.1.1. Zum Begriff der „Emotion“	1
1.1.1.1. Historisches	1
1.1.1.2. Das „syndromatische“ Emotionskonzept nach Scherer	2
1.1.2. Die Kontrolle der Verarbeitung neutraler und emotionaler Reize durch das Aufmerksamkeitssystem	3
1.1.2.1. Das „biased competition“ Modell nach Desimone und Duncan	3
1.1.2.2. Die Erweiterung des Modells auf emotionale Reize	3
1.2. Persönlichkeit	5
1.2.1. Klassifikationen der Persönlichkeit	6
1.2.1.1. Persönlichkeitsfaktoren	6
1.2.1.2. Persönlichkeitstypen	7
1.2.2. Das Temperament	7
1.2.3. Die Theorie von Eysenck (1916-1997)	8
1.2.4. Das NEO-Fünf-Faktoren-Inventar nach Costa und McCrae	8
1.3. Methoden und Ergebnisse der neurophysiologischen Untersuchung der Wahrnehmung emotionaler Reize und neurophysiologischer Korrelate von Persönlichkeitsmerkmalen	10
1.3.1. Verschiedene technische Möglichkeiten der wissenschaftlichen Erforschung von Gehirnfunktionen	10
1.3.1.1. Bildgebende Verfahren (PET, fMRT)	10
1.3.1.2. Konventionelles EEG, ereigniskorrelierte Potentiale und deren Lokalisation mit Hilfe der indirekten Bildgebung (LORETA)	11
1.3.1.3. Simultane Messung von ereigniskorrelierten Potentialen mit der fMRT	12
1.3.2. Neurophysiologische Korrelate der Wahrnehmung emotionaler Reize	13
1.3.2.1. Die Komplexität von Konzepten und Methoden in der Neurowissenschaft	13
1.3.2.2. Ergebnisse aus fMRT-, PET- und Läsionsstudien	14
1.3.2.2.1. Die Wahrnehmung visueller emotionaler Reize	14
1.3.2.2.2. Die Wahrnehmung verbaler und non-verbaler akustischer emotionaler Reize	18
1.3.2.3. Evozierte Potentiale bei emotionalen Reizen	21
1.3.2.3.1. Visuell evozierte Potentiale (VEP)	21
1.3.2.3.2. Akustisch evozierte Potentiale (AEP)	23
1.3.3. Neurophysiologische Korrelate von Persönlichkeitsmerkmalen	25
1.3.3.1. P300 und Persönlichkeit- Reize ohne emotionalen Inhalt	26
1.3.3.2. Persönlichkeit im Zusammenhang mit emotionalen Paradigmen	27
1.3.3.2.1. Zentrales und autonomes Nervensystem im Kontext der Persönlichkeitsinteraktion bei emotionalen Paradigmen	27
1.3.3.2.2. Die Null-Korrelationen	28
1.3.3.2.3. Persönlichkeitseinflüsse auf neuronale Aktivität in fMRT Studien bei emotionalen Paradigmen	28
1.4. Fragestellung	29

2. Methodik	31
2.1. Die Probanden	31
2.2. Die Paradigmen	32
2.2.1. Das Wahlreaktionsparadigma Töne	32
2.2.2. Das Wahlreaktionsparadigma Silben	33
2.2.3. Das Wahlreaktionsparadigma Worte	33
2.2.4. Technische Probleme bei den Wahlreaktionen	34
2.3. Die Entwicklung und Validierung des Silben-Paradigmas	35
2.3.1. Die Probanden	35
2.3.2. Paradigma-Entwicklung und -Validierung	35
2.3.3. Ergebnis	39
2.4. EEG-Aufzeichnung und evozierte Potentiale	39
2.4.1. EEG-Aufzeichnung	39
2.4.2. Auswertung und Parametrisierung	39
2.5. LORETA	41
2.5.1. Der Lösungsansatz für das inverse Problem mit LORETA	41
2.5.2. Die Verwendung des Talairach-Atlas	42
2.6. Persönlichkeitstest (NEO-Fünf-Faktoren-Inventar)	43
2.7. Biometrie und Statistik	43
3. Ergebnisse	44
3.1. Reaktionszeitmessung	44
3.1.1. Alle Probanden	44
3.1.2. Durchschnittliche Reaktionszeiten der einzelnen Gruppen	44
3.2. Evozierte Potentiale	44
3.2.1. Die Analyse der “early posterior negativity” (EPN)	44
3.2.2. Die Peak-Analyse der EPN 170	47
3.2.3. Hemisphärenunterschied bei emotionalen Paradigmen	48
3.3. Die Lokalisation mit LORETA	51
3.3.1. Lokalisation der EPN 170 mit LORETA	51
3.3.2. Lokalisation der EPN 290- Komponente mit LORETA	53
3.4. Zusammenhang der EPN 170 mit Persönlichkeitsmerkmalen	56

Inhaltsverzeichnis

3.4.1. Korrelationen der EPN 170 mit Persönlichkeitsmerkmalen	56
3.4.2. Vergleich der Gruppe der Extravertierten mit Introvertierten bei der EPN 170	59
4. Diskussion	62
4.1. Die „early posterior negativity“ (EPN)	63
4.2. Die Lokalisation mit LORETA	66
4.3. Der Zusammenhang der EPN 170 mit Persönlichkeitsmerkmalen	70
5. Zusammenfassung	72
6. Literaturverzeichnis	74
7. Danksagung	85

Einleitung

1. Einleitung

"There can be no knowledge without emotion. We may be aware of a truth, yet until we have felt its force, it is not ours. To the cognition of the brain must be added the experience of the soul."

Arnold Bennett (1867-1931)

(„Ohne Emotionen kann es kein Wissen geben. Wir können uns einer Wahrheit bewusst sein, aber bevor wir sie nicht in ihrer ganzen Gewalt gespürt haben, gehört sie uns nicht. Die Erkenntnis des Gehirns benötigt die Erfahrung der Seele.“)

1.1. Emotion und Aufmerksamkeit

1.1.1. Zum Begriff der „Emotion“

Emotionen, ihre Entstehung, ihre Bedeutung für das Leben des Menschen haben seit jeher die großen Denker aller Epochen beschäftigt. Emotionen sind nach heutiger Auffassung ein wichtiger Teil unseres Lebens.

Dennoch ist das Phänomen „Emotion“ schwer greifbar und so verwundert es nicht, dass eine einheitliche Begriffs-Definition kaum möglich ist.

Ein kurzer historischer Rückblick über die Emotionstheorien und eine Darstellung modernerer Emotionsmodelle soll die Entstehung der Vielfalt der heute verwendeten Arbeitstheorien, die der neurophysiologischen Forschung zugrunde liegen, veranschaulichen.

1.1.1.1. Historisches

Die Geschichte der Emotionsforschung hat eine weit zurückreichende Tradition in der Philosophie, die sich als Wissenschaft vom Seinsganzen über alle Einzelwissenschaften versteht. Die ersten frühen philosophischen Emotionskonzepte gehen von einer einzelnen dominanten Emotion aus (z.B. Altindien und Buddhismus: Alles Leben ist Leiden; Altchina: Harmonie, Ausgeglichenheit und glücklicher Seelenfrieden), bei Aristoteles (384-322 v.Chr.) findet man erstmals die Emotion auf mehreren Ebenen: Glück als höchstes Gut, Lust und Unlust als Begleiterscheinungen des Handelns.

Einleitung

Im stetigen Wandel ist das Emotionskonzept auch von der Renaissance an bis zum Zeitalter der Aufklärung.

René Descartes (1556-1650) versucht, ein möglichst einfaches naturwissenschaftliches Gefühlssystem zu entwickeln, das den Menschen als Maschine begreift.

Die Anhänger der Scholastik unterscheiden zwischen edlen, guten Emotionen und bösen Emotionen.

Kant (1724-1804) hingegen versucht, Gefühle als Krankheit des Gemüts ganz abzuwerten.

Das Bild der Emotionspsychologie des 19. Jahrhunderts ist ebenso uneinheitlich wie vielfältig. Ein wichtiger, häufig zitierter Vertreter dieser Zeit ist William James (1842-1910). Seine Theorie besagt, dass bestimmte Ereignisse eine unmittelbare körperliche Wirkung hervorrufen und erst das Bewusstsein dieser Veränderungen ein Gefühl erzeugt (Ulrich D, Mayring P, Psychologie der Emotionen, 1992).

Konzentration und Aufmerksamkeit beeinflussen die Wahrnehmung essentiell, die Missachtung einiger Dinge sei zur effektiven Beschäftigung mit anderen Dingen erforderlich. (James W, S. 403, 1890).

1.1.1.2. Das „syndromatische“ Emotionskonzept nach Scherer

Dieses Konzept bietet eine Unterteilung der Emotionskomponenten in fünf Subsysteme; 1. Informationsverarbeitungs-, 2. Versorgungs-, 3. Steuerungs-, 4. Aktions- und 5. Monitorsystem. Daraus entwickelt Scherer eine Arbeitsdefinition, die „Emotion“ als synchronisierte Zustandsveränderung der fünf Subsysteme durch „...diskrete Ereignisse oder Reize“ sieht und deutlich gegenüber „dauerhafter emotionaler Einstellung“ bezüglich Personen und Objekten und auch gegenüber „Stimmungen“ als langfristige Veränderungen einzelner Subsysteme abgrenzt. (Scherer, 1990, S. 4 ff)

Dieses Modell beinhaltet eines der wichtigsten Themen, die für Konzepte und Methoden in der Neurowissenschaft relevant sind: **Die sorgfältige Unterscheidung einer „Wahrnehmung von Emotion“ und der „Emotion“ per se.**

Einleitung

Die Präsentation emotionaler Reize ruft nicht notwendigerweise (nicht einmal wahrscheinlich) eine emotionale Reaktion hervor (Davidson RJ, Irwin W, 1999).

Das erste der Subsysteme, das Informationsverarbeitungssystem, ist nach Scherer für die Reizbewertung zuständig. Es überprüft dabei die Relevanz der Reize für den Organismus auf der Basis von „kognitiven“ Operationen, wie z. B. Wahrnehmung (Scherer, 1990, S. 4 ff; Vogel S, 1996).

Aktuelle neurophysiologische Untersuchungen beschäftigen sich damit, wie diese „kognitiven“ Operationen, wie z. B. Wahrnehmung emotionaler Reize kontrolliert und gesteuert werden.

1.1.2. Die Kontrolle der Verarbeitung neutraler und emotionaler Reize durch das Aufmerksamkeitssystem

1.1.2.1. Das „biased competition“ Modell nach Desimone und Duncan

Viele verschiedene Reize strömen gleichzeitig auf das sensorische System ein und befinden sich im Wettstreit um neuronale Repräsentation im Gehirn. Dieser Prozess wurde am visuellen System untersucht und von Desimone und Duncan in Form des „biased competition model“ beschrieben (Desimone R, Duncan J, 1995). Nach diesem Modell wird der Wettbewerb unter verschiedenen Reizen um neuronale Repräsentation auf mehrere verschiedene Arten beeinflusst, einerseits durch einen sensorisch gesteuerten „bottom-up“ Mechanismus, wie zum Beispiel „stimulus salience“, andererseits durch einen „top-down“ Feedbackmechanismus, der in Regionen außerhalb des visuellen Systems lokalisiert sein soll. Dem Reiz, der den Wettbewerb um neuronale Repräsentation gewinnt, würde nach diesem Modell Zugang zu anderen Systemen (motorisches System und Gedächtnis) gewährt.

1.1.2.2. Die Erweiterung des Modells auf emotionale Reize

Aufbauend auf diesem Modell, das sich auf neutrale Reize bezieht, untersuchten Pessoa, Kastner und Ungerleider (2002) den Zusammenhang zwischen „valence“ und Aufmerksamkeit in Bezug auf Stimuli mit emotionalem Gehalt. „Valence“ oder Wertigkeit bedeutet in diesem Fall die Betrachtung eines Reizes entweder als positiv oder als negativ.

Einleitung

Die Wahrnehmung und ihre neuronalen Substrate können ganz aufgehoben werden, wenn die Ressourcen für Aufmerksamkeit gänzlich durch eine andere, schwierige Aufgabe in Anspruch genommen werden. Bislang war die gängige Meinung, dass sich diese Aussage lediglich auf neutrale Reize bezieht und emotionale Reize eine rühmliche Ausnahme darstellen. Es wurde berichtet, dass emotionsgeladene Reize „automatisch“, also ohne die Kontrolle durch Aufmerksamkeit verarbeitet werden.

Pessoa et al. (2002) untersuchten in einer fMRT-Studie die Alternativhypothese, dass die Verarbeitung emotionaler Reize nicht automatisch erfolgt, sondern eines gewissen Grades an Aufmerksamkeit bedarf. Der Fehler in vorangehenden Studien (Vuilleumier P et al., 2001) liege darin, dass die Aufgabenstellung nicht schwierig genug war, um die volle Aufmerksamkeit in Anspruch zu nehmen.

Deshalb wurde ein Paradigma entwickelt, das aus ängstlichen, glücklichen und neutralen Gesichtsausdrücken bestand, wobei die Probanden einmal ihre Aufmerksamkeit darauf richteten (attended task), einmal ihre Aufmerksamkeit durch eine andere, sehr schwierige Aufgabe vollständig in Anspruch genommen wurde (unattended task). Dabei wurden fMRT Aktivitäten gemessen und es zeigte sich, dass die Amygdala, welche als wichtige Struktur für die Verarbeitung emotionaler Reize (v.a. Furcht) bekannt ist (z.B. Phillips et al., 1998, Morris et al., 1998), beim „attended task“ im Vergleich zum „unattended task“ in der linken Hemisphäre gar nicht aktiviert wurde. Daraus folgt, dass emotionale Reize nicht automatisch verarbeitet werden, sondern ein gewisses Maß an Aufmerksamkeit brauchen.

Auch in anderen Gehirnregionen außerhalb der Amygdala wurden Effekte von „valence“ als Funktion von Aufmerksamkeit beobachtet. Sowohl in visuellen Verarbeitungszentren als auch in der Insel, im Nucleus accumbens, im anterioren cingulären Cortex und im orbitofrontalen Cortex wurden Aktivierungen in Abhängigkeit von Aufmerksamkeit registriert.

Daraus folgt, dass Gesichter mit emotionalem Ausdruck nur bei Vorhanden sein von Aufmerksamkeitsressourcen verarbeitet werden, somit ebenso wie neutrale Reize um die neuronale Repräsentation konkurrieren und daher keine privilegierte Kategorie von Reizen darstellen (Abb. 1).

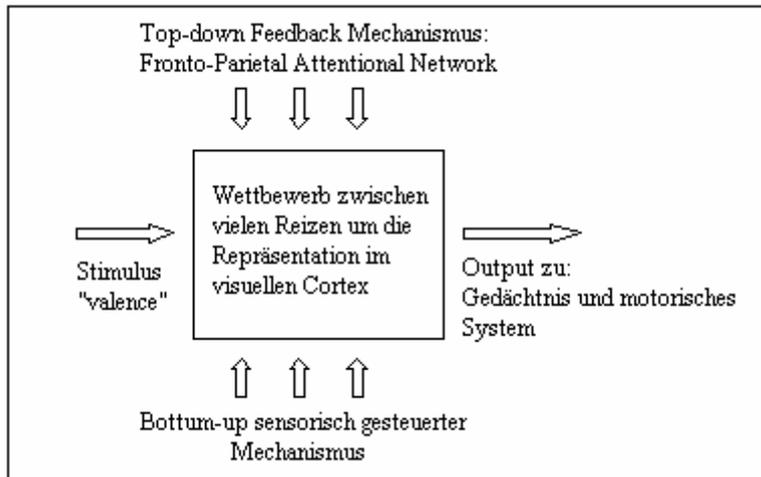


Abb.1: „Biased competition model“ visueller Aufmerksamkeit und der Verarbeitung emotionaler Reize. Gesichtsausdrücke müssen genauso wie neutrale Reize um neuronale Repräsentation konkurrieren (siehe Pfeil: Stimulus „valence“).

Emotionale Reize können aber dennoch den Wettbewerb um die Verarbeitungsressourcen beeinflussen, nämlich in der Form, dass sie gegenüber neutralen Reizen einen Vorteil erlangen. Auf dieselbe Art und Weise, wie Aufmerksamkeit bezüglich bestimmter Stimuli eine größere Aktivität hervorruft, so kann auch die „valence“ eine Aktivitätssteigerung in visuellen Verarbeitungszentren bedingen. Diese letztgenannte Aktivitätssteigerung reflektiert die „emotionale Modulation“ des Aufmerksamkeitssystems, wodurch emotionale Reize im Vergleich zu neutralen Reizen bevorzugt verarbeitet werden (Pessoa et al., 2002).

1.2. Persönlichkeit ¹

„Die Persönlichkeitspsychologie ist die empirische Wissenschaft von den überdauernden, nicht pathologischen, verhaltensrelevanten individuellen Besonderheiten von Menschen innerhalb einer bestimmten Population.“ (Asendorpf, 2004). Sie beschäftigt sich also mit Normvarianten der Persönlichkeit einschließlich verhaltensrelevanter genetischer und neuronaler individueller Besonderheiten. Das bedeutet, dass die Frage im Mittelpunkt steht, wie stark und warum sich Menschen voneinander unterscheiden, und nicht, was ihnen gemeinsam ist.

¹ aus Psychologie der Persönlichkeit, 3. Auflage (2004) Asendorpf

Einleitung

Eine Miteinbeziehung der Persönlichkeitspsychologie in die neurophysiologische Forschung hat das Ziel, neuronale individuelle Besonderheiten zu berücksichtigen.

Es existieren verschiedene Paradigmen der Persönlichkeit, also eine Ansammlung theoretischer Leitsätze, Fragestellungen und Methoden, die historisch entstanden sind und sich in ihrem allgemeinen Menschenbild und Persönlichkeitskonzept unterscheiden. Die Persönlichkeit einer Person wird demnach in den verschiedenen Paradigmen unterschiedlich definiert.

1.2.1. Klassifikationen der Persönlichkeit

Das variablen- und personenorientierte Eigenschaftsparadigma ist eines dieser Paradigmen. Es wurde vor allem durch William Stern (1871-1938) und Gordon Allport (1897-1967) begründet und stellt die Grundlage zweier wichtiger Klassifikationen der Persönlichkeit dar: Persönlichkeitsfaktoren und Persönlichkeitstypen.

1.2.1.1. Persönlichkeitsfaktoren

Aus variablenorientierter Sicht (es werden hierbei Eigenschaften klassifiziert, nicht Personen) wird versucht, die Vielfalt alltagspsychologisch repräsentierter Eigenschaften auf möglichst wenige, statistisch möglichst unabhängige Dimensionen zu reduzieren. Daraus entstanden entsprechende Persönlichkeitsinventare (z.B. Eysenck Personality Inventory). Jede Dimension wird durch eine Skala gemessen. Die Skalen entsprechen den Variablen, in denen sich Personen unterscheiden.

Im lexikalischen Ansatz von Norman und Goldberg wurde mit Hilfe aufwendiger Selbst- und Fremdbeurteilungen das gesamte Lexikon auf einen überschaubaren Satz von Eigenschaftsbezeichnungen reduziert und anschließend mittels Faktorenanalyse zu wenigen möglichst unabhängigen Faktoren verdichtet. Bei verschiedenen Reduktionsverfahren ergaben Faktorenanalysen fünf Faktoren, die als „Big Five“ bezeichnet werden: Neurotizismus/emotionale Instabilität, Extraversion, Liebenswürdigkeit/Verträglichkeit, Gewissenhaftigkeit, Kultur/Offenheit für Erfahrungen/Intellekt.

Einleitung

Die fünf Faktoren sind auch in Persönlichkeitsinventaren auffindbar, die nicht lexikalisch konstruiert wurden, z.B. im NEO-FFI von Costa und McCrae (1989; deutsche Fassung von Borkenau und Ostendorf, 1993).

1.2.1.2. Persönlichkeitstypen

In der Alltagspsychologie wird personenorientiert gedacht. Man klassifiziert nicht Eigenschaften, sondern Personen nach ihren Eigenschaften. Personen, die sich in ihren Eigenschaften ähnlich sind, gehören demselben Persönlichkeitstyp an. Das Problem besteht darin, die Vielfalt der Persönlichkeitsformen durch wenige Persönlichkeitstypen zu beschreiben. Zum Beispiel können zwei Typen durch sehr hohe oder niedrige Werte in einer Eigenschaftsdimension, z. B. der Big Five, definiert werden. Eine andere Möglichkeit, die alle Personen, nicht nur die Extremwerte klassifiziert, ist der „Median-Split“, der die Typen durch die obere bzw. untere Hälfte der Verteilung definiert. Zu beachten ist, dass die Typen dann nicht mehr extrem sind.

1.2.2. Das Temperament

Unter dem Temperament einer Person versteht man ihre individuellen Besonderheiten in Formaspekten ihres Verhaltens. Formaspekte des Verhaltens sind z.B. die Sensitivität gegenüber Reizen, die Intensität von Reaktionen oder die Regulation von internen Zuständen. Sie lassen sich durch die „drei A der Persönlichkeit“ zusammenfassen: Affekt, Aktivierung und Aufmerksamkeit. Diese Formaspekte werden letztlich in Parametern bestimmter Informationsverarbeitungsprozesse auf neurophysiologischer Ebene gesucht.

Übertragen auf das Big Five-Modell, beziehen sich Temperamentseigenschaften vor allem auf die ersten beiden Faktoren, nämlich emotionale Stabilität und Extraversion. Persönlichkeitspsychologische Temperamentskonzepte sind bislang aus verschiedenen Gründen nicht klar definiert. Die meisten Temperamentseigenschaften beziehen sich auf die Disposition, bestimmte Emotionen oder Stimmungen mehr oder weniger intensiv zu erleben. Andere definieren Temperamentseigenschaften nach ihrer langfristigen Stabilität und genetischen Fixierung. Wieder andere versuchen, Temperamentsmerkmale durch ihre Nähe zu „biologischen Prozessen“ zu charakterisieren. Damit ist der Zusammenhang zwischen

Einleitung

physiologischen Parametern und Temperamentsmerkmalen gemeint, der bisher nicht klar belegt werden konnte.

1.2.3. Die Theorie von Eysenck (1916-1997)

Die Temperamentstheorie von Eysenck besagt im Wesentlichen, dass die Temperamenteigenschaften in Dimensionen mit je zwei Polen variieren: Extraversion (extravertiert - introvertiert) und Neurotizismus (labil - stabil). Die Dimension Extraversion (E) entstand aus der Dimension „Stärke der Gemütsbewegung“ nach Wundt (1903), die Eysenck mit dem Typenkonzept Jungs von Introversion und Extraversion (1921) in Verbindung brachte. Die zweite Dimension Neurotizismus (N) leitete Eysenck aus der zweiten Achse von Wundt ab, nämlich „die Schnelligkeit des Wechsels der Gemütsbewegungen“.

Die selbstbeurteilten Eigenschaften E und N weisen praktisch bedeutsame Außenbeziehungen auf. Selbstbeurteilter Neurotizismus sagt negativen Affekt (Häufigkeit und Dauer negativer Emotionen) und Stressintensität vorher und gibt prognostische Hinweise auf subjektive psychische und somatische Beschwerden.

Selbstbeurteilte Extraversion sagt positiven Affekt (Häufigkeit und Dauer positiver Emotionen) und geselliges Verhalten vorher.

1.2.4. Das NEO-Fünf-Faktoren-Inventar nach Costa und McCrae

Die Dimensionen Neurotizismus und Extraversion erwiesen sich in fast allen Faktorenanalysen als robust. Es wurden verschiedene Fragebögen entwickelt, die diese Faktoren messen. Unter anderem sind sie im NEO-Fünf-Faktoren-Inventar nach Costa und McCrae enthalten.

Beim NEO-FFI handelt es sich um ein faktorenanalytisch konstruiertes Fragebogenverfahren, welches der Erfassung individueller Merkmalsausprägungen in den Bereichen Neurotizismus, Extraversion, Offenheit für Erfahrungen, Verträglichkeit und Gewissenhaftigkeit dient. Der Fragebogen besteht aus insgesamt 60 Fragen, die sich gleichmäßig mit je 12 Fragen auf die

Einleitung

fünf Merkmale verteilen, die sich folgendermaßen beschreiben lassen (die Beschreibungen charakterisieren jeweils das Merkmal bei hoher Punkteladung):

Neurotizismus: Die Probanden neigen dazu, nervös, ängstlich, traurig, unsicher und verlegen zu sein. Sie neigen zu unrealistischen Ideen und sind weniger in der Lage, ihre Bedürfnisse zu kontrollieren und auf Stresssituationen angemessen zu reagieren.

Extraversion: Die Probanden sind gesellig, aktiv, gesprächig, personenorientiert, herzlich, optimistisch und heiter. Sie mögen Anregungen und Aufregungen

Offenheit für Erfahrungen: Die Probanden zeichnen sich durch hohe Wertschätzung für neue Erfahrungen aus, sie interessieren sich für persönliche und öffentliche Ereignisse und sehen sich als kreativ, wissbegierig und phantasievoll.

Verträglichkeit: Die Probanden sind altruistisch, mitfühlend, verständnisvoll und wohlwollend. Sie neigen zu zwischenmenschlichem Vertrauen und haben ein starkes Harmoniebedürfnis.

Gewissenhaftigkeit: Die Probanden sind ordentliche, zuverlässige, hart arbeitende, disziplinierte, pünktliche, penible, ehrgeizige und systematische Personen.

Für jedes Item stehen fünf Antwortalternativen von „starke Ablehnung“ (0 Punkte) bis „starke Zustimmung“ (4 Punkte) zur Verfügung. Für die Auswertung werden die den Antworten zugeordneten Punktescores separat für jede Skala aufaddiert, wobei gegebenenfalls Items umzupolen sind.

Der Test empfiehlt sich zur Erschließung eines groben, aber vollständigen Überblicks über die Ausprägung der Probanden in den wichtigsten Dimensionen individueller Persönlichkeitsunterschiede (Borkenau P und Ostendorf F, 1993).

1.3. Methoden und Ergebnisse der neurophysiologischen Untersuchung der Wahrnehmung emotionaler Reize und neurophysiologischer Korrelate von Persönlichkeitsmerkmalen

1.3.1. Verschiedene technische Möglichkeiten der wissenschaftlichen Erforschung von Gehirnfunktionen

Zur wissenschaftlichen Erforschung der Gehirnfunktionen stehen heute verschiedene technische Möglichkeiten mit all ihren Vor- und Nachteilen zur Verfügung. Die aktuelle Forschung bedient sich einerseits der modernen Bildgebungsverfahren, andererseits hat die altbewährte, konventionelle EEG-Messung mit ihren modernen indirekten Lokalisationsanalysen (LORETA, Dipolquellenanalyse) ihren Stellenwert nicht verloren. Sie wurde sogar in ihrer Position gefestigt und durch aktuelle Versuche der Kombination von Methoden wieder ins Rampenlicht gerückt, da sie wesentliche Informationen über zeitliche Abläufe liefert und damit zu einem besseren Verständnis der Dynamik der Hirnaktivität führen könnte (Mulert et al., 2004).

Es werden nun die verschiedenen Methoden vergleichend erläutert. Anschließend werden Ergebnisse in den Bereichen der Wahrnehmung von Emotionen sowie neurophysiologische Korrelate von Persönlichkeitsmerkmalen dargestellt.

1.3.1.1. Bildgebende Verfahren (PET, fMRT)

Mit Hilfe der PET (**P**ositronenemissionstomographie) und fMRT (**f**unktionelle **M**agnetresonanztomographie) kann die Neuronen-Aktivierung im Gehirn durch die Messung der regionalen cerebralen Durchblutung ($O^{15}H_2O$ -PET), der neuronalen Stoffwechselaktivität (2-Desoxiglukose-PET) oder der Blutoxygenierung (BOLD-fMRI) registriert werden. Die $O^{15}H_2O$ -PET nutzt die Tatsache, dass aktive Neurone das gefäßerweiternde Stickoxid freisetzen. Durch die Injektion von radioaktiv markiertem Wasser können Bereiche mit erhöhter Durchblutung sichtbar gemacht werden. Ein weiteres PET-Verfahren misst die neuronale Aktivität anhand der Verstoffwechslung radioaktiv markierter 2-Desoxiglukose. Diese wird ebenfalls injiziert und reichert sich in aktiven Neuronen an. Die PET-Kamera liefert verschiedenfarbige Bilder, je nach Grad der neuronalen Stoffwechselaktivität. Die fMR-

Einleitung

Tomographie misst die erhöhte Sauerstoffversorgung infolge der gesteigerten Durchblutung. Die Signalintensität repräsentiert die hämodynamische Antwort in Regionen neuroelektrischer Massenaktivität, sie ist jedoch kein direktes Korrelat der elektrischen Aktivität und differenziert nicht zwischen exzitatorischer und inhibitorischer neuronaler Aktivität. Das Ergebnis der Messung ist ein Summenbild über mehrere Sekunden und erlaubt daher keine genauen zeitlichen Angaben zu den neuronalen Aktivitäten.

Der Messbereich der bildgebenden Verfahren umfasst im Gegensatz zum EEG auch tiefliegende Bereiche des Gehirns. Ein weiterer Vorteil ist die hohe räumliche Auflösung, die eine exakte Aktivierungslokalisierung zulässt, wobei die fMRT der PET in der räumlichen Auflösung überlegen ist. Außerdem ist die fMRT ein nichtinvasives Verfahren, das sowohl strukturelle als auch funktionelle Informationen bietet.

1.3.1.2. Konventionelles EEG, ereigniskorrelierte Potentiale und deren Lokalisation mit Hilfe der indirekten Bildgebung (LORETA)

Nur das EEG bildet unmittelbare Korrelate synchronisierter neuronaler Massenaktivität ab. Eine große Anzahl synchroner synaptischer Aktivität von Pyramidenzellen der Hirnrinde führt durch die kolumnäre Struktur der Hirnrinde mit gleicher elektrischer Ausrichtung zu an der Kopfhaut messbaren Potentialschwankungen, die mit Hilfe von Elektroden nichtinvasiv an der Kopfoberfläche zwischen den Elektroden gemessen werden können.

Ein entscheidender Vorteil des EEG gegenüber den bildgebenden Verfahren ist die hohe zeitliche Auflösung, die eine Analyse der Hirnfunktion im Millisekundenbereich erlaubt. Einzelne Komponenten eines Aktivierungsmusters können durch das klassische Verfahren der Messung von EEG-Amplituden und deren Latenzzeiten genauer untersucht werden.

Zur Überwindung der Lokalisationsproblematik von ereigniskorrelierten Potentialen steht mittlerweile neben der Dipolquellenanalyse nach Scherg (1991) die LORETA (low resolution brain electromagnetic tomography) nach Pascual-Marqui (1994) zur Verfügung. Die beiden Methoden beinhalten verschiedene Ansätze zur Lösung des inversen Problems, welches darin besteht, dass die am Skalp gemessene Information grundsätzlich nicht ausreicht, um daraus eine eindeutige Lokalisation der zugrunde liegenden zerebralen Generatoren zu bestimmen. Ohne weitere zusätzliche Annahmen ist das inverse Problem nicht eindeutig lösbar. Anders

Einleitung

verhält es sich beim „Vorwärts-Problem“: bei einer aktiven Hirnregion ist eine Skalpverteilung von Potentialen mathematisch eindeutig bestimmbar, wenn Annahmen über die elektromagnetische Feldausbreitung durch das Gehirn, den Schädel und die Kopfhaut z.B. durch ein 3-Schalen-Kopfmodell gemacht werden (Mulert 2002, S.12f).

Die Lösung des inversen Problems bzw. der Rückschluss von gemessenen Skalppotentialen auf deren zerebrale Generatoren erfordert also verschiedene einschränkende Annahmen. So ist bei der Dipolquellenanalyse eine Vorabfestlegung der Anzahl der Quellen vonnöten, was bei der Untersuchung höherer kognitiver Leistungen insofern stört, als die Anzahl der beteiligten Gehirnregionen bei komplizierten Denkprozessen anzahlmäßig eingeschränkt, oder gar vorhersehbar sein soll.

Auf diese Annahme verzichtet die LORETA. Sie geht von einer kontinuierlichen Dipolverteilung im gesamten Cortex aus.

Der LORETA-Algorithmus beinhaltet eine Annahme, die gleichzeitig auch eine Voraussetzung für die Messbarkeit der EEG-Aktivität auf dem Skalp darstellt: die „smoothness“-Annahme. Sie besagt, dass benachbarte Neurone zu einem bestimmten Zeitpunkt einen ähnlichen Ladungszustand haben.

Mathematisch ist mit LORETA eine eindeutige und genaue Berechnung lokaler Maxima im dreidimensionalen Raum möglich, die jedoch aufgrund der „smoothness“-Annahme im Vergleich zur fMRT (2mm^3) eine unscharfe räumliche Auflösung haben (14mm^3) (Vitacco et al., 2002).

Die ERP-Messung hat also durch die modernen Lokalisationsberechnungsverfahren in Verbindung mit der hohen zeitlichen Auflösung des EEGs im Millisekundenbereich wieder an Bedeutung gewonnen, jedoch bleibt das Defizit der Lokalisationsungenauigkeit. Das Zusammenführen der Methoden der fMRT und des EEG scheint ein vielversprechender Ansatz zu sein, um die jeweiligen Probleme in Zukunft besser zu überwinden.

1.3.1.3. Simultane Messung von ereigniskorrelierten Potentialen mit der fMRT

Bevor die vorteilhaften Eigenschaften der beiden Methoden simultan genutzt werden können, muss zunächst geklärt werden, ob ERP-Skalppotentiale und fMRT-BOLD-Kontrast-Antworten gleiche neuronale Netzwerke repräsentieren. LORETA ist eine geeignete Methode, um der Klärung dieser Frage näher zu kommen, da sie eine Lösung des inversen Problems im

Einleitung

dreidimensionalen Raum, dem Talairach-Lösungsraum (Talairach und Tournoux, 1988), anbietet. Das bedeutet, dass LORETA und fMRT denselben Lösungsraum haben.

In einer Studie von Mulert et al. (2004) wurde eine der ersten simultanen Messungen von EEG und fMRT durchgeführt und anschließend das P300-Potential analysiert. Die Lokalisationsanalysen der neuronalen Generatoren des P300-Potentials mit LORETA wiesen gute Übereinstimmung mit intrakraniellen Messungen und fMRT-Studien auf. Es wurde gezeigt, dass LORETA eine geeignete und korrekte Lokalisationsmethode für ereigniskorrelierte Potentiale ist, die zudem Aufschluss über den zeitlichen Verlauf von Aktivierungsmustern gibt (Mulert et al. 2004).

1.3.2. Neurophysiologische Korrelate der Wahrnehmung emotionaler Reize

1.3.2.1. Die Komplexität von Konzepten und Methoden in der Neurowissenschaft

Verschiedene emotionspsychologische Definitionen und verschiedene wissenschaftliche Messmethoden mit ihren überschneidungsfreien Bereichen erschweren den Vergleich der zahlreichen Forschungsergebnisse. Hinzu kommt schließlich noch eine hohe Variabilität der Versuchsanordnungen (z.B. unterschiedliche emotionale Intensität, Anzahl der Stimuli usw.) und der Anforderungen an die Probanden sowie die Betrachtung verschiedener sensorischer Systeme, z. B. des visuellen oder des auditorischen Systems, mit all den verschiedenen Stimulationsmöglichkeiten innerhalb eines Systems, um nur einige unterschiedliche Faktoren bei der Erforschung von Hirnfunktionen zu nennen.

Diese Vielfalt hat jedoch nicht nur Nachteile, sie bietet auch die Chance, Denk- und Verarbeitungsprozesse des Gehirns aus vielen Blickwinkeln zu betrachten und damit ihrer Komplexität gerecht zu werden.

Bislang ist nicht klar geworden, in welchem Ausmaß verschiedene Ergebnisse sensorisch-spezifische Beteiligungen der Hirnregionen oder eher methodische Diskrepanzen reflektieren. Selbst wenn die Aktivierung einer bestimmten Gehirnstruktur konstant über verschiedene sensorische Modalitäten beschrieben wird, so bleiben die Unterschiede in der Größenordnung, Lateralisierung oder spezifischen Lokalisation bezüglich ihrer Ursache (methodisch oder sensorisch) unklar (Royet et al., 2000).

Einleitung

Zur Bewahrung der Übersicht bietet sich eine getrennte Darstellung der Ergebnisse zweier häufig untersuchter sensorischer Systeme, des visuellen und des auditorischen Systems, an.

1.3.2.2. Ergebnisse aus fMRT-, PET- und Läsionsstudien

1.3.2.2.1. Die Wahrnehmung visueller emotionaler Reize

Die Präsentation von Gesichtern hat sich zur Untersuchung der Wahrnehmung von Emotionen stark etabliert, da der Mensch in der Lage ist, beim Registrieren eines Gesichts in kürzester Zeit die sogenannten „basic emotions“ (Glückseligkeit, Überraschung, Furcht, Ärger, Ekel und Trauer) zu identifizieren. Dieser Vorgang erfordert ein Zusammenspiel einer großen Anzahl von Hirnstrukturen, die zu verschiedenen Zeitpunkten multipel interagieren. Eine wichtige Rolle spielen dabei visuelle Cortices, orbitofrontaler Cortex, Amygdala, anteriorer cingulärer Cortex, Insel und Basalganglien u.a. (Adolphs, 2002).

Visuelle Cortices

Occipitale und posteriore temporale visuelle Cortices spielen eine entscheidende Rolle bei der Verarbeitung emotional relevanter visueller Reize. Der fusiforme und superiore temporale Gyrus übernehmen dabei eine Schlüsselrolle in der Gesichtsdetektion, wobei der fusiforme Gyrus vor allem bei der Registrierung statischer Anteile (Identität) eines Gesichts involviert sein soll, während der superiore temporale Gyrus beim Registrieren von dynamischen, veränderlichen Anteilen (Ausdruck) eines Gesichts aktiviert wird (Haxby et al., 2000).

Orbitofrontaler Cortex

Die Aktivierung des orbitofrontalen Cortex u.a. wurde beim Vergleich von ängstlichen und neutralen Gesichtern festgestellt. In einer Studie von Vuilleumier et al. wurden den Probanden unter verschiedenen Aufmerksamkeitsbedingungen ängstliche und neutrale Bilder gezeigt. Von besonderem Interesse war die Interaktion von Aufmerksamkeit und emotionaler Aktivierung in prefrontalen Regionen. Diese werden im Gegensatz zur Amygdala verstärkt bei emotionalen Reizen aktiviert, wenn das Paradigma kognitiven Anspruch an den Probanden enthält (Vuilleumier et al., 2001).

Einleitung

Amygdala

Die Amygdala wurde sehr häufig im Zusammenhang mit der Wahrnehmung negativer Affekte, im Besonderen mit furchtsamen Gesichtsausdrücken diskutiert. So haben Adolphs et al. (1996) an Patienten mit bilateraler Amygdala-Läsion gezeigt, dass die Wahrnehmung von furchtsamen Gesichtern im Vergleich zu anderen Gesichtsausdrücken gestört war.

In einer anderen Studie wird von einem Patienten mit halbseitiger kortikaler Blindheit berichtet, der in der Lage ist, ängstliche Gesichter in seinem blinden Sehfeld zu erkennen, wobei Amygdalaaktivierungen gemessen wurden. Die Ergebnisse sprechen dafür, dass die Amygdala am Emotionserkennungsprozess mit verschiedenen input-Mechanismen beteiligt ist, einerseits mit dem kortikalen Mechanismus über den visuellen Cortex, andererseits mit einem subkortikalen Weg über den Colliculus superior und den posterioren Thalamus (Morris et al., 2001).

An einem weiteren Patienten mit visuellem Ausfall konnte in einer fMRT-Untersuchung demonstriert werden, dass die Amygdala durch emotionale Reize (furchtsame Gesichter) sogar ohne Bewusstsein des Patienten aktiviert werden kann (Vuilleumier et al., 2002).

Funktionelle Bildgebungsstudien bestätigen ebenfalls, dass die Amygdala bei furchtsamen Gesichtern im Vergleich zu glücklichen, ärgerlichen oder Ekel ausdrückenden Gesichtern überproportional aktiviert wird (Morris et al., 1996; Whalen et al., 2001; Phillips et al., 1998). Inkonsistente Berichte über Lateralisierungseffekte sowie über die Amygdalaaktivierung bei affektgeladenen Reizen im allgemeinen, nur bei negativen Affekten oder speziell bei Furcht lassen vermuten, dass die Amygdala keine in sich einheitliche Struktur ist, sondern wiederum in verschiedene Unterregionen mit verschiedenen Funktionen unterteilt werden kann. Für eine derartige Differenzierung reicht das derzeitige Auflösungsvermögen der fMRT nicht aus (Davidson und Irwin, 1999).

Außerdem scheint die Amygdalaaktivierung von einem eher passiven, impliziten Wahrnehmungsprozess abzuhängen, da eine kognitiv anspruchsvolle Aufgabe während der Präsentation von Gesichtsausdrücken zu einer Deaktivierung der Amygdala führt (Pessoa et al., 2002; Critchley et al., 2000), die möglicherweise durch den inhibitorischen Einfluss des frontalen Cortex bedingt ist (Adolphs, 2002).

Einleitung

Anteriorer cingulärer Cortex (ACC)

Der ACC wird u.a. aufgrund neuerer Untersuchungen mit fMRT, PET, ereigniskorrelierten Potentialen und Läsionsstudien in zwei unterschiedliche Bereiche eingeteilt: den „kognitiven“, dorsal gelegenen Bereich und den „affektiven“, ventralen Bereich (Bush et al., 2000). Der affektive Bereich beinhaltet ventrale und rostrale Teile des ACC (Brodmann Area 25, 32, 33 und rostrale Area 24). Er hat Verbindungen zum limbischen System und ist u.a. bei der Regulation emotionaler Reaktionen aktiv. Die dorsale, kognitive Untereinheit des ACC schließt die kaudalen Bereiche der Area 24 und 32 sowie den cingulären motorischen Cortex (CMA) ein. Sie hat Verbindungen zum dorsolateralen präfrontalen Cortex, zum parietalen Cortex sowie zu supplementär motorischen Cortices und ist bei der Verarbeitung kognitiv anspruchsvoller Informationen und der Entscheidungsfindung aktiv (Pizzagalli et al., 2005).

Um die Existenz der beiden verschiedenen Untereinheiten des ACC (kognitiv und emotional) zu testen, wurden zwei verschiedene „Counting-Stroop“-Paradigmen (der Proband gibt die Anzahl der visuell präsentierten Wörter per Knopfdruck an, ohne auf den Inhalt zu achten) entwickelt. Beim „kognitiven Counting-Stroop“ wurden neutrale Wörter verwendet, deren präsentierte Anzahl der Proband per Knopfdruck anzuzeigen hatte, wohingegen beim „emotionalen Counting-Stroop“ Wörter mit emotionalem Inhalt verwendet wurden (Bush et al., 1998; Whalen et al., 1998).

Wie erwartet wurde bei der kognitiven Version des Counting-Stroops die kognitive Untereinheit und bei der emotionalen Version des Counting-Stroops die affektive Untereinheit des ACC aktiviert. Umgekehrt wurde beim reziproken Suppressionsmodell bei Aktivierung des einen Bereichs zusätzlich eine Suppression des jeweils anderen Bereichs beobachtet (Whalen et al., 1998; Drevets und Raichle, 1998). Eine spezifische Rolle bei der Emotionsverarbeitung konnte dem affektiven Anteil des ACC bisher noch nicht zugeschrieben werden. Eine Weiterentwicklung des emotionalen Stroop-Paradigmas, z. B. in der Form, dass der emotionale Inhalt der präsentierten Stimuli beachtet und bewertet werden soll, könnte einen weiteren Beitrag dazu leisten, den emotionalen Verarbeitungsprozess differenzierter zu betrachten (Bush et al., 2000).

Einleitung

Insel und Basalganglien

Die Aktivierung des insulären Cortex (ein viszeraler somatosensorischer Cortex) wurde in mehreren funktionellen Bildgebungsstudien beim Betrachten von Ekel ausdrückenden Gesichtern beobachtet (Phillips et al. 1997; 1998). Dies könnte auf die topographische Organisation des insulären Cortex, der einen Bereich für die Verarbeitung von Geschmacksreizen beinhaltet, zurückzuführen sein (Davidson und Irwin, 1999). Zwei Läsionsstudien sprechen ebenfalls dafür, dass die Insel bei der Verarbeitung von ekelbezüglichen Informationen eine Rolle spielen könnte. Calder et al. (2000) untersuchten einen Patienten mit Schäden in den linken Basalganglien und der linken Insel. Neben der Fähigkeit, Ekel ausdrückende Gesichter zu identifizieren, war bei diesem Patienten auch das Empfinden von Ekel selbst gestört.

Ein anderer Patient mit bilateralem Defekt des insulären Cortex und zusätzlichen ausgedehnten Temporallappenschäden zeigte starke Defizite im Erkennen jeglicher Emotionen an statischen Abbildungen von Gesichtern, besonders Ekel; er konnte Emotionen lediglich auf dem Level „angenehm-unangenehm“ unterscheiden (Adolphs et al., 2002).

Es scheint plausibel, dass zur Emotionsverarbeitung, besonders der Emotion „Ekel“, die Integrität mehrerer Regionen vonnöten ist. Dafür, dass die Basalganglien ebenfalls Teil dieses neuronalen Netzwerkes sein dürften, sprechen auch die emotionalen Defizite bei Patienten mit Chorea Huntington, die ebenfalls eine starke Minderung der Fähigkeit aufweisen, Ekel in einem Gesichtsausdruck zu identifizieren (Sprengelmeyer et al., 1996).

Eine andere Betrachtung des insulären Cortex fokussiert seine Funktion als Repräsentant viszeraler Veränderungen. Es ist bekannt, dass die Insel Afferenzen von Zentren des autonomen Systems erhält und Efferenzen zu einer großen Anzahl von Gehirnregionen abgibt, die für die Regulation autonomer Reaktionen zuständig sind. Möglicherweise könnte die Inselaktivierung bei emotionalen Reizen auch auf Änderungen im autonomen System im Sinne eines viszeralen Feedbacks beruhen (Davidson und Irwin, 1999).

Einleitung

1.3.2.2.2. Die Wahrnehmung verbaler und non-verbaler akustischer emotionaler Reize

Die Wahrnehmung von Emotionen in akustischen Reizen scheint im Allgemeinen schwieriger zu sein, als das Erkennen von Affekten in einem Gesicht. Zum Beispiel ist die Wahrnehmung von Emotion in einer menschlichen Stimme von verschiedenen Komponenten abhängig, die in unterschiedlichen Gehirnregionen verarbeitet werden. Die Anzahl der verfügbaren Hinweise (wie z.B. Rhythmus, Intonation, Betonung usw.), die zu einer Identifikation von Emotion führen, ist groß und erfordert komplexe Interaktionen (Scherer et al., 1991).

Die Art der Stimuli und ihre emotionale Intensität sind sehr variabel. Die akustischen Präsentationen, die zur Wahrnehmung von Affekt führen sollen, reichen von berstenden Glasscheiben und menschlichen Lauten (z.B. das Weinen eines Kindes) bis zu gesprochenen Worten oder ganzen Sätzen mit affektivem Inhalt (Phan et al., 2002). Welche Komponenten der Stimuli entscheidend für die Wahrnehmung der Emotion sind, bleibt bislang unklar. Die Rolle bestimmter Regionen, die beim visuellen System im Zusammenhang mit Emotionswahrnehmung ermittelt wurden, ist in der auditorischen Domäne wahrscheinlich aufgrund der wesentlich geringeren Anzahl an Studien ebenfalls nicht klar (Adolphs, 2002).

Diverse Ergebnisse bei non-verbale emotionalen Reizen

In einer PET-Studie von Morris et al. wurde die neuronale Aktivität während der Präsentation von traurigen, glücklichen, furchtsamen und neutralen non-verbale Lauten gemessen, während die Probanden eine kognitive geschlechtsunterscheidende Aufgabe ausführten. Die Ergebnisse sprechen für ein komplex interagierendes Netzwerk, das den Nucleus caudatus, die anteriore Insel und temporale wie ventrale präfrontale Cortices einschließt. Speziell bei der Wahrnehmung von furchtsamen Lauten konnte eine Deaktivierung der rechten Amygdala sowie eine Aktivierung der linken Insel beobachtet werden (Morris et al., 1998).

Mit der Wahrnehmung von non-verbale Reizen beschäftigten sich auch Phillipps et al. in einer fMRT-Studie. Sie präsentierten ihren Probanden Ausrufe, die Angst, Ekel, Lachen und leichte Freude ausdrückten, während die Probanden wie bei der Studie von Morris et al. eine geschlechtsunterscheidende Aufgabe absolvierten. In Einklang mit entsprechenden visuellen Versuchen konnten sie Amygdalaaktivierung bei Angst feststellen. Außerdem vermuten die Autoren eine Rolle des superioren temporalen Gyrus bei der Wahrnehmung emotionaler

Einleitung

Reize im Allgemeinen, da diese Region konstant über mehrere sensorische Modalitäten aktiviert wurde. Weiterhin wird von einer auditorisch spezifischen Aktivierung präfrontaler Cortices und des Thalamus berichtet (Phillipps et al., 1998).

In einer neueren fMRT-Studie wurden ebenfalls non-verbale Reize präsentiert (Lachen und Weinen), während einmal die Probanden emotionale Assoziationen selbst induzieren sollten und einmal die Aufmerksamkeit der Probanden durch eine kognitive Aufgabe vom emotionalen Kontext abgelenkt wurde. Dabei mussten die Probanden zwischen künstlich veränderten Tonhöhen im Lachen und Weinen richtig unterscheiden. Beide Bedingungen führten zu einer bilateralen Amygdalaaktivierung mit einem leichten Vorteil für die rechte Hemisphäre sowie zu einer Aktivierung des akustischen Cortex und der Insel (Sander et al., 2003).

Non-verbale Agnosie mit Perseveration anderer sprachlicher Fähigkeiten wurde bei einer Patientin mit umschriebenem bilateralem Infarkt des insulären Cortex beschrieben. Nach einer anfänglichen „stummen Phase“ entwickelten sich wieder fast normale Sprachfertigkeiten mit intaktem Sprachverständnis und Artikulation, wobei die starke Agnosie für non-verbale Laute (z.B. bekannte Melodien) bestehen blieb. Weitere Defizite waren bei kognitiven Aufgaben erkennbar, bei denen sie weit unter dem Durchschnitt lag. Zusammenfassend wird in dieser Studie vorgeschlagen, dass der insuläre Cortex zwischen verschiedenen komplexen neuronalen Systemen der verbalen und non-verbalen Reizanalyse vermittelt und an der Feinregulation im Aufmerksamkeitssystem beteiligt ist (Habib et al., 1994).

Ergebnisse bei verbalen emotionalen Reizen

In einer Studie von Maddock et al. (2003) wurden positive, negative und neutrale Wörter präsentiert, während die Probanden ihre Aufmerksamkeit auf den emotionalen Inhalt lenken und eine wertenden Entscheidung hinsichtlich positiv, negativ oder neutral treffen sollten. Bei der Bewertung emotionaler Worte wurde im Vergleich zu neutralen Worten der posteriore cinguläre Cortex bilateral aktiviert. Bei der Evaluation der emotionalen Bedeutung der Worte wurde außerdem das stärkste lokale Maximum im subgenualen cingulären Cortex gemessen. Weitere signifikante Aktivierungen zeigten sich in orbitalen, medialen und inferioren

Einleitung

frontalen Cortices, sowie in rechter Amygdala und auditorischem Cortex bei unangenehmen und linkem Frontalpol bei angenehmen Worten.

Der inferiore frontale Gyrus, der dorsale ACC und der subgenuale cinguläre Cortex wurden auch in einer Studie aktiviert, bei der ebenfalls emotionale Worte präsentiert wurden, wobei die Probanden ihre Aufmerksamkeit auf die entsprechenden Reize lenkten und den emotionalen Inhalt bewerteten. Allerdings handelte es sich hier um eine visuelle Präsentation der Worte (Elliott et al., 2000).

Frontoparietale Regionen in Verbindung mit den Basalganglien scheinen bei der Verarbeitung von Prosodie (= melodische Linie der Sprache, die aus Metrik, Rhythmik und Intonation entsteht) eine wichtige Rolle zu spielen (Adolphs et al., 2002; Buchanan et al., 2000).

In einer Studie mit 18 Schlaganfallpatienten mit aprosodischen Syndromen wurde u.a. die Identifikation von Emotion in verschiedenen emotional intonierten Sätzen mit neutralem semantischen Inhalt getestet. In den meisten Fällen von Aprosodie wurde die Beteiligung von Läsionen im Bereich von Basalganglien, anteriorem Temporallappen und Insel beschrieben (Cancelliere und Kertesz, 1990).

Einen weiteren Beitrag und eine interessante Theorie zur Emotionsverarbeitung liefert eine Läsionsstudie von Adolphs et al. (2003), die einen Patienten mit ausgedehnten bilateralen Schäden der Amygdala, medialer orbitofrontaler Cortices, inferiorer anterotemporaler Cortices, occipitoparietaler Cortices und vorderer insulärer Cortices auf seine emotionalen Wahrnehmungsprozesse hin untersucht. Interessanterweise konnte der Patient außer Glückseligkeit keine Emotionen von statischen Stimuli (Bilder von Gesichtern, einfache verbale Labels) identifizieren. Jedoch war er in der Lage, aus dynamischen Bildern und Geschichten, die Handlungen beschrieben, Grundemotionen mit Ausnahme von Ekel korrekt zu identifizieren.

Diese Beobachtungen führen zu der Annahme, dass zwei verschiedene neuronale Netzwerke für die Emotionsverarbeitung zuständig sind. Strukturen wie Amygdala, orbitofrontaler Cortex, temporale Cortices und Insel, die nun bereits mehrfach im Zusammenhang mit emotionaler Wahrnehmung diskutiert worden sind, spielen demnach für das Erkennen von Emotion aus statischen Reizen eine Rolle, während andere Regionen, die bei dem Patienten

Einleitung

noch intakt sind (occipitoparietale und dorsofrontale Cortices), an der Informationsverarbeitung bei dynamischen Stimuli beteiligt sind.

Die teils konsistenten, teils kontroversen Ergebnisse der bisher relativ wenigen unterschiedlichen Studien, die das akustische System beleuchtet haben, machen deutlich, dass die Erforschung emotionaler Wahrnehmung in vielen Bereichen noch erhebliche Lücken im System aufweist. Die funktionelle Bildgebung bietet zwar eine exzellente Lokalisation aktiver Hirnregionen, sie ist jedoch nur bedingt dafür geeignet, zeitliche Abläufe neuronaler Aktivität bei der sukzessiven Verarbeitung von Reizen zu messen. Außerdem bleiben schnelle, kürzer dauernde Wechsel von Erregung und Inhibition, die für die akustische Wahrnehmung entscheidend sein können, möglicherweise unbemerkt, da die gemessene zerebrale Durchblutung sich im Anschluss an eine neuronale Aktivität im Zeitrahmen von mehreren hundert Millisekunden und bis zu mehreren Sekunden verändert (Kim et al., 1997).

Um die Wahrnehmungsprozesse besser zu verstehen, muss genauer herausgefunden werden, wann, wie lange und in welcher zeitlichen Abfolge verschiedene Gehirnregionen aktiviert werden. Ereigniskorrelierte Potentiale in Verbindung mit der indirekten Bildgebung zur Lokalisation der Quellen könnten mehr Klarheit im Ablauf der Interaktionen verschiedener Gehirnregionen schaffen (Mulert et al., 2004).

1.3.2.3. Evozierte Potentiale bei emotionalen Reizen

1.3.2.3.1. Visuell evozierte Potentiale (VEP)

Die „face-related N170“

Obwohl einigen Gehirnregionen verstärkte Aktivierungen bei bestimmten Emotionen zugeordnet werden konnten, wurden bisher wenige Aussagen über den zeitlichen Ablauf der Emotionsverarbeitung berichtet. Auch die Untersuchung mittels ereigniskorrelierter Potentiale konzentriert sich häufig auf den Erkennungsprozess von Gesichtern und soll mehr Aufschluss über die zeitlichen Abläufe emotionaler Informationsverarbeitung geben.

Die sogenannte „face-related“ N170 wurde als gesichtsspezifische Negativierung um 170 ms (in der Literatur variabel zwischen 140 und 220 ms) post Stimulus entdeckt und häufig repliziert (z.B. McCarthy et al., 1999, Pizzagalli et al., 2002 u.a.). Die N170 gilt als

Einleitung

zuverlässiger Index einer detaillierten Wahrnehmung von Gesichtszügen. Aktuelle Studien beschäftigen sich damit, ob und welchen Einfluss die Extraktion emotionaler Reize aus Gesichtern bzw. emotionale Gesichtsausdrücke auf die N170 oder auf andere Komponenten der VEP haben. So fanden beispielsweise Batty und Taylor (2003) eine erhöhte N170-Amplitude bei der Präsentation von negativen im Vergleich zu neutralen oder positiven Gesichtern (s. a. Eger et al., 2002). Möglicherweise könnte dies ein Hinweis auf eine subkortikale Feedback-Schleife sein, bei der ein größeres, untergeordnetes, neuronales Netzwerk aktiviert wird und deswegen stärkere Aktivierung in Form einer Amplitudenerhöhung sichtbar wird. Alternativ wird eine unbewusste Mobilisation von Aufmerksamkeitsquellen diskutiert, die ebenfalls höhere Amplituden produzieren könnte (Vuilleumier et al., 2001).

Die frühesten Aktivitätsunterschiede bei emotionalen Gesichtsausdrücken wurden bereits um 80 ms registriert (Pizzagalli et al., 1999; Eger et al., 2002). Einzelzelluntersuchungen am Affen zeigen, dass Neuronen im temporalen Cortex für die verschiedenen Stadien im Laufe der Gesichtsidentifizierung zuständig sind. Obwohl die notwendigen Informationen, um Gesichter von anderen Objekten zu unterscheiden, um 120 ms codiert ist, erscheint die Antwort, die eine Feineinstufung emotionaler Ausdrücke codiert, erst um 170 ms (Sugase et al., 1999). Diese Ergebnisse lassen auf die Möglichkeit schließen, dass die Antworten auf emotionale Reize im visuellen Cortex von Feedback-Mechanismen, evtl. von Strukturen wie Amygdala oder orbitofrontaler Cortex moduliert werden (Adolphs, 2002).

Die „early posterior negativity“ (EPN)

In einer ERP-Studie von Schupp et al. (2003) wurde die Verarbeitung emotionaler Bilder untersucht. Die Aufmerksamkeit der Probanden wurde mit Hilfe einer kognitiven Aufgabe von den emotionalen Bildern abgelenkt. Es wurden in rascher Abfolge sowohl emotionale Bilder, als auch Bilder mit verschiedenfarbigen Rechtecken gezeigt, welche die Probanden selektieren und zählen mussten. Die Analyse der Komponenten für selektive Emotionsverarbeitung erfolgte getrennt von der kognitiven Übung.

Obwohl die Aufmerksamkeit nicht auf die emotionalen Bilder gelenkt war und beispielsweise keine Kategorisierung der Reize in emotionale oder neutrale Reize verlangt war, konnte eine

Einleitung

selektive Verarbeitung der positiven und negativen Bilder in Form einer temporo-occipitalen Negativität („early posterior negativity“/EPN) beobachtet werden. Im Vergleich zu neutralen Bildern zeigte sich bei emotionalen Bildern eine signifikant höhere Negativität, die sich um 150 ms entwickelte und den maximalen Unterschied zu neutralen Bildern zwischen 232 und 292 ms ausbildete.

1.3.2.3.2. Akustisch evozierte Potentiale (AEP)

Akustisch evozierte Potentiale können nach ihrer Latenzzeit in drei Hauptgruppen eingeteilt werden: frühe (ca. 0-15 ms), mittlere (ca. 10-70 ms) und späte Potentiale (50-300 ms) (Picton et al., 1999).

Das akustisch evozierte N1- oder N100-Potential wird bereits den späten Potentialen zugeordnet. Die N1-Komponente ist eine negative Potentialwelle des akustisch evozierten Potentials, die bei gesunden Personen ungefähr hundert Millisekunden nach der akustischen Reizpräsentation gemessen werden kann (Scherg, 1991).

Den Hauptbeitrag des auditorischen Cortex zur Generierung des N1-Potentials bestätigen zahlreiche übereinstimmende Untersuchungen mit verschiedenen Methoden wie intrakranielle Ableitungen am Menschen (Richter et al., 1989), Läsionsstudien (Knight et al., 1980), Magnetenzephalographie (Pantev et al., 1995), tierexperimentelle Untersuchungen am Primaten (Steinschneider et al., 1980) und Dipolquellenanalysen (Scherg und von Cramon, 1986). Daneben wurden auch frontale Generatoren (evtl. cingulärer Cortex und motorische/supplementär motorische Areale) der N1 beschrieben, die möglicherweise mit Aufmerksamkeitsprozessen zusammenhängen (Giard et al., 1994). Genauer wurde der Aufmerksamkeitseffekt bei der N1 in einer „selective attention task“ untersucht, bei der die elektrophysiologische Antwort der nicht beachteten Töne von der Antwort der beachteten Töne subtrahiert wurde. Die Differenzwelle wurde als „Nd“-Welle (negative difference) (Hansen und Hillyard, 1980) oder „processing negativity“ (Näätänen und Picton, 1987) bezeichnet, deren Ursprung häufig dem Temporallappen zugeschrieben wurde. Die Aktivitätszunahme könnte aber neueren Untersuchungen zufolge auch von Generatoren im medialen Frontallappen verursacht werden und möglicherweise von verschiedenen Anforderungen (z.B. schnelle motorische Antworten auf Zieltöne mit der Hand) abhängen (Picton et al., 1999).

Einleitung

Nach Näätänen und Picton (1987) besteht das N1-Potential aus mindestens sechs verschiedenen Teilkomponenten, die Prozesse in verschiedenen Hirnregionen repräsentieren. Die ersten drei Komponenten können als „true“ oder obligate N1-Komponenten bezeichnet werden. Komponente 1 wird im Cortex des Planum supratemporale generiert, Komponente 2 im Gyrus temporalis superior/ auditorischen Assoziationscortex und Komponente 3 im frontalen motorischen und prämotorischen Cortex. Komponente 4 ist die „mismatch negativity“, die das Ergebnis eines automatischen Vergleichs zwischen präsenten Stimuli und ihnen vorausgehenden Stimuli darstellt. Komponente 5 ist die „sensory-specific processing negativity“, die während des Beachtens von akustischen Stimuli auftritt. Beide Komponenten werden nach Näätänen und Picton im auditorischen Kortex generiert. Komponente 6 wird als „attentional supervisor“ bezeichnet, eine ergänzende Komponente zur „processing negativity“, die im anterioren Frontallappen generiert werden soll, wenn die Aufmerksamkeit auf einen relevanten Reiz gerichtet wird.

Um den Einfluss emotionaler Stimuli auf das akustisch evozierte Potential zu untersuchen, wurden in einer Studie von Erhan et al. (1998) Probanden untersucht, während sie Emotionen von Nonsense-Silben (z.B. ba, pa) mit verschiedenen emotionalen Intonationen identifizierten. Die Präsentation der Silben erfolgte getrennt für jedes Ohr. Es wurden bestimmte emotionale Modalitäten als Ziel-Stimuli festgelegt.

Für das N100-Potential konnte eine Lateralisierung nach links unabhängig von der Ohr-Präsentation beobachtet werden, die als Linkshemisphärenvorteil bei der Sprachverarbeitung interpretiert wurde. Ein Zusammenhang der N100 mit der Verarbeitung emotionaler Reize per se konnte nicht festgestellt werden (Erhan et al., 1998).

Im Intervall 300-855 ms wurde die „sustained negativity“- Komponente mit einem Maximum über fronto-zentralen Elektroden gemessen. Sie wird als Komponente beschrieben, die stark mit der Dauer der Stimuluspräsentation (595-965 ms) korrespondiert. Die „sustained negativity“ repräsentiert nach Meinung der Autoren ähnlich der „sensory processing“-Komponente nach Picton et al. (1978) die längere Dauer der Verarbeitung emotional intonierter Silben (Erhan et al., 1998).

Für die klassische P300-Komponente konnte ein Lateralisierungseffekt nach rechts bei der Präsentation der Stimuli am rechten Ohr festgestellt werden. Auch diese Beobachtungen werden eher mit experimentellen Effekten (Ähnlichkeit zum nonverbalen Oddball-Paradigma)

Einleitung

in Verbindung gebracht, als mit irgendeinem spezifischen Effekt emotionaler Wahrnehmung (Erhan et al., 1998).

Der Aufmerksamkeitseffekt bei der N1 sowie die zugrunde liegenden Generatoren wurden in verschiedenen Studien (Mulert et al., 2003 und 2005) anhand eines kognitiven Wahlreaktionsparadigmas untersucht, wobei den Probanden zwei Töne unterschiedlicher Frequenz über Kopfhörer präsentiert wurden. Die Probanden mussten jeweils bei Ertönen des tiefen Tons mit der linken Hand einen Knopf drücken und analog dazu beim hohen Ton mit der rechten Hand einen Knopf drücken. Probanden mit kurzen Reaktionszeiten zeigten signifikant höhere N1-Amplituden und eine stärkere Aktivierung des kognitiven ACC als Probanden mit längeren Reaktionszeiten (Mulert et al., 2003).

Außerdem wurde ein klarer Zusammenhang zwischen „bewusster Anstrengung“ und N1-Amplituden bzw. ACC-Aktivierung gefunden, indem dasselbe Wahlreaktionsparadigma einmal in einer „entspannten Bedingung“ und einmal mit „bewusster Anstrengung“ ausgeführt wurde und anschließend die beiden Versuche miteinander verglichen wurden (Mulert et al., 2005).

Anders als beim visuellen System konnte bislang beim akustischen System keine EKP-Komponente gefunden werden, die mit der Wahrnehmung emotionaler Stimuli in Zusammenhang steht. Mit einer „emotionalen Variante“ des Wahlreaktionsparadigmas könnte untersucht werden, ob es auch für das akustische Potential eine emotionsspezifische Komponente gibt, ob hierbei eine ACC-Aktivierung des „kognitiven“ Bereichs zu erkennen ist und ob es dabei zu einer zusätzlichen Aktivierung des „affektiven“ ACC kommt (Bush et al., 2000).

1.3.3. Neurophysiologische Korrelate von Persönlichkeitsmerkmalen

Eysenck erweiterte seine Theorie (siehe 1.2.3.) noch hinsichtlich der biologischen Grundlagen der beiden Dimensionen Extraversion und Neurotizismus. Er nahm an, dass sich diese in neurophysiologischen Erregungs- und Hemmungsprozessen widerspiegeln. Die Unterschiede bei E beruhen demnach auf Unterschieden bei der Aktivierung des aufsteigenden retikulären aktivierenden Systems (ARAS), Unterschiede bei N dagegen auf Unterschieden in der Aktivierung des limbischen Systems.

Einleitung

Diese These ist seit den achtziger Jahren in zahlreichen Studien funktioneller Bildgebung, elektrophysiologischer Forschung und von Messungen von Reaktionen des zentralen und autonomen Nervensystems getestet worden. Manche Autoren haben sich darüber hinaus auch für andere Persönlichkeitsmerkmale außer E und N im Zusammenhang mit unterschiedlichen neurophysiologischen Ausprägungen bei gesunden Individuen interessiert (Hansenne M, 2000). Häufig wurde aber die Aufmerksamkeit speziell auf die eine von Eysenck vorgeschlagene Dimension „Extraversion“ mit ihren Polen „introvertiert“ und „extravertiert“ gerichtet.

1.3.3.1. P300 und Persönlichkeit - Reize ohne emotionalen Inhalt

Cahill und Polich haben 1992 eine Gruppe extrem extravertierter und introvertierter gesunder Individuen (ausgewählt mit Hilfe des „Eysencks Personality Questionnaire“, 1975 und „Myers-Briggs Type Indicator“, 1985) elektrophysiologisch untersucht. Dabei wurden ereigniskorrelierte Potentiale gemessen, während die Probanden die Aufgabe hatten, zwei verschiedene, auditorisch präsentierte Töne zu unterscheiden. Es zeigte sich unter anderem eine signifikante Interaktion zwischen der P300 und dem Persönlichkeitstyp, wobei Introvertierte generell eine niedrigere P300 aufwiesen als Extravertierte. Diese Resultate wurden als Folge der unterschiedlich großen Aufmerksamkeitsressourcen bei Introvertierten und Extravertierten diskutiert (Cahill et al., 1992; Daruna et al., 1985).

Ein ähnliches Ergebnis erzielten Gurrera et al. 2001 bei einem auditorischen Ton-Unterscheidungs-Paradigma. Sie untersuchten ebenfalls gesunde Probanden, deren Persönlichkeitsmerkmale mit Hilfe des NEO-Fünf-Faktoren-Inventars (Costa und McCrae, 1992) erfasst wurden. Die P300-Amplituden korrelierten positiv mit den Merkmalen Extraversion, Offenheit, Verträglichkeit und Gewissenhaftigkeit, während sie negativ mit dem Merkmal Neurotizismus korrelierten.

Gegenteilige Resultate wurden unter anderen von Daruna et al. 1985 publiziert. Sie fanden eine signifikant höhere P300-Amplitude bei introvertierten Probanden, die ein „Oddball“-Paradigma absolvierten.

Unter Verwendung des „Temperament and Character Inventory“ (TCI, Cloninger et al.) untersuchten Kim et al. 2002 ebenfalls mit dem „Oddball“-Paradigma den Zusammenhang

Einleitung

zwischen Persönlichkeit und ereigniskorrelierten Potentialen. Sie fanden u.a. eine positive Korrelation zwischen der P300-Amplitude und dem Merkmal „award dependance“.

1.3.3.2. Persönlichkeit im Zusammenhang mit emotionalen Paradigmen

Vorhergehend wurde der Zusammenhang von Persönlichkeitsdimensionen und neurophysiologischen Ergebnissen, wenn einfache Tondiskriminationsaufgaben von den Probanden absolviert wurden, dargelegt. Weiterführend sollen nun verschiedene Ergebnisse im Zusammenhang mit emotionalen Paradigmen aufgezeigt werden.

1.3.3.2.1. Zentrales und autonomes Nervensystem im Kontext der Persönlichkeitsinteraktion bei emotionalen Paradigmen

Ein Bereich der Neurophysiologie beschäftigt sich mit der Untersuchung des zentralen und autonomen Nervensystems bei emotionalen Zuständen (Rückblick siehe Hagemann et al., 2003). Die Art der Stimulation variiert stark von Studie zu Studie, zielt aber im Wesentlichen darauf ab, die untersuchten Personen durch Gesichter, Bilder oder die Aufforderung, auf eigene Gefühle und Emotionen zu achten, in emotionale Zustände zu versetzen. Einige berücksichtigen den möglichen Einfluss der Persönlichkeit auf die physiologische Reaktion in emotionalen Zuständen, wobei auch hier die Dimension „Extraversion-Introversion“ entsprechend der Theorie von Eysenck im Mittelpunkt des Interesses steht. Als Beispiel sei eine Arbeit von Smith et al. (1995) genannt. Sie untersucht an emotional labilen extravertierten und introvertierten Probanden, die mit Hilfe des „Eysenck Personality Inventory“ (EPI) ermittelt wurden, Effekte am zentralen und autonomen Nervensystem. Dabei wurde die elektrodermale Aktivität parallel zu einer EEG-Ableitung gemessen, während die Probanden angewiesen wurden, bei Erklingen von menschlichen non-verbale Lauten einmal auf ihre Gefühle und Emotionen zu achten und einmal Gefühle zu vermeiden und kognitiv über eine mögliche Reaktion zu reflektieren. Die Ergebnisse zeigten, dass generell bei der emotionalen Bedingung höhere Erregung als bei der kognitiven Aufgabe gemessen wurde und dass Introvertierte mehr erregt wurden.

Einleitung

Schließlich sei hier noch eine Studie von Matthews und Gilliland (1999) erwähnt, die in ihrer Übersicht über physiologische Korrelate von Extraversion und Neurotizismus zu dem Schluss kamen, dass Eysencks Hypothese für Extraversion noch am ehesten für phasische Maße der Hautleitfähigkeit haltbar ist. Diese wird durch eine Sympathikusaktivierung erhöht und als physiologisches Korrelat der Orientierungsreaktion auf situative Veränderungen interpretiert (Matthews und Gilliland, 1999).

1.3.3.2.2. Die Null-Korrelationen

Zahlreiche Studien (vgl. Fahrenberg et al., 1992) untersuchten jahrelang den Zusammenhang von Temperamenteigenschaften und physiologischen Parametern, resultierten jedoch im Wesentlichen in Null-Korrelationen. Man führt dies auf die unscharfe, zu globale Handhabung des überholten Aktivierungsbegriffs zurück. Denn mittlerweile sind mehrere „Aktivierungssysteme“ entdeckt worden, die komplex interagieren. Deshalb kann man nicht davon ausgehen, dass es auf physiologischer Ebene überhaupt keine interindividuellen Korrelationen gibt. Sie existieren, sind aber auf eng umschriebene physiologische Regulationssysteme beschränkt (Asendorpf, 2004).

1.3.3.2.3. Persönlichkeitseinflüsse auf neuronale Aktivität in fMRT-Studien bei emotionalen Paradigmen

Canli et al. (2001) untersuchten erstmals in einer fMRT-Studie den Einfluss stabiler Persönlichkeitsmerkmale auf die Verarbeitung emotionaler Reize. Gesunde Frauen betrachteten dabei passiv Bilder mit positiven und negativen Inhalten. Die Merkmale Extraversion und Neurotizismus werden in der Studie eng mit emotionaler Erfahrung in Verbindung gebracht und sollen die Reaktionen des Gehirns auf emotionale Reize beeinflussen. Extraversion korrelierte beim Betrachten positiver Bilder positiv mit erhöhter Aktivität in bilateral frontalen, rechts temporalen und subkortikalen Regionen, Neurotizismus korrelierte positiv beim Betrachten negativer Bilder mit erhöhter Aktivität in rechts temporalen und subkortikalen Regionen.

In einer anderen fMRT-Studie von Sander et al. (2002) wurde der Einfluss des Coping-Stils in Bezug auf Stressverarbeitung („Verdränger“ versus „nicht-Verdränger“) auf die

Einleitung

Gehirnaktivität gemessen. Den gesunden Probanden wurden Adjektive und Silben mit verschiedenen Intonationen rasch aufeinanderfolgend präsentiert, während sie verschiedene Aufgaben erledigen mussten, damit die ganze Aufmerksamkeit der Probanden in Anspruch genommen wurde. Die Ergebnisse zeigen eine starke Interaktion von Coping-Style, Hemisphäre und Aufgabenstellung (Sander et al., 2002).

Die genannte Studie zeigt, dass nicht nur Zusammenhänge zwischen Persönlichkeitsdimensionen und neuronaler Präsentation des emotionalen Zustands per se bestehen, sondern auch zwischen Persönlichkeitsdimensionen und dem speziellen Regulationssystem der aufmerksamen Wahrnehmung emotionaler Reize.

1.4. Fragestellung

(1) In mehreren Studien wurde eine emotionsspezifische Komponente des visuell evozierten Potentials („early posterior Negativity“/ EPN) gefunden, die beim Erkennen von Emotionen in Bildern und Gesichtern auftrat. Die Generatoren der occipito-parietal lokalisierten EPN wurden vor allem innerhalb des visuellen Systems vermutet. Bisher wurde keine entsprechende Komponente des akustisch evozierten Potentials gefunden, das bei der Verarbeitung auditorisch präsentierter emotionaler Reize auftritt.

(2) Unabhängig davon lenken zahlreiche Befunde der modernen Bildgebung die Aufmerksamkeit auf verschiedene Hirnregionen, die bei der Wahrnehmung emotionaler Reize (insbesondere emotionaler Gesichter und anderer visueller Reize) aktiviert werden. Unter Verwendung eines Aufmerksamkeit erfordernden Wahlreaktionsparadigmas konnte beispielsweise eine Aktivierung verschiedener Untereinheiten des ACC (ventral und dorsal) identifiziert werden.

Insgesamt weisen jedoch die Ergebnisse, insbesondere diejenigen von Untersuchungen des akustischen Wahrnehmungssystems, geringe Konsistenz bezüglich der Quellenlokalisierung für emotionale Reize auf.

(3) Ein eindeutiger Zusammenhang zwischen Persönlichkeitsfaktoren und neurophysiologischen Parametern konnte bei gesunden Individuen bisher nicht nachgewiesen

Einleitung

werden, was einer ungenügend differenzierten Betrachtung der verschiedenen „Aktivierungssysteme“ zugeschrieben wurde. Es gibt aber viele Hinweise aus anderen neurowissenschaftlichen Forschungszweigen, dass individuelle Unterschiede auf neuronaler Ebene vorhanden sind, die bei der Verarbeitung emotionaler Ereignisse eine Rolle spielen.

Ziel dieser explorativen, hypothesengeleiteten Arbeit war somit die Klärung folgender Fragen:

1. Kann eine emotionsspezifische parieto-occipitale „early posterior negativity“, wie sie in visuellen Versuchen gefunden wurde, auch bei einem akustischen Paradigma identifiziert werden?
2. Kann mit einem modernen Quellenlokalisationsverfahren für elektrische Potentiale bei einem emotionalen akustischen Wahlreaktionsparadigma, bei dem gezielte Aufmerksamkeit für emotionale Reize verlangt wird, Aktivität in parietalen Gehirnregionen und im ACC gefunden werden?
3. Besteht ein Zusammenhang zwischen bestimmten Persönlichkeitsfaktoren und neurophysiologischen Parametern in einem emotionsspezifischen Aktivierungssystem?

2. Methodik

2.1. Die Probanden

29 gesunde Probanden, 14 Frauen und 15 Männer, 27 Rechtshänder und 2 Linkshänder, Durchschnittsalter 28,66 Jahre, SD = 9,83, nahmen an der Studie teil. Keiner der Probanden wies bei der audiometrischen Testung audiologische Störungen auf. Es waren bei keinem der Probanden neurologische oder psychiatrische Erkrankungen bekannt. Anamnestisch konsumierte keiner der Probanden regelmäßig Alkohol und Drogen oder zentral wirksame Medikamente.

Die Probanden erklärten schriftlich ihr Einverständnis für die Teilnahme am Experiment und erhielten eine Aufwandsentschädigung für die Teilnahme.

Um bei den Datenanalysen die Persönlichkeitseigenschaften der Probanden zu berücksichtigen, bildeten wir für jedes der im Vorhergehenden genannten fünf Merkmale zwei Untergruppen nach dem Prinzip des Mediansplits. Die sich daraus ergebenden fünf mal zwei Gruppen definieren sich folgendermaßen: Gruppe 1 weist jeweils Punktwerte im entsprechenden Merkmal unter dem Median, Gruppe 2 jeweils Punktwerte über dem Median. Die Beschreibung der Gruppen hinsichtlich Alter (in Jahren) und Geschlecht sind der Tabelle 1 zu entnehmen. Gruppe 1 und Gruppe 2 unterscheiden sich hinsichtlich Alter und Geschlecht nicht signifikant voneinander.

Merkmal	Gruppe 1 (14 Personen)	Gruppe 2 (15 Personen)
Neurotizismus	Mittlerer Wert für Neurotizismus: 1,04 (SD: 0,28) 6 Frauen, 8 Männer mittleres Alter: 32,00 (SD: 12,44)	Mittlerer Wert für Neurotizismus: 2,00 (SD: 0,51) 8 Frauen, 7 Männer mittleres Alter: 25,53 (SD: 5,28)
Extraversion	Mittlerer Wert für Extraversion: 2,18 (SD: 0,21) 6 Frauen, 8 Männer mittleres Alter: 28,86 (SD: 10,45)	Mittlerer Wert für Extraversion: 2,85 (SD: 0,17) 8 Frauen, 7 Männer mittleres Alter: 28,47 (SD: 9,57)
Offenheit	Mittlerer Wert für Offenheit: 2,26 (SD: 0,28) 6 Frauen, 8 Männer mittleres Alter: 27,79 (SD: 7,45)	Mittlerer Wert für Offenheit: 2,89 (SD: 0,24) 8 Frauen, 7 Männer mittleres Alter 29,47: (SD: 11,84)
Verträglichkeit	Mittlerer Wert für Verträglichkeit: 2,31 (SD: 0,24) 7 Frauen, 7 Männer mittleres Alter: 29,14 (SD: 10,34)	Mittlerer Wert für Verträglichkeit: 2,85 (SD: 0,11) 7 Frauen, 8 Männer mittleres Alter: 28,20 (SD: 9,67)
Gewissenhaftigkeit	Mittlerer Wert für Gewissenhaftigkeit: 2,52 (SD: 0,40) 7 Frauen, 7 Männer mittleres Alter: 27,14 (SD: 6,70)	Mittlerer Wert für Gewissenhaftigkeit: 3,40 (SD: 0,26) 7 Frauen, 8 Männer mittleres Alter: 30,07 (SD: 12,13)

Tabelle 1: Mediansplit für jedes Merkmal

2.2. Die Paradigmen

(Übersicht in Tabelle 2)

2.2.1. Das Wahlreaktionsparadigma Töne

Es wurden drei verschiedene akustische Wahlreaktionsparadigmen verwendet. Zuerst wurden ein tiefer und ein hoher Ton (800Hz und 1300Hz) mit der Lautstärke 85 dB SPL in pseudorandomisierter Form in Bezug auf Reihenfolge und Interstimulus-Intervall (2500-7500 ms) über einen Kopfhörer präsentiert. Der Proband wurde aufgefordert, so schnell wie möglich auf hohe Töne mit einem Tastendruck der rechten Hand (Daumen) und auf tiefe Töne mit einem Tastendruck der linken Hand (Daumen) zu reagieren. Vor Beginn der

Methodik

Messung wurde ein kurzer Probelauf vorgenommen, um den Probanden die Identifikation des hohen und des tiefen Tones zu ermöglichen.

Ebenso wie die beiden folgenden Paradigmen dauerte dieser erste Teil des Versuchs 10 Minuten.

2.2.2. Das Wahlreaktionsparadigma Silben

Das zweite Wahlreaktionsparadigma bestand aus fünf Silben (ba, be, bi, bo, bu), die jeweils in zwei verschiedenen emotionalen Intonationen (positiv/glücklich und negativ/traurig) dargeboten wurden. (Die Entwicklung und Validierung der Silben werden später genauer erläutert.)

Das Lautstärke-Niveau der Stimuli wurde im Bereich 65-85 dB SPL individuell angepasst. (Sander et al., 2003)

Die Silben wurden ebenfalls in pseudorandomisierter Form in Bezug auf Reihenfolge und Interstimulus-Intervall (2500-7500 ms) präsentiert. Die Präsentationsdauer betrug 250ms. Der Proband wurde angewiesen, so schnell wie möglich auf positiv intonierte Silben mit einem Tastendruck der rechten Hand, auf negativ intonierte Silben mit einem Tastendruck der linken Hand zu reagieren. Vor Beginn der Messung wurden dem Probanden alle vorkommenden Silben vorgespielt und dies auf Wunsch auch mehrmals wiederholt.

2.2.3. Das Wahlreaktionsparadigma Worte

Zuletzt hörten die Probanden zehn verschiedene Worte mit positiven (glücklich, fröhlich, freundlich, ruhig, herrlich) und negativen (traurig, ärgerlich, schrecklich, ekelig, unglücklich) Bedeutungen, die von einer weiblichen monotonen Stimme präsentiert wurden. Die Darbietung erfolgte wiederum in pseudorandomisierter Form in Bezug auf Reihenfolge und Interstimulus-Intervall (2500-7500ms) bei einer Stimulus-Präsentationsdauer von 500 ms (Lautstärke-Niveau 70-85 dB SPL).

Die Aufgabe des Probanden bestand darin, möglichst schnell auf Worte mit positiven Inhalten mit einem Tastendruck der rechten Hand und auf Worte mit negativen Inhalten mit einem Tastendruck der linken Hand zu antworten. Ein Probelauf war hier meist nicht gewünscht, da die Aufgabenstellung von den Probanden im Allgemeinen als unproblematisch eingestuft wurde.

	1. Wahlreaktion-Töne	2. Wahlreaktion-Silben	3. Wahlreaktion-Worte
Inhalt	neutral	Emotional intoniert, keine Wortbedeutung	Emotionale Wortbedeutung, monoton
Tastendruck mit der rechten Hand	Hohe Töne	Positiv intonierte Silben	Worte mit positiver Bedeutung
Tastendruck mit der linken Hand	Tiefe Töne	Negativ intonierte Silben	Worte mit negativer Bedeutung

Tab. 2: Übersicht über die drei verschiedenen Wahlreaktions-Paradigmen

Die Präsentationsdauer der Stimuli betrug für Töne 250ms, für Silben 250ms und für Worte 500ms.

2.2.4. Technische Probleme bei den Wahlreaktionen

Bei der ersten Betrachtung der Reaktionszeiten fiel auf, dass die jeweils schnelleren Reaktionszeiten bei den einzelnen Paradigmen mit demselben Taster erreicht wurden. Aus diesem Grund wurde ein systematischer Fehler in der Mechanik der Taster vermutet. Um diesen zu berechnen, wurden 18 neue Probanden gebeten, mit derselben Hand erst 10 Minuten lang den einen Taster, danach 10 Minuten lang den anderen Taster zu drücken, sobald ein Ton aus dem Kopfhörer wahrgenommen wurde. Die Töne wurden zur Vermeidung einer Habituation in randomisierten Zeitabständen dargeboten. Um einen Ermüdungseffekt der Hand auszuschließen, variierte die Reihenfolge der beiden Taster.

Mittelwerte schneller Taster: 160,78 ms; Mittelwerte langsamer Taster 181,17 ms. Die mittlere Differenz der beiden Taster betrug 20,4 ms (SD=33,4) und wurde zur Korrektur der Reaktionszeiten bei allen Probanden von den Ergebnissen des langsameren Tasters subtrahiert.

2.3. Die Entwicklung und Validierung des Silben-Paradigmas

2.3.1. Die Probanden

Für diese Studie wurden 20 gesunde Probanden (11 Frauen, 9 Männer), Durchschnittsalter 30,1 Jahre, SD: 10,4 rekrutiert. Vier der Probanden nahmen später auch an der Hauptstudie teil.

2.3.2. Paradigma-Entwicklung und -Validierung

Die Silben (ba, be, bi, bo, bu) wurden jeweils einmal mit positiver/glücklicher und einmal mit negativer/trauriger Intonation aufgezeichnet. Die Frequenzspektren der einzelnen Stimuli sind in den Abb. 2-11 dargestellt. Wir verwendeten die Software: „Praat“ (program for speech analysis and synthesis, Version 4.1.15, von Paul Boersma und David Weenink, Institute of phonetics sciences of the University of Amsterdam). Danach wurde aus den aufgezeichneten Silben ein 10 Minuten langes Paradigma erstellt, das später für das eigentliche Experiment übernommen wurde.

(Die genaue Konstruktion des Paradigmas wurde bereits unter Punkt 2.2.2. erläutert.)

Die Probanden erhielten anschließend eine Tabelle, in der die verschiedenen Silben ohne Information über die Qualität deren Intonation (positiv oder negativ) in der Reihenfolge der auditorischen Darbietung aufgelistet waren. Dann wurden die Probanden aufgefordert, nach Erklingen einer Silbe zu beurteilen, ob die Silbe eine eher positive/glückliche Intonation oder eher eine negative/traurige Intonation aufwies. Die Beurteilung wurde schriftlich mit einem Kreuz in den dafür vorgesehenen Feldern der vorgefertigten Tabelle festgehalten.

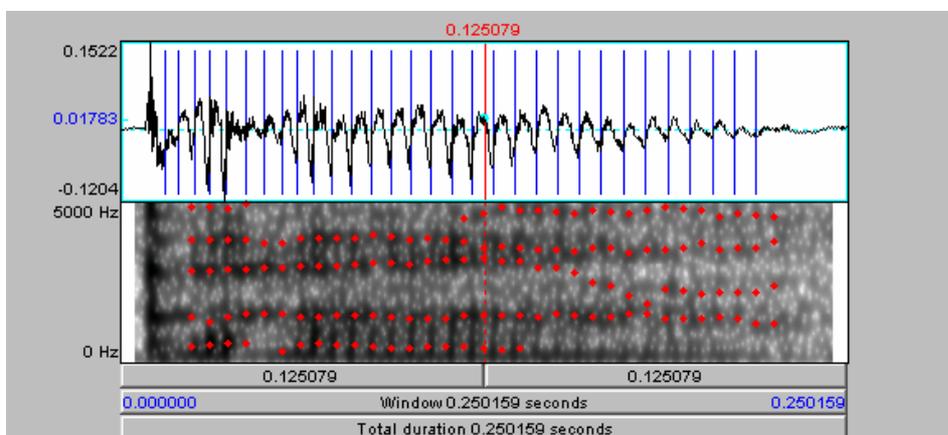


Abb. 2: „ba“: negativ intoniert

Methodik

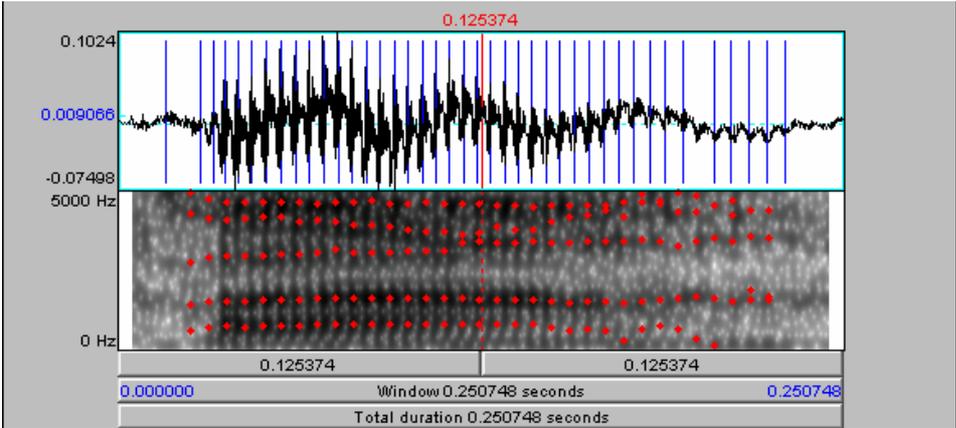


Abb. 3: „ba“: positiv intoniert

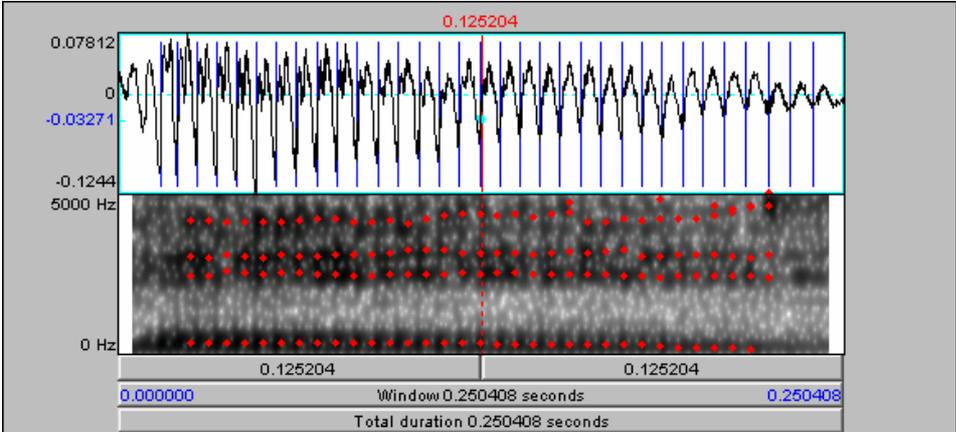


Abb. 4: „be“: negativ intoniert

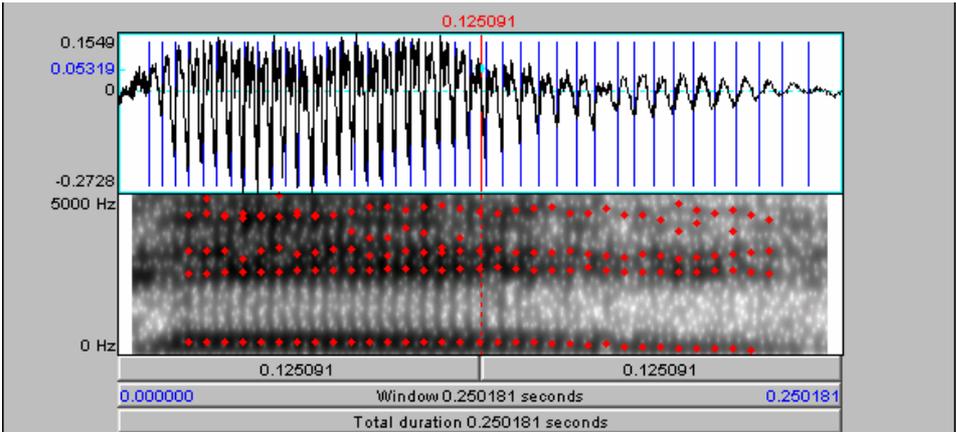


Abb. 5: „be“: positiv intoniert

Methodik

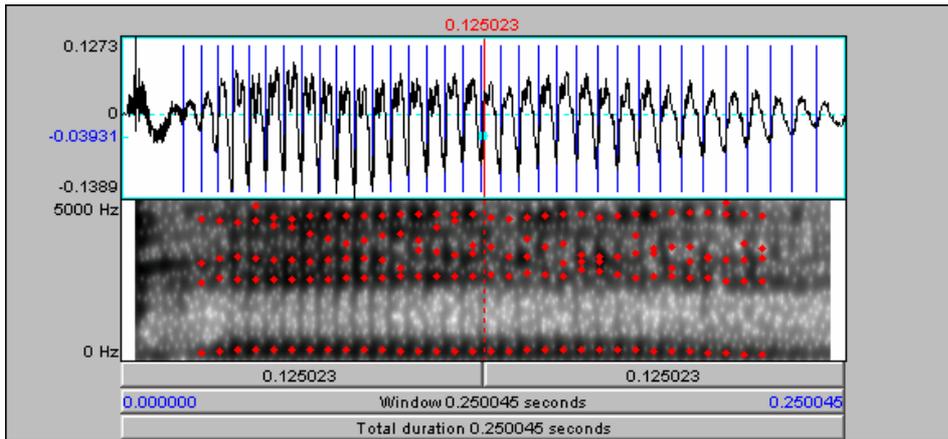


Abb. 6: „bi“: negativ intoniert

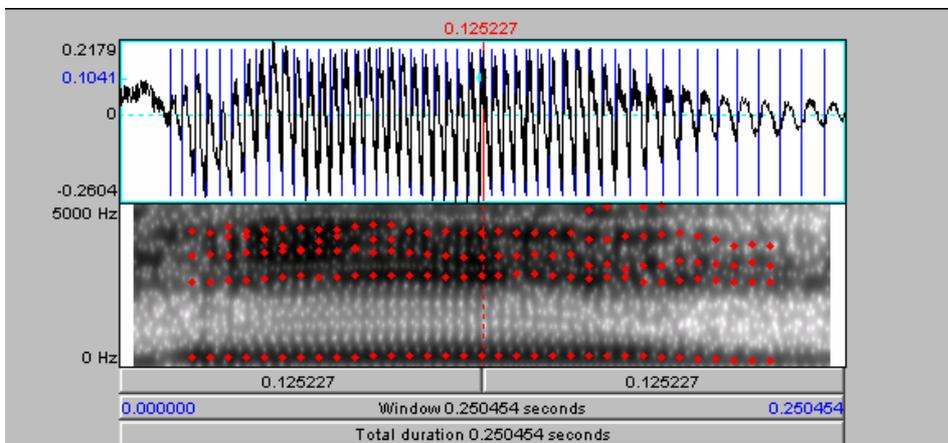


Abb. 7: „bi“: positiv intoniert

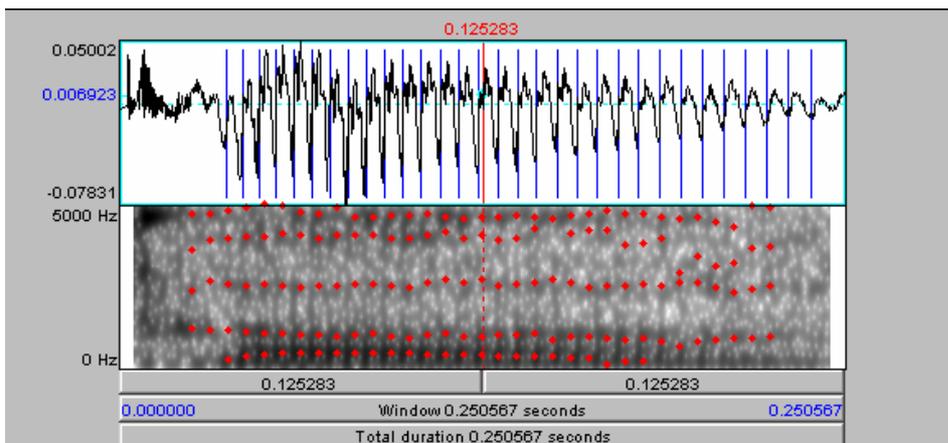


Abb. 8: „bo“: negativ intoniert

Methodik

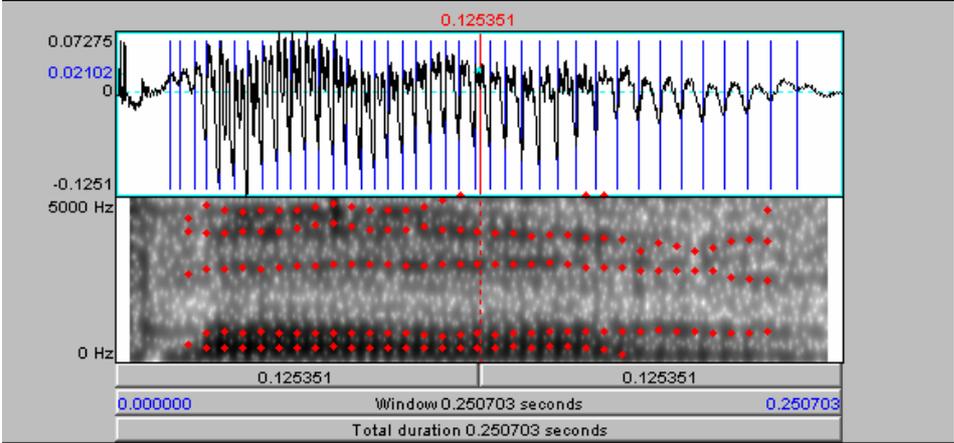


Abb. 9: „bo“: positiv intoniert

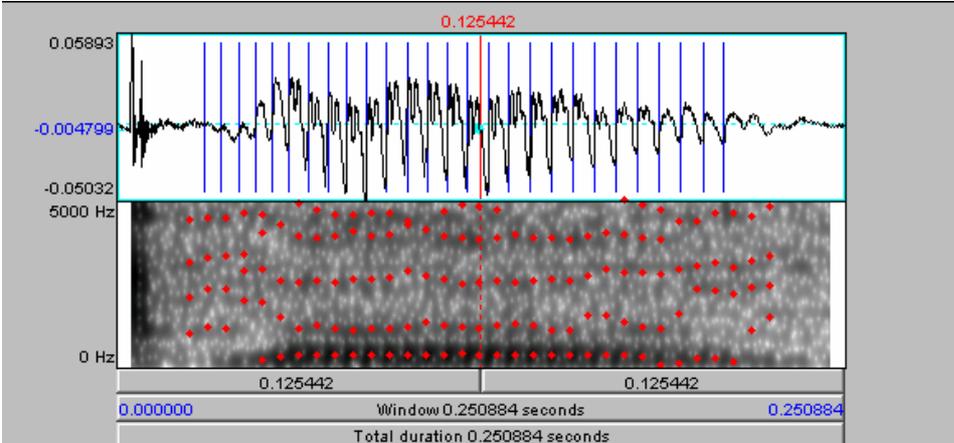


Abb. 10: „bu“: negativ intoniert

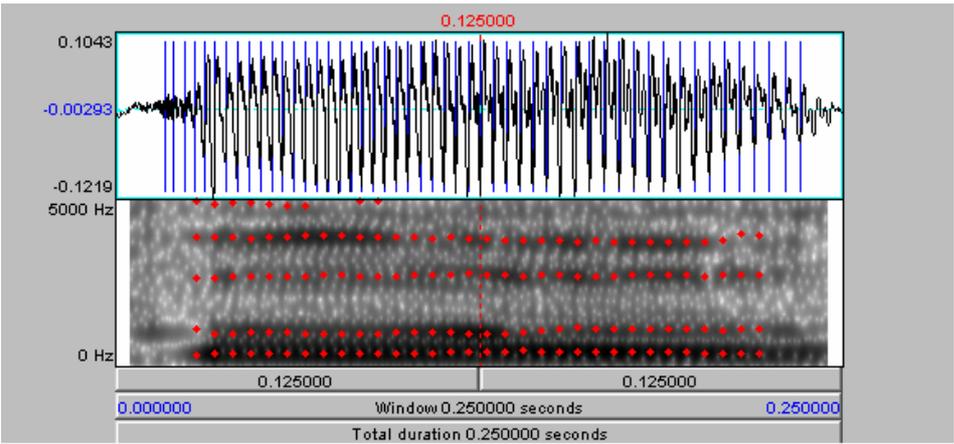


Abb. 11: „bu“: positiv intoniert

Methodik

2.3.3. Ergebnis

Die Wahrscheinlichkeit, eine positiv intonierte Silbe korrekt als positiv zu beurteilen betrug 99,65 %. Die Trefferwahrscheinlichkeit für eine richtig eingeordnete negative Silbe war 99,55 %.

2.4. EEG-Aufzeichnung und evozierte Potentiale

2.4.1. EEG-Aufzeichnung

Die EEG-Aktivität wurde entsprechend dem internationalen 10/20-System mit 19 Kanälen mittels einer individuell angepassten Elektrodenkappe („Electro-Cap Electrode System“ der Firma „*Electro-Cap International, Inc. (ECI)*“, Eaton, Ohio) aufgezeichnet. Dabei verwendeten wir ein konventionelles 32-Kanal-EEG-Gerät der Firma Neuroscan. Der Kontakt zwischen Kopfhaut und den Sn/SnCl-Elektroden wurde durch ein Elektrodengel („*Electro-GelTM*“ der Firma „*Electro-Cap International, Inc. (ECI)*“, Eaton, Ohio) hergestellt. Die Impedanzen wurden stets unter 5 k Ω gehalten. Das EEG wurde mit einer Abtastrate von 1000 Hz aufgezeichnet. Bei der Aufzeichnung wurde ein 200 Hz-Tiefpass-Filter verwendet. Alle Kanäle wurden gegen eine gemeinsame Referenz Cz gemessen. Horizontale Augenbewegungen wurden mittels der EOG-Elektrode 1cm lateral vom linken Auge aufgezeichnet.

2.4.2. Auswertung und Parametrisierung

Die Bearbeitung der aufgezeichneten EEG-Rohdaten wurde computergestützt mit dem Programm *Brain Vision Analyzer Version 1.05* der Firma *Brain Products GmbH* durchgeführt. Die Segmentierung des aufgezeichneten EEG-Signals erfolgte Stimulus-abhängig, wobei nur die Stimuli eingeschlossen wurden, auf die der Proband richtig geantwortet hatte. Die automatische, computergestützte Artefaktelimination erfolgte mit einem Amplitudenkriterium von $> \pm 70 \mu\text{V}$.

Nach einer Baseline-Korrektur (Baseline = 200 ms prästimulus) und einer Filterung mit einem 70Hz-Tiefpass-Filter sowie einem 1 Hz-Hochpass-Filter (Zeitkonstante = 0,16 s) wurden die

Methodik

Grand Averages der ereigniskorrelierten Potentiale für jeden Probanden aus mindestens 30 artefaktfreien EEG-Segmenten eines Teilexperimentes errechnet.

Latenzen und Amplituden des EPN-Potentials wurden bei Pz analysiert. Die EPN-Amplituden-Peaks waren bei der computergestützten Detektion definiert als der höchste negative Wert des evozierten Potentials im Zeitfenster 150 ms bis 190 ms post Stimulus definiert. Dieselben Grand Averages wurden auch zur LORETA-Analyse der EPN-Amplitude verwendet.

Die Amplituden des EPN-Potentials wurden auch im Kanal P3 und P4 analysiert. Die daraus resultierenden Grand Averages wurden zum Hemisphärenvergleich herangezogen.

Die Anzahl der gemittelten EEG-Abschnitte (siehe Tabelle 3), die für die Mittelung der evozierten Potentiale verwendet wurde, betrug bei Tönen 112,6 (SD: 7,2), bei Silben 91,1 (SD: 18,9) und bei Worten 104,0 (SD: 14,0).

Bei keinem der Persönlichkeitsmerkmale unterschied sich Gruppe 1 hinsichtlich der Anzahl der gemittelten EEG-Abschnitte von Gruppe 2.

	Töne	Silben	Worte
Neurotizismus			
Gruppe 1	111,1 (SD: 8,8)	88,1 (SD: 21,4)	106,2 (SD: 11,6)
Gruppe 2	113,4 (SD: 5,5)	94,0 (SD: 16,5)	101,9 (SD: 16,0)
Extraversion			
Gruppe 1	111,2 (SD: 8,6)	87,2 (SD: 21,4)	103,0 (SD: 13,9)
Gruppe 2	113,4 (SD: 5,9)	94,8 (SD: 16,6)	105,0 (SD: 14,6)
Offenheit			
Gruppe 1	111,0 (SD: 8,7)	91,8 (SD: 15,2)	103,6 (SD: 16,1)
Gruppe 2	114,1 (SD: 5,5)	90,5 (SD: 22,3)	104,3 (SD: 12,2)
Verträglichkeit			
Gruppe 1	113,1 (SD: 6,5)	91,5 (SD: 15,9)	104,1 (SD: 13,4)
Gruppe 2	112,1 (SD: 8,1)	90,8 (SD: 22,0)	104,0 (SD: 15,0)
Gewissenhaftigkeit			
Gruppe 1	112,7 (SD: 5,0)	91,0 (SD: 15,8)	103,4 (SD: 12,3)
Gruppe 2	112,5 (SD: 9,0)	91,3 (SD: 15,8)	104,5 (SD: 15,8)

Tab. 3: Anzahl der gemittelten EEG-Abschnitte

2.5. LORETA

2.5.1. Der Lösungsansatz für das inverse Problem mit LORETA

Ereigniskorrelierte Skalp-Potentiale (ERP) repräsentieren die Aktivität einer großen Anzahl von Pyramidenzellen in der grauen Substanz des Gehirns. Benachbarte Zellen werden bei Stimulation synchron und simultan aktiviert und weisen einen ähnlichen Ladungszustand auf (neuroelektrische Massenaktivität). Aus den Skalppotentialen ist aber kein direkter Rückschluss auf deren Ursprungsquellen möglich. Das inverse Problem ist mathematisch nur unter bestimmten Annahmen über neuronale Generatoren und den Schädel lösbar. LORETA ist ein linearer Lösungsversuch des inversen Problems im dreidimensionalen Raum und vermeidet, anders als die Dipolquellenanalyse, die Vorabfestlegung einer bestimmten

begrenzten Anzahl von Dipolquellen (Scherg 1991). Die Beschränkung auf wenige Dipolquellen stellt für Studien, die höhere kognitive Funktionen untersuchen, eine unrealistische und unbefriedigende Annahme dar, da daran viele verschiedene Quellen beteiligt sein dürften.

Der LORETA-Algorithmus beinhaltet die „smoothness“-Annahme, die besagt, dass benachbarte Neurone zu einem bestimmten Zeitpunkt einen ähnlichen Ladungszustand haben. Diese Annahme ist gleichzeitig auch Voraussetzung für die Messbarkeit der EEG-Aktivität auf dem Skalp.

Mathematisch ist mit LORETA eine eindeutige und genaue Berechnung lokaler Maxima im dreidimensionalen Raum möglich, die jedoch aufgrund der „smoothness“-Annahme im Vergleich zu anderen Messmethoden (z.B. fMRT mit hoher räumlicher Auflösung von 2 mm³) eine unscharfe räumliche Auflösung haben (14 mm³) (Vitacco et al., 2002).

Die LORETA-Methode wurde 1994 erstmals von Pascual-Marqui publiziert und seitdem vielfach verwendet (Anderer et al., 1998; Pizzagalli et al., 2000, Carretié et al., 2001; Mulert et al., 2004 ua.). Neuere Untersuchungen belegen die Vergleichbarkeit mit der fMRT-Methode, und es liegen erste Versuche der Simultanmessung von ERP und fMRT zur Überwindung der Schwächen der einzelnen Methoden vor (Viacco et al., 2002; Mulert et al. 2004).

2.5.2. Die Verwendung des Talairach-Atlas

Die verwendete LORETA-Software basiert auf dem digitalisierten Talairach-Atlas (Talairach, Tournau, 1998), wie er vom Brain Imaging Centre, Montreal Neurologic Institute, zur Verfügung gestellt wird. Dabei ist der Lösungsraum (der dreidimensionale Raum, in dem das inverse Problem gelöst wird) auf die graue Substanz und den Hippocampus beschränkt (Pascual-Marqui et al., 1999). Die dreidimensionale Registrierung der EEG-Elektrodenpositionen erfolgte mittels der EEG-Elektrodenkoordinaten entsprechend dem Vorschlag von Towle et al. (1993). Ein Voxel wurde der grauen Substanz zugerechnet, wenn es folgende drei Kriterien erfüllte: Eine höhere Wahrscheinlichkeit, zur grauen als zur weißen Substanz zu gehören, eine höhere Wahrscheinlichkeit der Zugehörigkeit zur grauen Substanz als zum Liquor, und grundsätzlich eine höhere Wahrscheinlichkeit der Zugehörigkeit zur grauen Substanz von mehr als 33 %. Aufgrund dieser Definition steht ein Lösungsraum von 2394 Voxeln mit einer Kantenlänge von 7 mm zur Verfügung.

2.6. Persönlichkeitstest (NEO-Fünf-Faktoren-Inventar)

Das NEO-Fünf-Faktoren-Inventar (NEO-FFI) nach Costa und McCrae (deutsche Version 1993) misst fünf unabhängige Persönlichkeitsmerkmale: Neurotizismus, Extraversion, Offenheit für Erfahrungen, Verträglichkeit und Gewissenhaftigkeit. Der Test besteht aus 60 Items, die in einer fünfstufigen Antwortskala vom Probanden beantwortet werden müssen. Die fünf Abstufungen reichen von „starke Ablehnung“ bis „starke Zustimmung“. Die Probanden wurden vor der EEG-Untersuchung gebeten, den Fragebogen lückenlos zu bearbeiten.

2.7. Biometrie und Statistik

Die wie oben beschrieben parametrisierten Daten wurden in das Programm „SPSS 13.0.1 for Windows“ eingelesen und statistisch ausgewertet.

Die EPN-Komponente im akustischen Paradigma wurde anhand des Peaks, der sich aus den Grand Averages der Kanäle Pz, P3 und P4 des jeweiligen Paradigmas ergab, mit dem „t-Test bei gepaarten Stichproben“ untersucht. Es wurden jeweils die drei Paradigmen (Silben, Worte und Töne) untereinander verglichen. Um Unterschiede zwischen den Telexperimenten bezüglich weiterer parametrischer Variablen (Reaktionszeiten, Mittelungszahlen, Latenzzeiten des EPN-Peaks, Hemisphärenunterschied) zu ermitteln, wurde ebenfalls der „t-Test bei gepaarten Stichproben“ verwendet und die drei oben genannten Paradigmen miteinander verglichen. Um Zusammenhänge zwischen den EPN-Amplituden und Persönlichkeitsmerkmalen zu untersuchen, wurde ebenfalls der „t-Test bei gepaarten Stichproben“ verwendet und der Spearman- Brown- Korrelationskoeffizient bestimmt.

Da es sich bei allen Fragestellungen um explorative Datenanalysen handelt, wurde auf eine Bonferroni-Korrektur verzichtet und als Signifikanzniveau $p = 0,05$ festgelegt.

3. Ergebnisse

3.1. Reaktionszeitmessung

3.1.1. Alle Probanden

Die Reaktionszeiten betragen bei Tönen im Durchschnitt 427 ms (SD: 86,0), bei Silben 630 ms (SD: 82,3) und bei Worten 648 ms (SD: 85,1). Ein signifikanter Unterschied war festzustellen bei: Töne - Silben ($t = -15,14$; $df = 28$; $p < 0,001$); Töne - Worte ($t = -20,88$; $df = 28$; $p < 0,001$). Silben und Worte unterschieden sich hinsichtlich der Reaktionszeiten nicht signifikant voneinander ($t = -1,90$; $df = 28$; $p = 0,068$).

Die Probanden reagierten im Durchschnitt auf positive Silben (612 ms) (SD: 82,5) schneller als auf negative Silben (648 ms) (SD: 90,1) ($t = -3,67$; $df = 28$; $p < 0,001$) und auf positive Worte (635 ms) (SD: 83,2) schneller als auf negative Worte (661 ms) (SD: 90,5) ($t = -3,89$; $df = 28$; $p < 0,001$). Die Reaktionszeiten bei tiefen (422ms) (SD: 82,7) und hohen Tönen (432ms) (SD: 92,3) unterschieden sich nicht signifikant voneinander ($t = -1,65$; $df = 28$; $p = 0,110$).

3.1.2. Durchschnittliche Reaktionszeiten der einzelnen Gruppen

Bei keinem der Persönlichkeitsmerkmale unterschieden sich die Gruppen 1 und 2 (die nach dem Prinzip des Mediansplits für jedes Persönlichkeitsmerkmal gebildet worden waren) hinsichtlich der Reaktionszeiten.

3.2. Evozierte Potentiale

3.1.3. Die Analyse der „early posterior negativity“ (EPN)

Bei der Datenanalyse konnte in parietalen Elektroden (Pz, P3, P4) im Grand Average bei den emotionalen Paradigmen (Silben und Worte) im Vergleich zu dem nicht emotionalen Paradigma (Töne) eine vermehrte Negativität identifiziert werden, die sich im Wesentlichen in zwei Einzelbereiche untergliedert. Ihr erstes Maximum erreicht sie bei 170 ms in Form eines deutlichen Peaks, den wir „EPN 170“ nennen wollen. Im weiteren Verlauf stellt sich

Ergebnisse

eine zweite Komponente der Negativität in Form einer Linienverschiebung zwischen 220 ms und 300ms dar (Abb. 12).

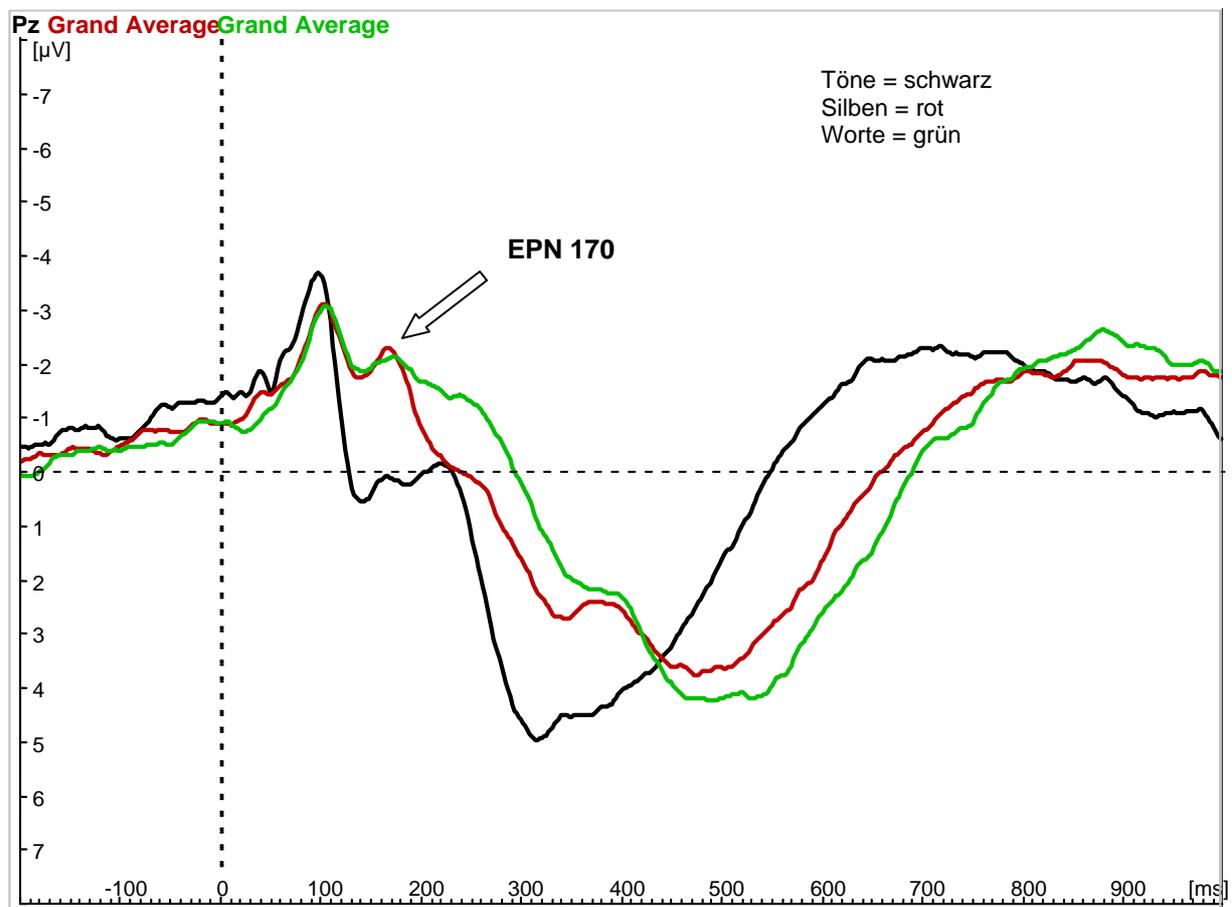


Abb. 12: Grand averages bei Pz: schwarze Linie = Töne, rote Linie = Silben, grüne Linie = Worte. Bei 170 ms erkennt man für Silben und Worte den Peak „EPN 170“.

Der maximale Unterschied zwischen den Paradigmen zeigt sich für die zweite Komponente, die wir „EPN 290“ nennen wollen, deutlicher bei der Differenzwellenanalyse (siehe Abb. 13 und 14) mit einem Gipfel bei 293ms ($-3 \mu\text{V}$ bei Silben; $-4,4 \mu\text{V}$ bei Worten).

Ergebnisse

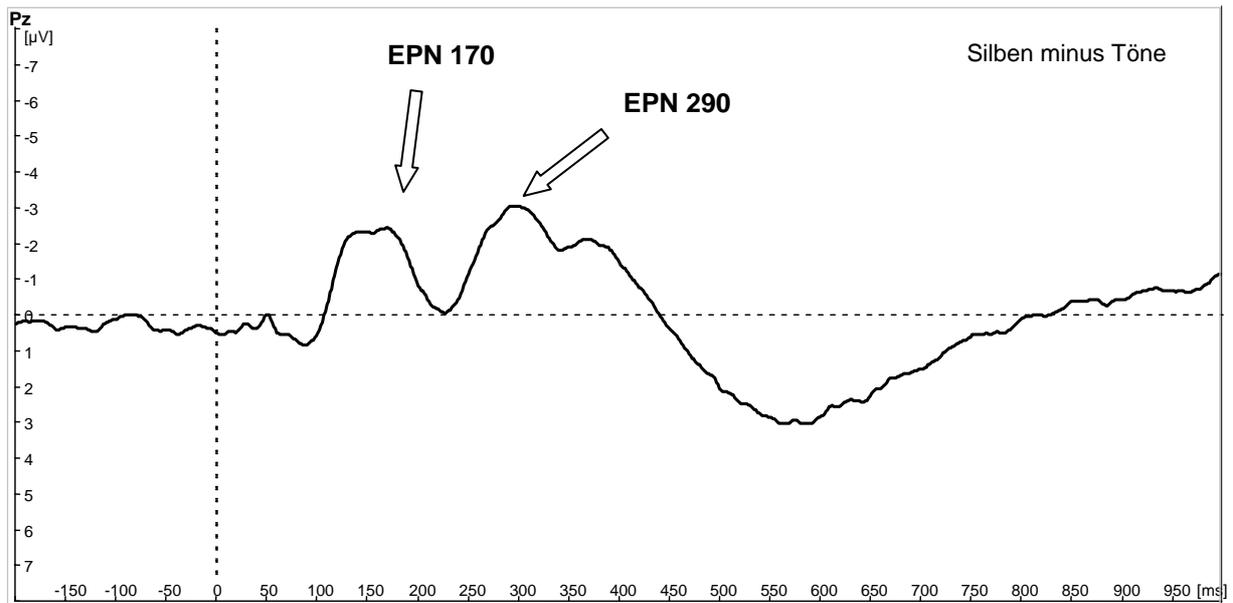


Abb. 13: Differenz der Grand Averages im Kanal Pz: Silben minus Töne: erster Gipfel EPN 170 bei 170 ms, zweiter Gipfel EPN 290 bei 293 ms ($-3 \mu\text{V}$)

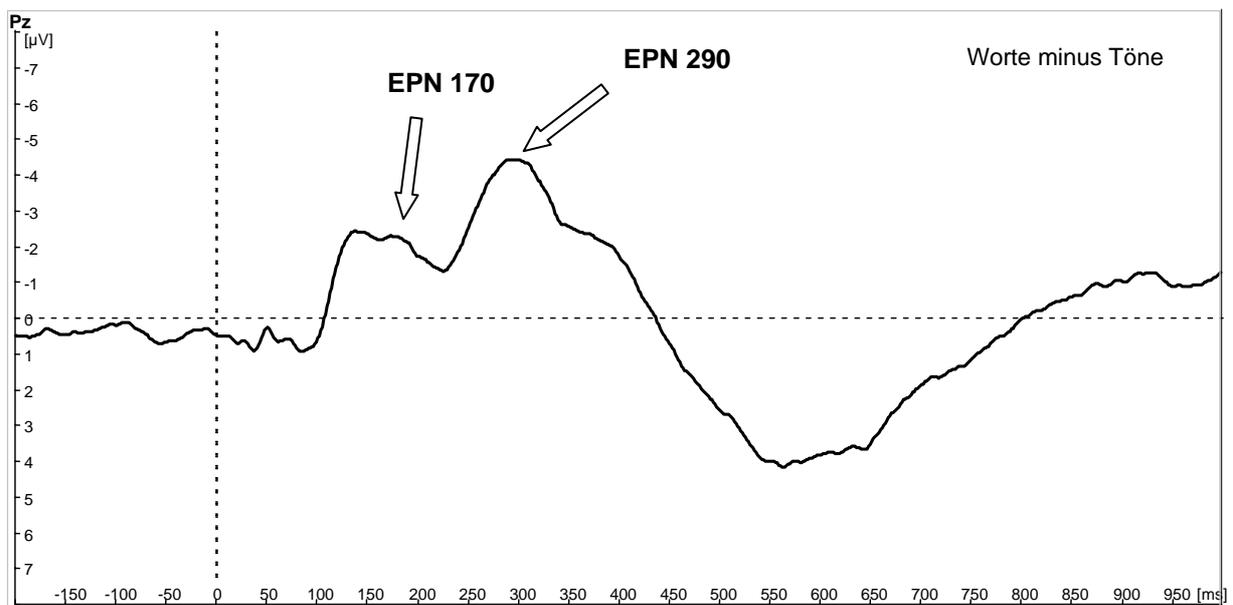


Abb. 14: Differenz der Grand Averages im Kanal Pz: Worte minus Töne: erster Gipfel: EPN 170 bei 170 ms, zweiter Gipfel EPN 290 bei 293ms ($-4,4 \mu\text{V}$)

Ergebnisse

3.2.2. Die Peak-Analyse der EPN 170

Die Amplituden und Latenzzeiten wurden im repräsentativen Kanal Pz gemessen. Die Amplituden der EPN 170 waren bei emotionalen Paradigmen signifikant höher als beim neutralen Vergleichsparadigma (Töne):

Die Amplituden der Silben ($-2,32 \mu\text{V}$; SD: 1,67) waren signifikant höher als diejenigen der Töne ($0,01 \mu\text{V}$; SD: 1,99) ($t = 8,79$; $df = 28$; $p < 0,001$). Die Amplituden der Worte ($-2,41 \mu\text{V}$; SD: 1,35) waren ebenfalls signifikant höher als diejenigen der Töne ($t = 8,75$; $df = 28$; $p < 0,001$).

Die Amplituden von hohen ($-0,19 \mu\text{V}$; SD: 2,21) und von tiefen Tönen ($-0,03 \mu\text{V}$; SD: 1,92) unterschieden sich nicht signifikant voneinander. Ebenso unterschieden sich die Amplituden der negativen ($-2,54 \mu\text{V}$; SD: 1,84) nicht von denen der positiven Silben ($-2,40 \mu\text{V}$; SD: 1,73) sowie die Amplituden der negativen ($-2,54 \mu\text{V}$; SD: 1,59) nicht von denen der positiven Worte ($-2,59 \mu\text{V}$; SD: 1,44).

Die mittlere EPN 170-Latenz betrug bei Tönen 172 ms (SD: 16,1), bei Silben 166 ms (SD: 12,1) und bei Worten 170 ms (SD: 15,1). Die Latenzzeiten der drei Bedingungen ließen also keinen signifikanten Unterschied erkennen.

3.2.3. Hemisphärenunterschied bei emotionalen Paradigmen

Die EPN 170 konnte auch beim Grand Average in den Kanälen P3 und P4 identifiziert werden. Bei den emotionalen Paradigmen (Silben und Worte) zeigte sich im Gegensatz zur nicht emotionalen Vergleichsbedingung (Töne) eine höhere EPN 170-Amplitude in P3 als in P4, also eine verstärkte Aktivierung der linken Hemisphäre im Vergleich zur rechten (dargestellt in den Abb. 15, 16, 17 und 18):

Die Amplitude der Silben war in P3 (- 3,16 μV ; SD: 1,83) höher als in P4 (- 2,34 μV ; SD: 1,52) ($t = -2,98$; $df = 28$; $p = 0,006$). Die Amplitude der Worte war in P3 (- 2,74 μV ; SD: 1,50) höher als in P4 (- 2,26 μV ; SD: 1,27) ($t = -2,00$; $df = 28$; $p = 0,054$).

Die Amplitude der Töne in P3 (- 1,06 μV ; SD: 1,48) unterschied sich hingegen kaum von der Amplitude in P4 (- 0,86 μV ; SD: 1,76) ($t = -0,78$; $df = 28$; $p = 0,442$).

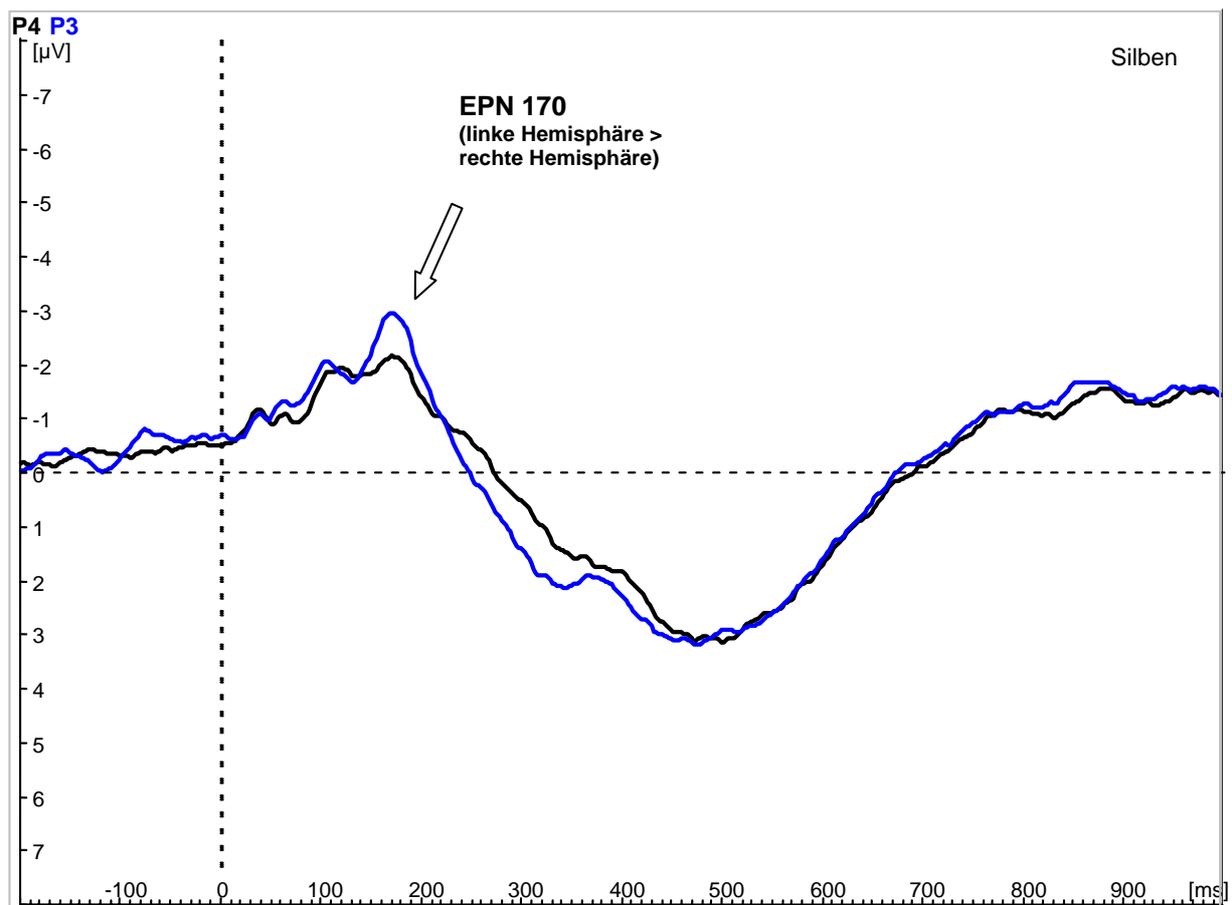


Abb. 15: Grand Averages Silben: schwarze Linie = Kanal P4, blaue Linie = Kanal P3

Ergebnisse

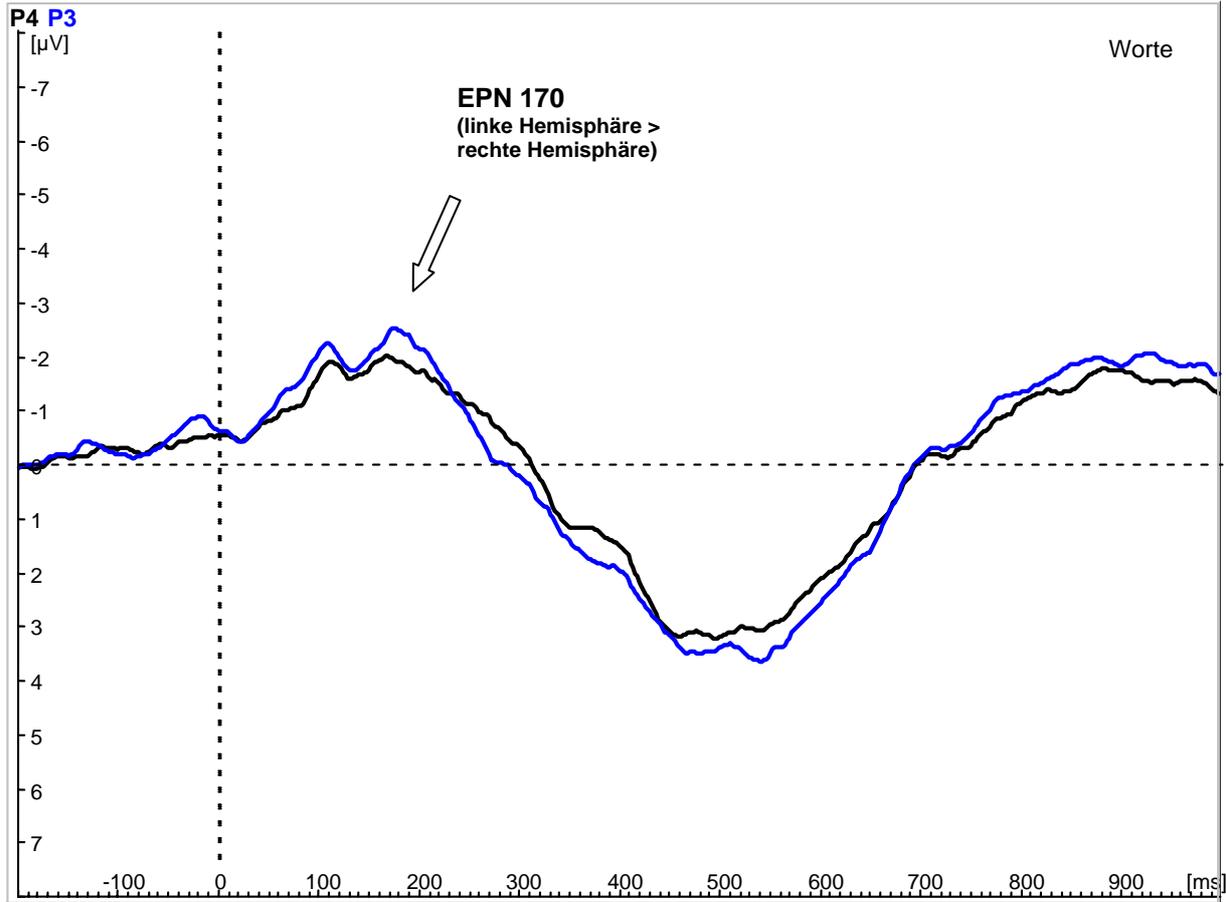


Abb.16: Grand Averages Worte: schwarze Linie = Kanal P4, blaue Linie = Kanal P3

Ergebnisse

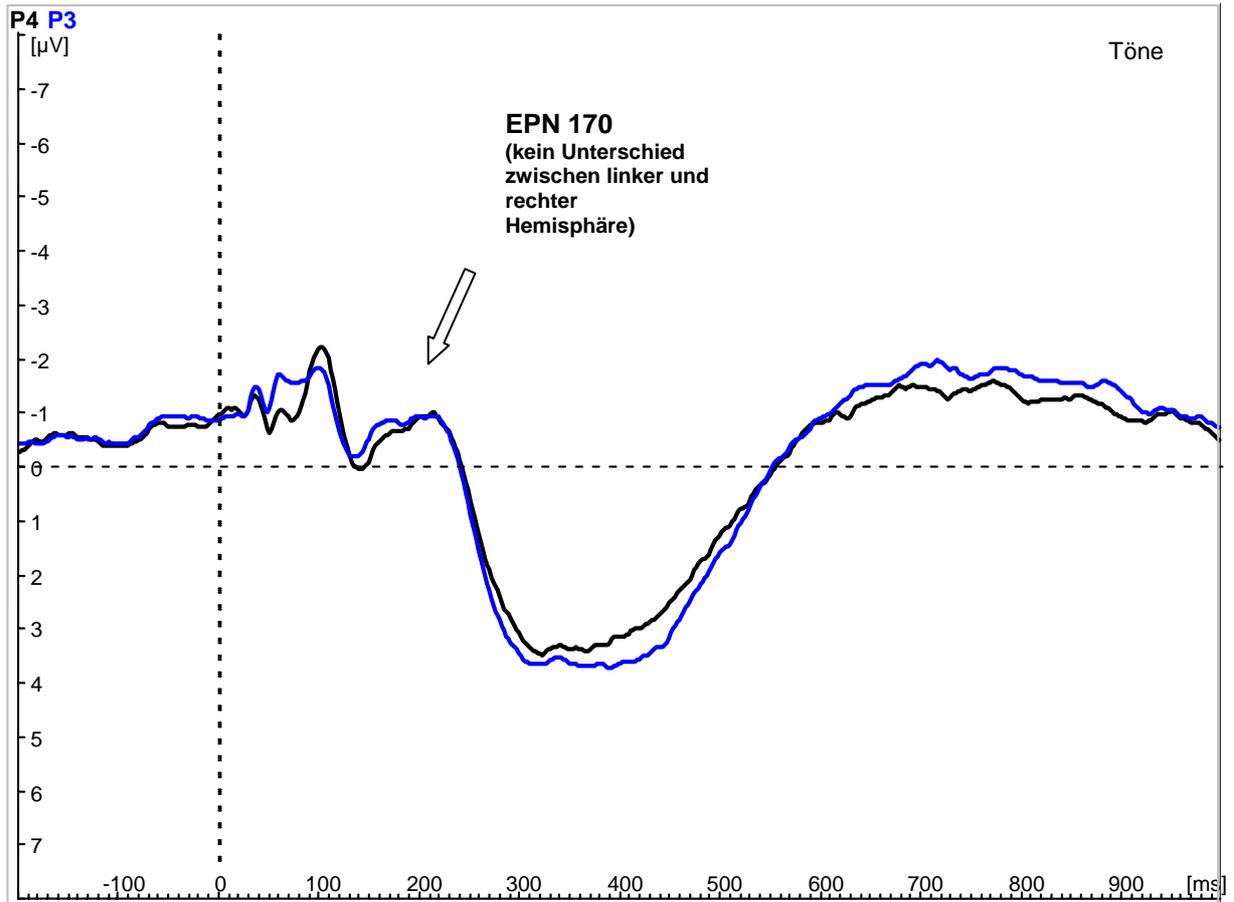


Abb. 17: Grand Average Töne: schwarze Linie = Kanal P4, blaue Linie = Kanal P3

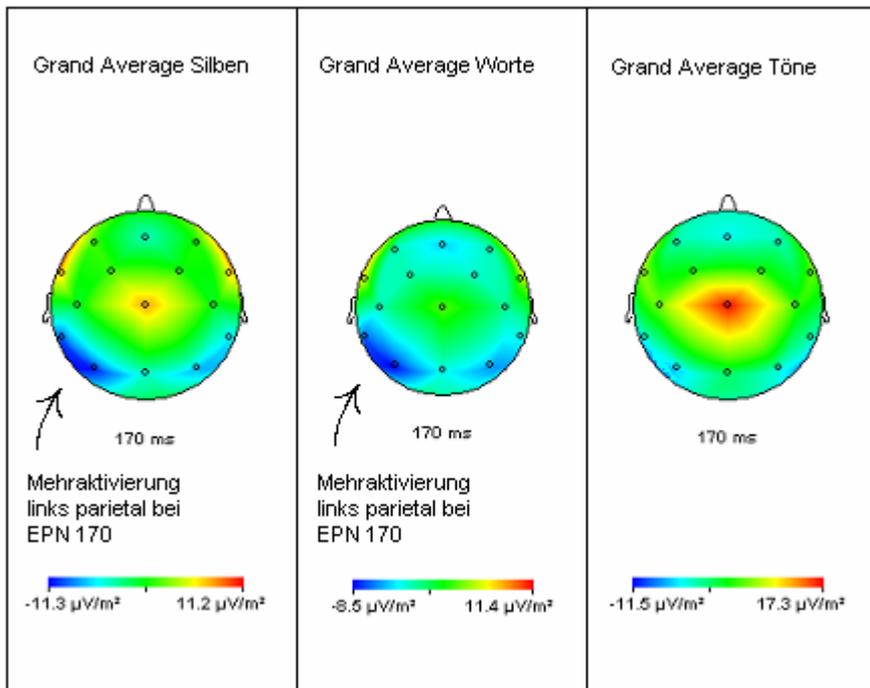


Abb. 18: Der schwarze Pfeil zeigt auf eine Mehraktivierung links parietal beim Peak (170ms) bei Worten und bei Silben.

3.3. Die Lokalisation mit LORETA

3.3.1. Lokalisation der EPN 170 mit LORETA

Die Lokalisation der EPN 170 erfolgte anhand der Differenzwelle. Die LORETA-Analyse wurde beim Peak (170 ms) durchgeführt.

Silben minus Töne bei 170 ms:

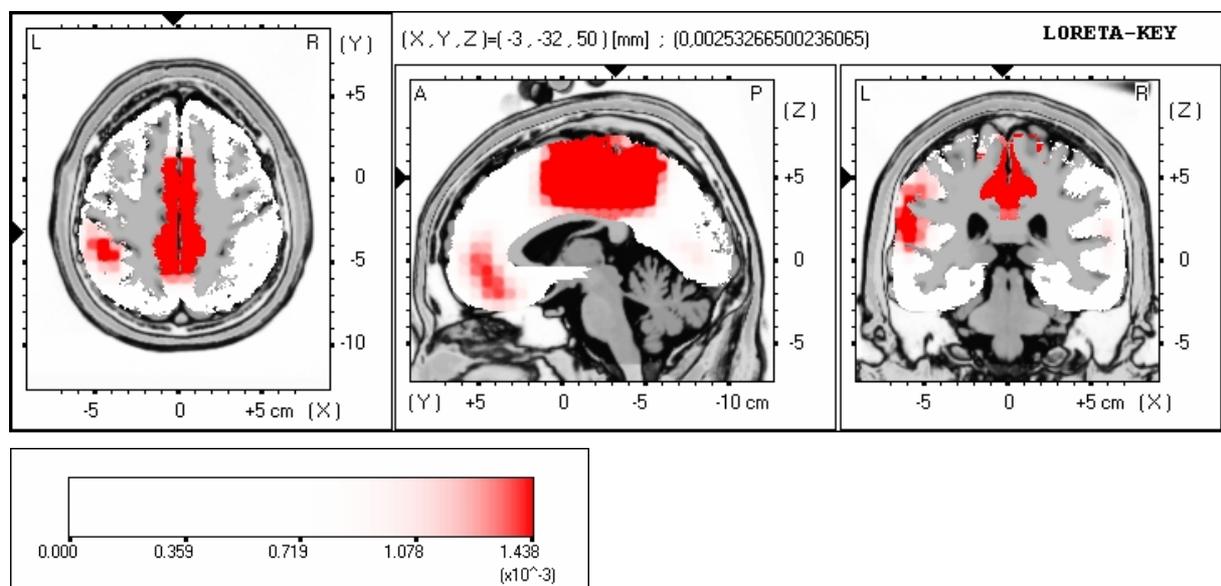


Abb. 19: Maximum im Lobulus paracentralis links (BA 31/5, x, y, z = -3, -32, 50)

Weitere Orte der maximalen Stromdichte sind in Tab. 4 dargestellt:

LORETA-Lokalisation	Brod-mann Areal	Talairach Koordinaten			Stromdichte in $\mu\text{A}/\text{mm}^2$
		x	y	z	
G. frontalis med. links	6	-3	-11	57	$2,54 \times 10^{-3}$
Lobulus paracentralis links	31/5	-3	-32	50	$2,53 \times 10^{-3}$
Lobulus parietalis inf. links	40	-59	-32	22	$2,53 \times 10^{-3}$
Lobulus parietalis inf. links	40	-45	-39	50	$1,76 \times 10^{-3}$
G. frontalis med. links/ ACC links	10/ 32	-3	45	-6	$1,42 \times 10^{-3}$

Tab. 4: Lokalisationen der maximalen Stromdichte bei der EPN 170 (Silben minus Töne)

Ergebnisse

Worte minus Töne bei 170 ms:

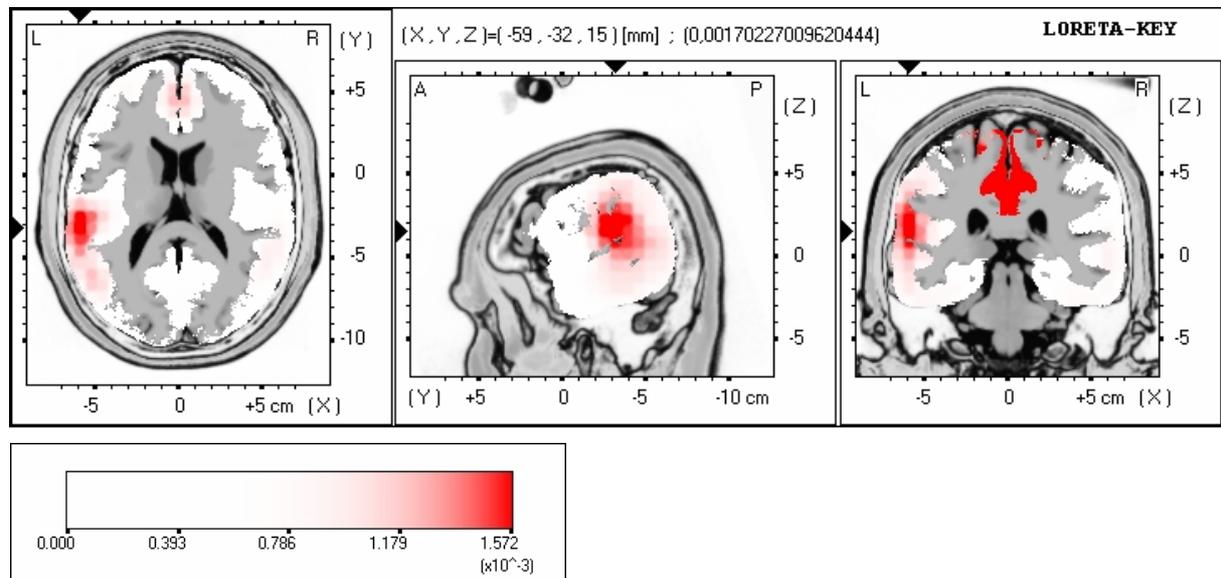


Abb 20.: Maximum im Gyrus temporalis superior links (BA 42, x, y, z = -59, -32, 15)

Weitere Orte der maximalen Stromdichte sind in Tab. 5 dargestellt:

LORETA-Lokalisation	Brodmann Areal	Talairach Koordinaten			Stromdichte in $\mu\text{A}/\text{mm}^2$
		x	y	z	
G. frontalis med. links	6	-3	-11	64	$3,68 \times 10^{-3}$
Lobulus paracentralis links	31/5	-3	-32	50	$3,52 \times 10^{-3}$
G. frontalis med. links/ ACC links	10/ 32	-3	45	-6	$1,79 \times 10^{-3}$
Lobulus parietalis inf. links	40	-59	-32	22	$1,70 \times 10^{-3}$
G. temporalis sup. links	42	-59	-32	15	$1,70 \times 10^{-3}$

Tab. 5: Lokalisationen der maximalen Stromdichte bei der EPN 170 (Worte minus Töne)

Ergebnisse

3.3.2. Lokalisation der EPN 290-Komponente mit LORETA

Die Lokalisation der zweiten EPN-Komponente erfolgte ebenfalls anhand der Differenzwelle. Die LORETA-Analyse wurde beim zweiten Peak der Differenzwelle (293 ms) durchgeführt.

Silben minus Töne beim Peak (293 ms):

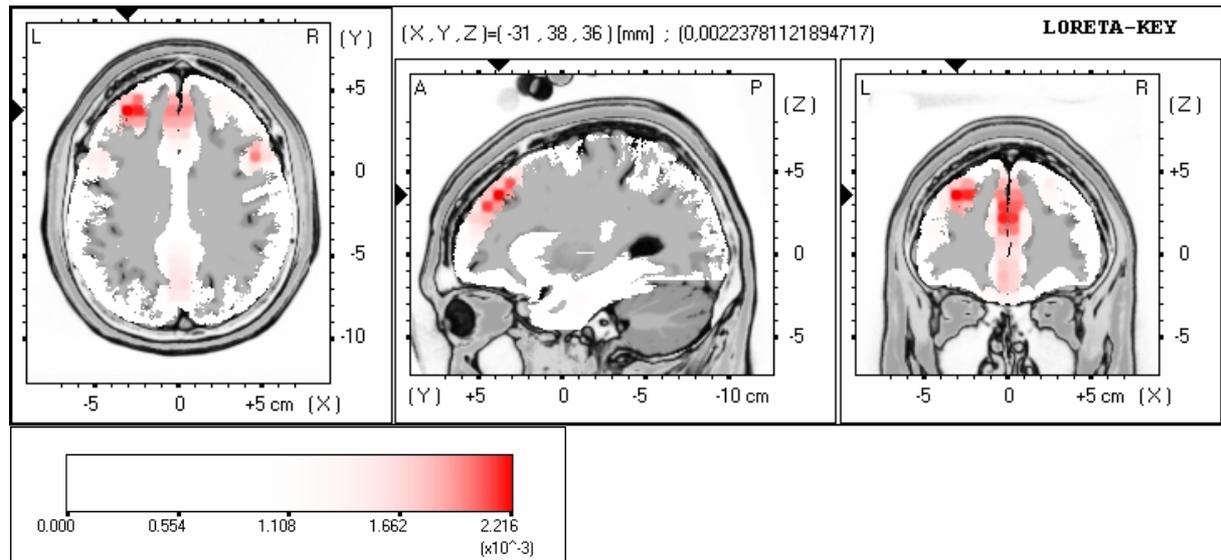


Abb. 21: Maximum im Gyrus frontalis medialis links (BA 9, x, y, z = -31, 38, 36)

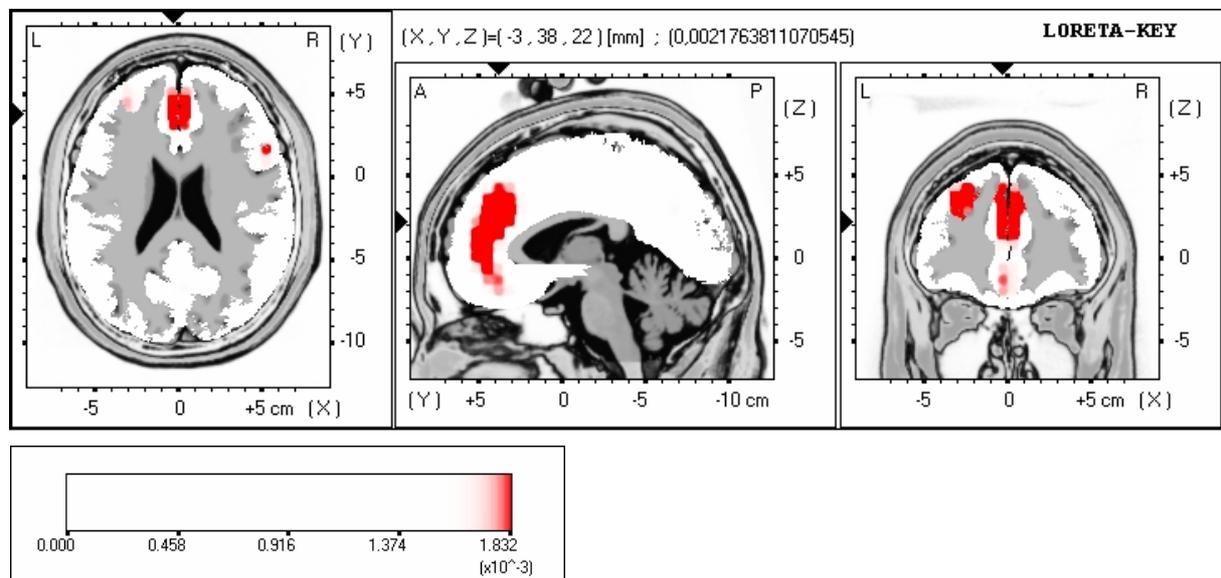


Abb. 22: Maximum im ACC links (BA 32/24, x, y, z = -3, 38, 22)

Ergebnisse

Weitere Orte der maximalen Stromdichte sind in Tab. 6 dargestellt:

LORETA-Lokalisation	Brodmann Areal	Talairach Koordinaten			Stromdichte in $\mu\text{A}/\text{mm}^2$
		x	y	z	
G. frontalis med. links	9	-31	38	36	$2,24 \times 10^{-3}$
Insula rechts/ G. temporalis sup. rechts	13/ 22	46	10	1	$2,19 \times 10^{-3}$
ACC links	32/24	-3	38	22	$2,18 \times 10^{-3}$

Tab. 6: Lokalisationen der maximalen Stromdichte bei 293 ms (Silben minus Töne)

Ergebnisse

Worte minus Töne beim Peak (293 ms):

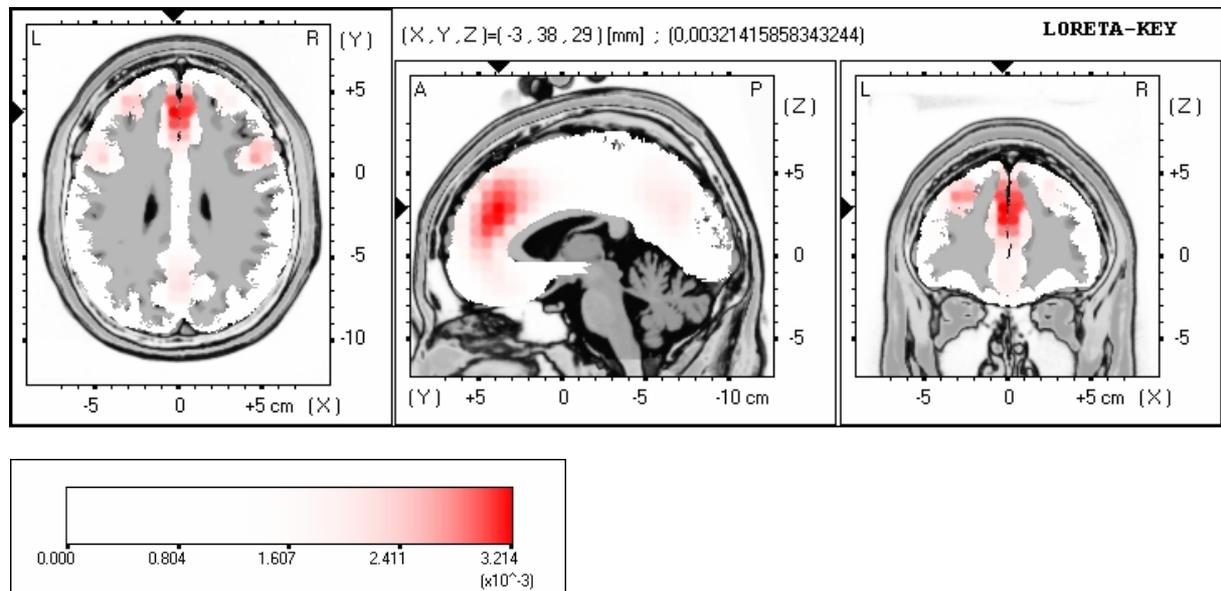


Abb. 23: Maximum im anterioren cingulären Cortex links (BA 32, x, y, z = -3, 38, 29)

Weitere Orte der maximalen Stromdichte sind in Tab. 7 dargestellt:

LORETA-Lokalisation	Brodmann Areal	Talairach Koordinaten			Stromdichte in $\mu\text{A}/\text{mm}^2$
		x	y	z	
ACC links/ G. frontalis med. links	32/ 9	-3	38	29	$3,21 \times 10^{-3}$
G. temporalis med. links	21	-52	3	-20	$2,86 \times 10^{-3}$
G. frontalis med. links	9	-31	38	36	$2,81 \times 10^{-3}$

Tab. 7: Lokalisationen der maximalen Stromdichte bei 293ms (Worte minus Töne)

3.4. Zusammenhang der EPN 170 mit Persönlichkeitsmerkmalen

3.4.1. Korrelationen der EPN 170 mit Persönlichkeitsmerkmalen

Das Persönlichkeitsmerkmal Extraversion korreliert mit der Höhe der EPN 170 bei emotionalen Paradigmen (Abb. 23, 24 und 25):

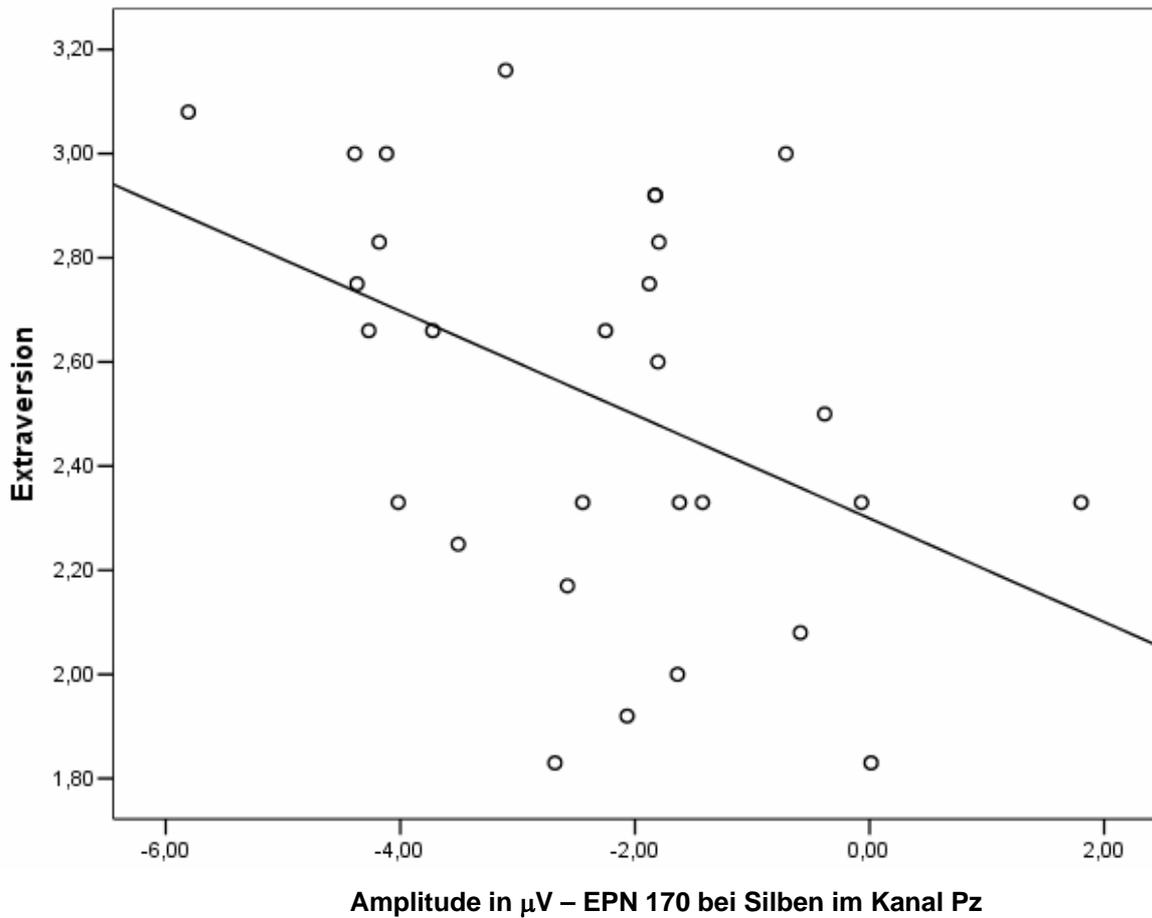


Abb. 24: Korrelation Extraversion mit EPN 170 bei Silben im Kanal Pz ($r_s = -0,41$, $p = 0,02$)

Ergebnisse

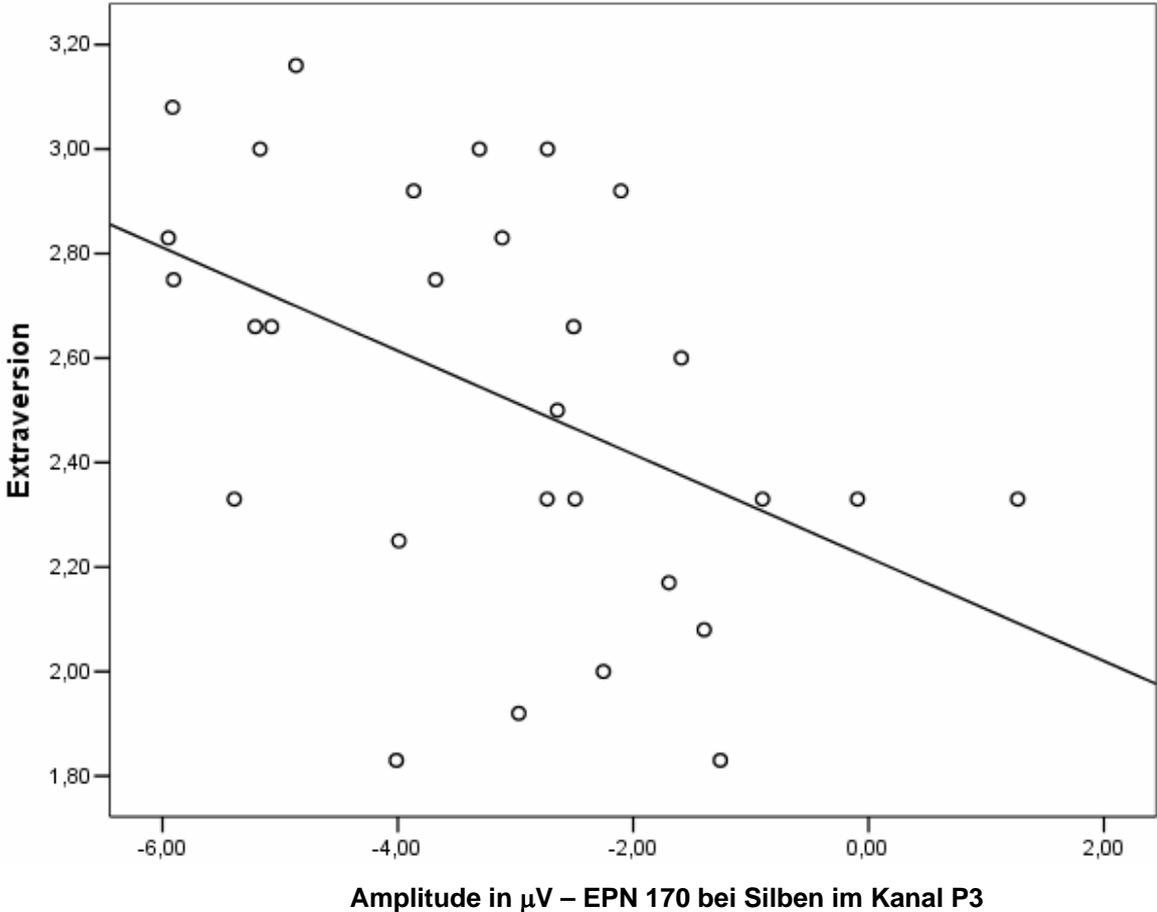


Abb. 25: Korrelation Extraversion mit EPN 170 bei Silben im Kanal P3 ($r_s = - 0,47, p = 0,01$)

Ergebnisse

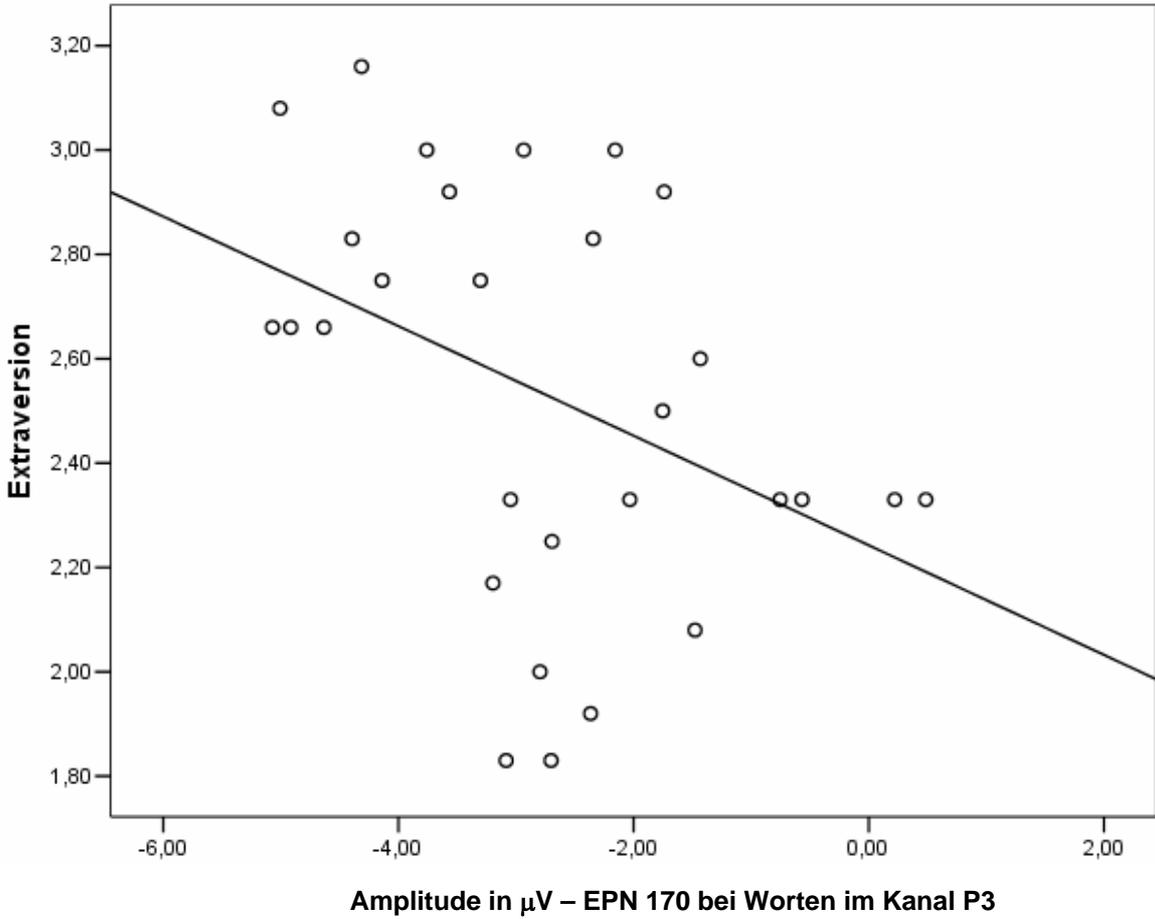


Abb. 26: Korrelation Extraversion mit EPN 170 bei Worten im Kanal P3 ($r_s = 0,40$, $p = 0,03$)

Ergebnisse

3.4.2. Vergleich der Gruppe der Extravertierten mit Introvertierten bei der EPN 170

Probanden der Gruppe 2 (Extravertierte) zeigten verglichen mit den Probanden der Gruppe 1 (Introvertierte) bei den emotionalen Paradigmen (Silben und Worte), nicht jedoch beim Vergleichsparadigma Töne, signifikant höhere EPN-170 Amplituden in Kanal P3.

Die Amplitude der EPN 170 in P3 für Silben war bei der Gruppe der Extravertierten höher ($-4,07 \mu\text{V}$; SD: 1,47) als bei der Gruppe der Introvertierten ($-2,18 \mu\text{V}$; SD: 1,70) ($t = 3,19$; $df = 27$; $p = 0,004$). Die Amplitude für Worte war ebenfalls bei der Gruppe der Extravertierten höher ($-3,60 \mu\text{V}$; SD: 1,22) als bei der Gruppe der Introvertierten ($-1,84 \mu\text{V}$; SD: 1,24) ($t = 3,80$; $df = 27$; $p = 0,001$).

Die Amplitude für Töne bei der Gruppe der Extravertierten ($-1,44 \mu\text{V}$; SD 1,66) unterschied sich nicht signifikant von derjenigen der Gruppe der Introvertierten ($-0,66 \mu\text{V}$; SD: 1,19) ($t = 1,44$; $df = 27$; $p = 0,16$).

Die Ergebnisse sind in den folgenden Abb. 26, 27 und 28 veranschaulicht:

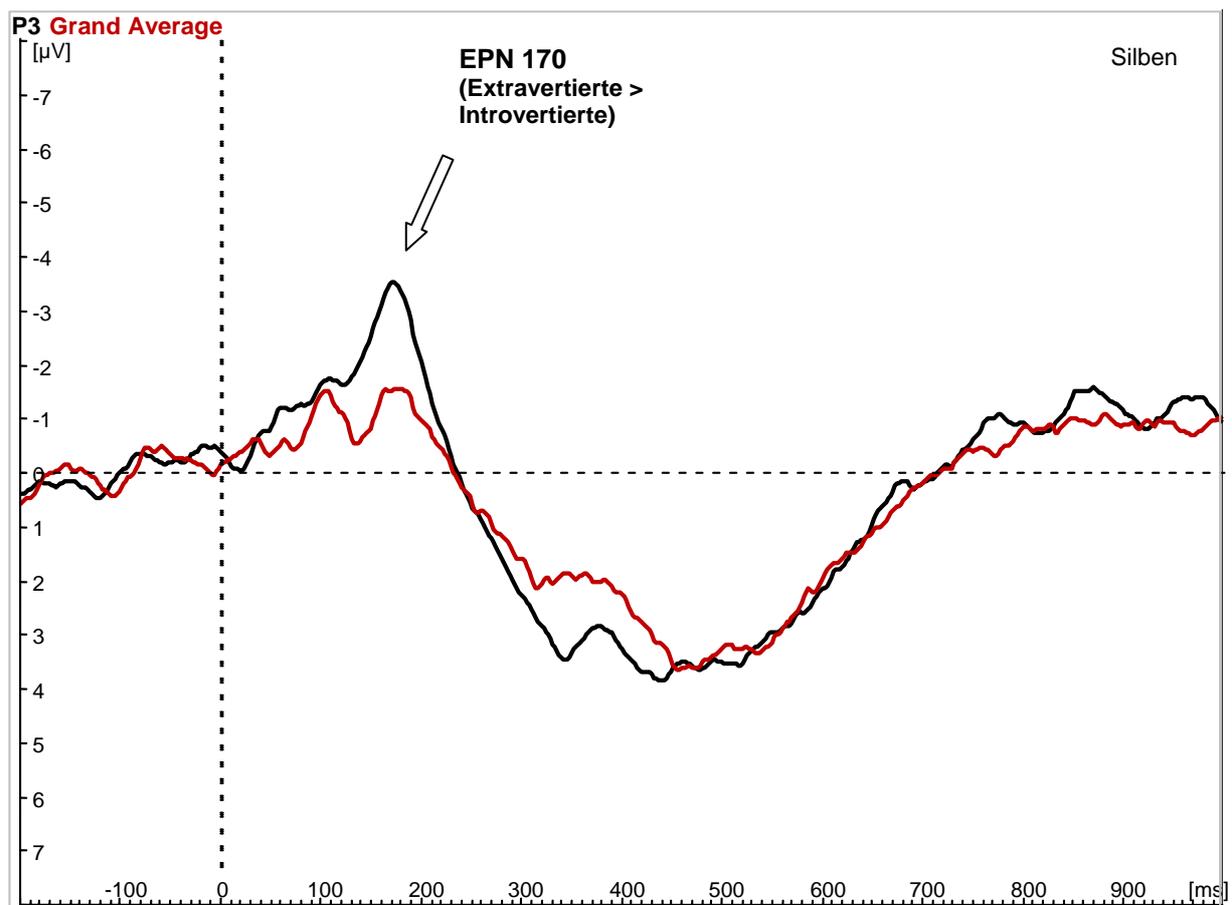


Abb. 27: Grand Averages **Silben**: schwarze Linie = Extravertierte; rote Linie = Introvertierte

Ergebnisse

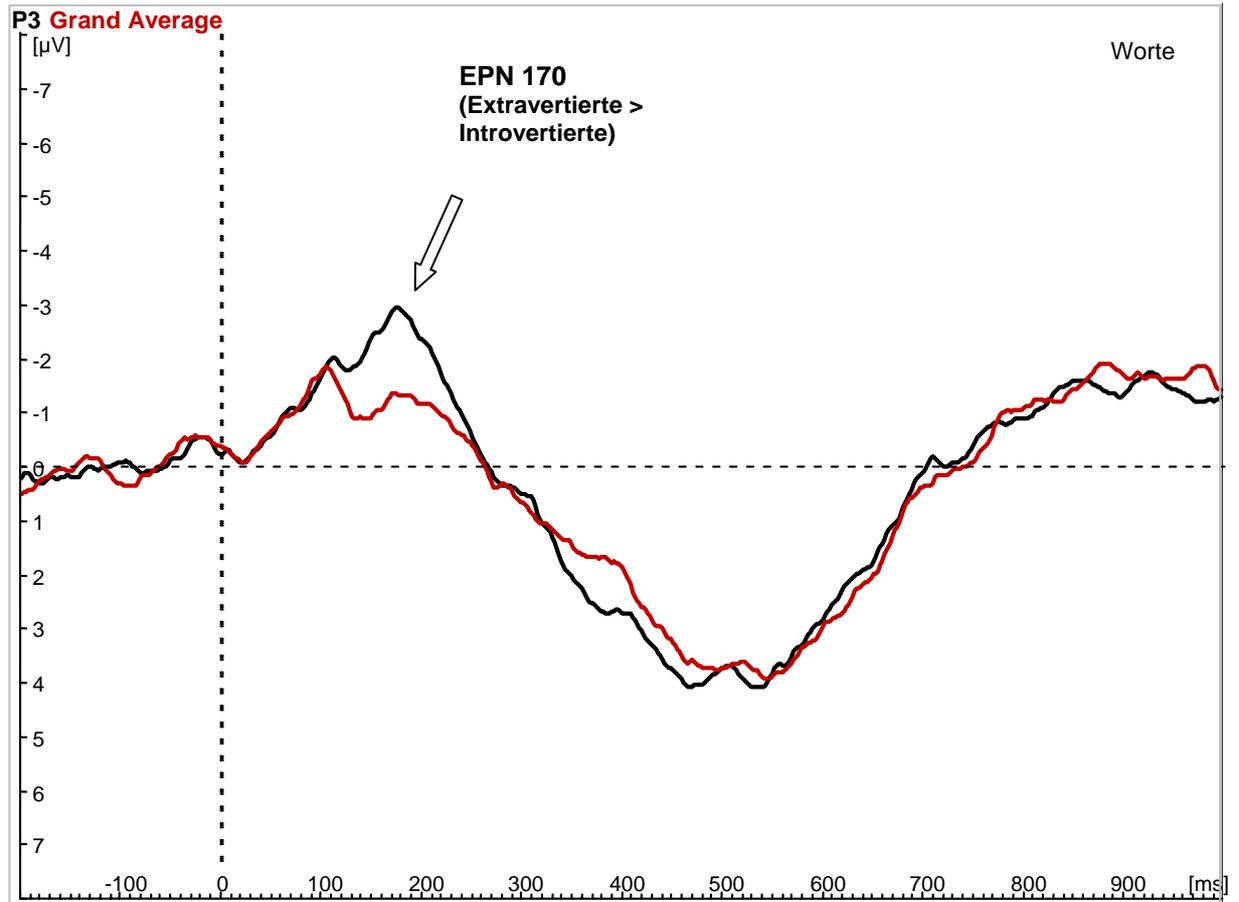


Abb. 28: Grand Averages **Worte**: schwarze Linie = Extravertierte; rote Linie = Introvertierte, Extravertierte zeigen höhere Amplituden als Introvertierte in P3.

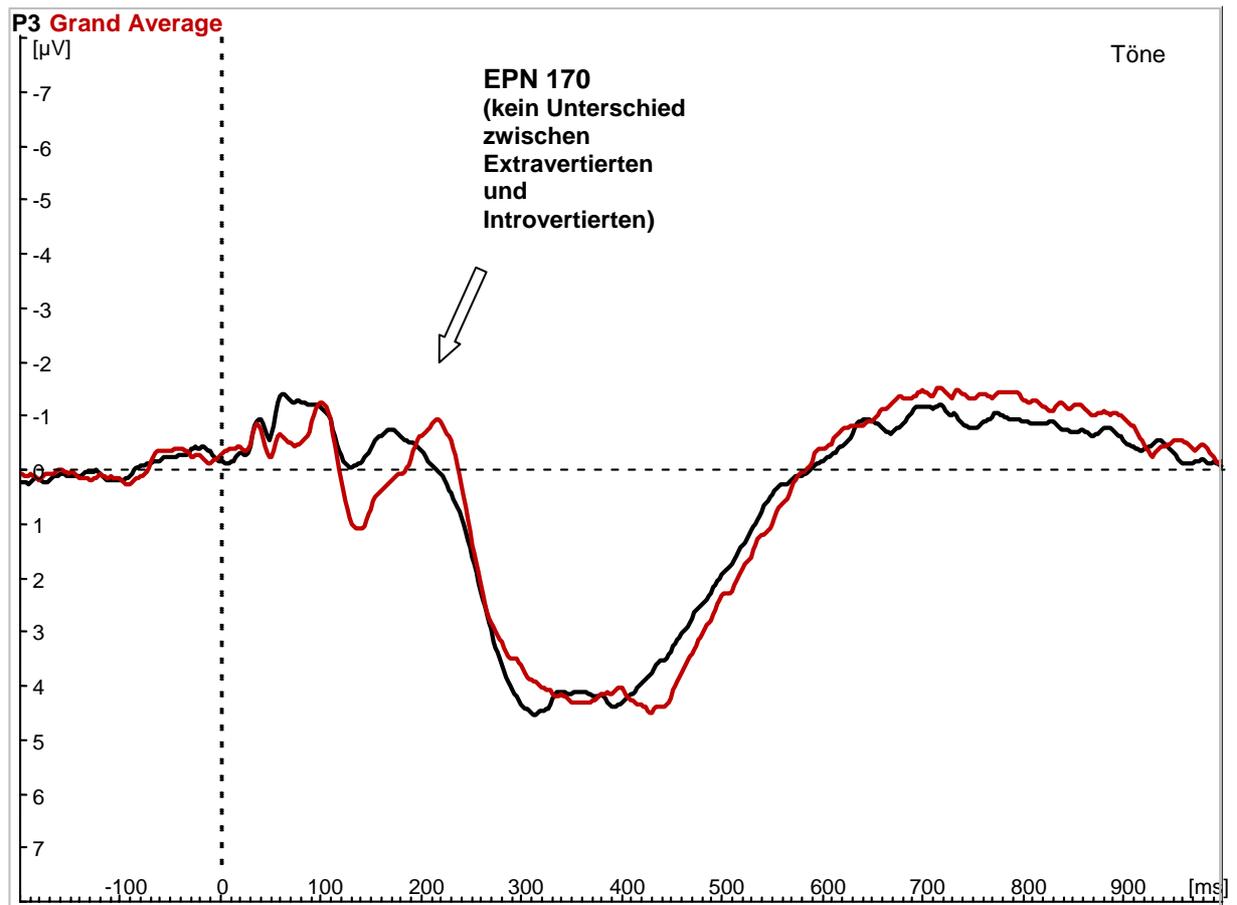


Abb. 29: Grand Averages **Töne**: schwarze Linie: Extravertierte; rote Linie: Introvertierte, kein Unterschiede in der Amplitudenhöhe zwischen Extravertierten und Introvertierten bei EPN 170

4. Diskussion

(1) Erstmals konnte bei einem akustischen Stroop-Paradigma eine kortikale, parietal lokalisierte „early posterior negativity“ (EPN) entdeckt werden, welche die Wahrnehmung und Verarbeitung emotionaler Reize im akustischen System repräsentiert. Sie teilt sich im Wesentlichen in zwei Komponenten auf. Die erste Komponente zeigt sich in Form eines negativen Peaks bei 170 ms post Stimulus und wird als neue Komponente eines akustisch evozierten Potentials mit „EPN 170“ bezeichnet.

Eine zweite Komponente der EPN konnte als Linienverschiebung in Richtung Negativität bei den emotionalen Paradigmen (Silben und Worte) im Vergleich zum neutralen Paradigma (Töne) gefunden werden. Der Unterschied zwischen den EEG-Linien der emotionalen Paradigmen und des neutralen Paradigmas zeigte sein Maximum bei 293 ms („EPN 290“).

In unserer Studie konnte erstmals mittels akustischer Präsentation von emotionalen Reizen eine EPN gemessen werden. Sie zeigte sich bilateral über den parietalen Elektroden mit einer deutlicheren Ausprägung über der linken Seite.

(2) Die Lokalisation der EPN 170 mit LORETA ergab bei den emotionalen Paradigmen (Silben und Worte) im Vergleich zum neutralen Paradigma (Töne) eine verstärkte Aktivierung im inferioren Parietallappen (BA 40) der linken Hemisphäre. Weitere aktive Gehirnregionen waren der supplementäre/cinguläre motorische Cortex (SMA/CMA) links (Gyrus frontalis medialis, BA 6), der Lobulus paracentralis links (BA 31/5), der ventrale anteriore cinguläre Cortex (ACC, BA 32) sowie der Gyrus temporalis superior (BA 42) der linken Hemisphäre.

Die Analyse der EPN 290 ergab eine vermehrte Aktivierung im dorsolateralen präfrontalen Cortex links (DLPFC, BA 9), im ventralen und dorsalen ACC links (BA 32/24) sowie im superioren rechten (BA 22) und medialen linken (BA 21) temporalen Gyrus.

(3) Im dritten Abschnitt unserer Studie prüften wir interindividuelle Unterschiede der Wahrnehmung von Emotionen anhand des Zusammenhangs zwischen der EPN 170 und den verschiedenen vorgestellten Persönlichkeitsmerkmalen. Bei den emotionalen Paradigmen (Silben und Worte) ergab sich eine signifikant höhere EPN 170-Amplitude bei der Gruppe der extravertierten im Vergleich zu den introvertierten Probanden. Im neutralen Paradigma hingegen, bei dem das bloße Unterscheiden zweier Töne verlangt war, konnte kein Unterschied zwischen Extravertierten und Introvertierten festgestellt werden.

4.1. Die „early posterior negativity“ (EPN)

Erstmals konnte in einem akustischen Stroop-Paradigma eine parietale „early posterior negativity“ (EPN) gemessen werden, die sich in Form von zwei Komponenten präsentiert. Die erste Komponente, die EPN 170, zeigt sich als negativer Peak bei 170 ms im Vergleich der emotionalen Paradigmen (Silben und Worte) mit dem neutralen Paradigma (Töne). Die zweite Komponente, die EPN 290, präsentiert sich als Linienverschiebung in negativer Richtung mit maximalem Unterschied zwischen den eben genannten Paradigmen bei 293 ms. Diese Ergebnisse stimmen gut mit den ersten Beschreibungen der EPN im visuellen System überein. Junghöfer et al. präsentierten ihren Probanden emotionale Bilder mit hoher bzw. sehr hoher Darbietungsgeschwindigkeit (3/5 Hz). Die Probanden mussten dabei einen markierten Punkt in der Bildschirmmitte mit den Augen fixieren und keine weiteren Aufgaben ausführen. Die ereigniskorrelierten Potentiale zeigten für stark emotionale Bilder im Vergleich zu neutralen Bildern eine verstärkte Negativität, die sich um 150 ms entwickelte und ihr Maximum bei ca. 260 ms erreichte. Die Negativität wurde vor allem bilateral über dem okzipitalen sowie über dem rechten parietalen Cortex gemessen (Junghöfer et al., 2001).

An die Studie von Junghöfer et al. anknüpfend, konnte in einem weiteren Versuch mit Bildern von Schupp et al. ebenfalls eine EPN identifiziert werden (Schupp et al., 2003). Im Unterschied zur ersten Studie war hier der Versuchsaufbau insofern verändert, als die Probanden eine Übung ausführen mussten, welche Aufmerksamkeit erforderte. Die Aufmerksamkeit der Probanden wurde mit Hilfe einer kognitiven Aufgabe (Selektieren und Zählen von Bildern mit farbigen Rechtecken, die in der emotionalen Bilderabfolge dazwischen gestreut waren) von den emotionalen Bildern abgelenkt. Die Analyse der Komponenten für selektive Emotionsverarbeitung erfolgte getrennt von der kognitiven Übung.

Obwohl die Aufmerksamkeit nicht auf die emotionalen Bilder gelenkt war und beispielsweise keine Kategorisierung der Reize in emotionale oder neutrale Reize verlangt war, konnte eine selektive Verarbeitung der positiven und negativen Bilder in Form einer temporo-okzipitalen Negativität beobachtet werden. Im Vergleich zu neutralen Bildern zeigte sich bei emotionalen Bildern eine signifikant höhere Negativität, die sich um 150 ms entwickelte und den maximalen Unterschied zu neutralen Bildern zwischen 232 und 292 ms ausbildete. Es wurde eine leichte Lateralisierung nach rechts ($p < 0,08$) beobachtet.

Diskussion

Auch in unserer Studie war die Wahrnehmung von emotionalen Reizen mit einer Aufmerksamkeit erfordernden Aufgabe gekoppelt. Dies unterstützt die Hypothese, dass die emotionale Reizwahrnehmung unabhängig davon erfolgt, ob Aufmerksamkeit für eine kognitive Aufgabe verlangt wird. Unsere Ergebnisse weisen zusammen mit anderen Ergebnissen (Junghöfer et al., 2001; Schupp et al. 2003; Schupp et al., 2004) darauf hin, dass die selektive Verarbeitung emotionaler Reize nicht von der Art der kognitiven Aufgabe (z.B. das Zählen von Linien oder die Kategorisierung der Emotionen in positiv und negativ, wie sie in unserem Paradigma verlangt war) abhängt. Die frühe Detektion emotionaler Reize könnte dafür zuständig sein, die Relevanz der Reize rechtzeitig zu beurteilen und ihnen im Falle hoher Relevanz bevorzugte, schnelle Verarbeitung zu gewähren (Schupp et al., 2003.)

Bei Schupp et al. (2003) wurde die EPN ähnlich wie in unserer Studie in zwei Komponenten unterteilt. Das erste Zeitfenster wurde von 160 bis 224 ms festgelegt, das zweite Fenster von 232 bis 292 ms. Die EPN zeigt sich bei Schupps Studie in Form einer Linienverschiebung in negativer Richtung. Ein eigener Peak für die emotionalen Paradigmen kann im Unterschied zu unserer Studie nicht identifiziert werden. Eine Erklärung, warum die EPN in zwei verschiedenen Fenstern analysiert wurde, bleibt aus.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die EPN im akustischen Paradigma der EPN im visuellen Paradigma in ihrer Ausprägung ähnlich ist. Sie unterscheidet sich allerdings wesentlich durch den neuen Peak bei 170 ms, der in dieser Form bei den oben genannten Studien mit visuellen Stimuli nicht gefunden werden konnte. Außerdem zeigt sich die EPN im visuellen Paradigma mehr nach rechts lateralisiert, während im akustischen Paradigma eine signifikante Mehraktivierung der linken Hemisphäre zu vermerken ist.

Was den Einfluss von Aufmerksamkeit auf die EPN anbetrifft, sollen noch folgende zwei Studien erwähnt werden. In einer fMRT-Studie von Pessoa et al. (2002) konnte interessanterweise gezeigt werden, dass Regionen, die typischerweise beim Erkennen von Gesichtern aktiviert werden, nicht mehr aktiv waren, wenn die Aufmerksamkeit durch eine besonders schwierige Aufgabe von der Gesichtererkennung abgelenkt wurde. Anscheinend besteht eine Abhängigkeit der Emotionsverarbeitung von den zur Verfügung stehenden Aufmerksamkeitsressourcen.

Diskussion

In einer Studie von Wieser et al. (2005) wurde die EPN-Analyse erstmals auch bei Patienten durchgeführt. Die EPN von Patienten mit M. Parkinson wurde mit der von gesunden Probanden verglichen. Bei der Studie wurden Bilder mit hohem und niedrigem emotionalen Gehalt in rascher Abfolge gezeigt. Dabei mussten weder kognitiven Aufgaben, noch eine Kategorisierung der Bilder ausgeführt werden. Die EPN konnte für emotional erregende Bilder in parietalen und okzipitalen Regionen gemessen werden, allerdings bestand kein Unterschied zwischen Patienten und Probanden. Die Autoren schließen daraus, dass die EPN nicht von kognitiven und exekutiven Fähigkeiten abhängt, die bei dieser Studie nicht verlangt waren und bei Parkinson-Patienten als vermindert gelten (Pillon et al., 1996). Auch diese Studie spricht für eine bevorzugte selektive Verarbeitung relevanter emotionaler Reize.

Inwiefern die Aufmerksamkeit Einfluss auf die EPN 170 nimmt, war nicht Gegenstand unserer Studie. Es bleibt offen, ob und in welcher Weise die EPN 170 durch veränderte Aufmerksamkeitszustände beeinflusst wird. Weitere Untersuchungen sind notwendig, um den Zusammenhang der EPN 170 mit kognitiven Fähigkeiten und Aufmerksamkeit genauer zu untersuchen.

Die sogenannte „face-related“ N170 wurde als gesichtsspezifische Negativierung um 170 ms (in der Literatur variabel zwischen 140 und 220 ms) post Stimulus entdeckt und häufig repliziert (z.B. McCarthy et al., 1999, Pizzagalli et al., 2002 u.a.). Die N170 gilt als zuverlässiger Index einer detaillierten Wahrnehmung von Gesichtszügen. Aktuelle Studien beschäftigen sich damit, ob und welchen Einfluss die Extraktion emotionaler Reize aus Gesichtern bzw. emotionale Gesichtsausdrücke auf die N170 oder auf andere Komponenten der VEP haben. So fanden beispielsweise Batty und Taylor (2003) eine erhöhte N170-Amplitude bei der Präsentation von negativen im Vergleich zu neutralen oder positiven Gesichtern (s. a. Eger et al., 2002). Möglicherweise könnte dies ein Hinweis auf eine subkortikale Feedback-Schleife sein, bei der ein größeres, untergeordnetes, neuronales Netzwerk aktiviert und deswegen stärkere Aktivierung in Form einer Amplitudenerhöhung sichtbar wird. Alternativ wird eine unbewusste Mobilisation von Aufmerksamkeitsquellen diskutiert, die ebenfalls höhere Amplituden produzieren könnte (Vuilleumier et al., 2001).

Im Gegensatz zu diesen Befunden konnte in einer aktuellen Studie, bei der die Verarbeitung von bedrohlichen versus neutralen Gesichtsausdrücken untersucht wurde, keine Modulation der gesichtsspezifischen N170 durch den emotionalen Inhalt der Gesichter festgestellt werden

(Schupp et al., 2004). Vielmehr wurde eine signifikante Erhöhung der EPN-Amplitude ca. 200 ms post Stimulus mit einer maximalen Ausprägung zwischen 240 und 280 ms bei den bedrohlichen im Vergleich zu den neutralen Gesichtern gefunden. Die EPN war über temporo-okzipitalen Regionen lokalisiert, welche visuelle Verarbeitungszentren einschlossen. Die N170 steht nicht in Zusammenhang mit der EPN 170 in unserem akustischen Paradigma. Während die N170 als Ausdruck der Gesichtererkennung gilt, schreiben wir der EPN 170 die Funktion der Erkennung emotionaler Inhalte zu. Diese Auffassung befindet sich in Einklang mit den Befunden der oben genannten Studie, bei der eine eigene negative Komponente für die Erkennung emotionaler Ausdrücke in Gesichtern gefunden wurde, wobei die N170 unbeeinflusst blieb (Schupp et al., 2004).

4.2. Die Lokalisation mit LORETA

In unserer Studie konnte erstmals durch die akustische Präsentation von emotionalen Reizen eine EPN gemessen werden. Sie zeigte sich bilateral über den parietalen Elektroden mit einer deutlicheren Ausprägung über der linken Seite.

Die Lokalisation der EPN 170 mit LORETA bestätigte diese Messungen. Es wurde bei den emotionalen Paradigmen (Silben und Worte) im Vergleich zum neutralen Paradigma (Töne) eine verstärkte Aktivierung im inferioren Parietallappen (BA 40) der linken Hemisphäre gefunden. Weitere aktive Gehirnregionen waren der SMA/CMA links (BA 6), der Lobulus paracentralis links (BA 31/5), der ventrale ACC (BA 32) sowie der Gyrus temporalis superior (BA 42) der linken Hemisphäre.

Die Analyse der EPN 290 ergab eine vermehrte Aktivierung im dorsolateralen präfrontalen Cortex links (DLPFC, BA 9), im ventralen und dorsalen ACC links (BA 32/24) sowie im superioren rechten (BA 22) und medialen linken (BA 21) temporalen Gyrus.

Die Autoren Schupp et al. (2003) gehen davon aus, dass die neuronalen Hauptquellen des EPN-Potentials für die frühe Emotionserkennung in primären und sekundären visuellen Verarbeitungszentren lokalisiert sind. Aufgrund der Reproduzierbarkeit der EPN in einem akustischen Paradigma muss diese Interpretation neu überdacht werden. Möglicherweise werden parietale Regionen modalitätsunabhängig aktiviert.

Die Rolle des parietalen Cortex wird seit längerem im Zusammenhang mit der bewussten Kontrolle von Augenbewegungen sowie dem unbewussten Wechsel der visuellen

Diskussion

Aufmerksamkeit von einem Zielobjekt zu einem anderen diskutiert (Kastner und Ungerleider, 2000; Vandenberghe et al., 2001; Bisley und Goldberg, 2003). Dem posterioren parietalen Cortex insbesondere wird eine Rolle bei der Koordination visuell geleiteten lokalisationsbezogenen Verhaltens, wie zum Beispiel gerichtete Aufmerksamkeit auf ein Objekt und Zielbewegungen der Augen, zugeschrieben (Astafiev et al., 2003). Ebenso spielt der parietale Cortex eine Rolle bei der Kodierung räumlicher und nicht räumlicher Eigenschaften auditorischer Stimuli (Gordon et al., 2005). Dass der parietale Cortex auch in der auditorischen Modalität eine wichtige Kontrollfunktion ausübt, zeigten kürzlich auch Shomstein und Yantis (2006). Sie präsentierten ihren Probanden über Kopfhörer mehrere verschiedene Buchstaben sowie zwei Zahlen. In zwei verschiedenen Paradigmen wurden die akustischen Reize von einer männlichen und einer weiblichen Stimme simultan binaural präsentiert (nonspatial shift-Bedingung), bzw. wurde die weibliche Stimme auf dem einen Ohr, die männliche Stimme auf dem anderen Ohr präsentiert („spatial shift“-Bedingung). Die Aufgabe bestand bei beiden Paradigmen darin, beim Hören einer Zahl die Aufmerksamkeit von der weiblichen auf die männliche Stimme bzw. umgekehrt zu wechseln und dabei einen Knopf zu drücken. Bei beiden „Shift“-Bedingungen wurde der parietale Cortex vermehrt aktiviert. Dies stellt eine gute Übereinstimmung mit dem Ergebnis unserer Studie dar. Wir fanden ebenfalls eine Aktivierung des parietalen Cortex bei der binauralen Präsentation auditorischer Stimuli, bei der, vergleichbar mit der „nonspatial shift“-Bedingung, wechselnde Aufmerksamkeit auf verschiedene Stimuli verlangt war. Somit unterstützen wir die Annahme, dass der parietale Cortex nicht nur für die visuelle Domäne, sondern auch für nicht-visuelle Modalitäten eine Kontrollfunktion über die sensorische Orientierungs- und Aufmerksamkeitsreaktion ausübt. Darüber, ob der parietale Cortex eine besondere Rolle speziell bei der Entscheidungsfindung in Bezug auf emotionale Reize spielt, kann spekuliert werden. Auffallend ist, dass die early posterior negativity, die nur bei emotionalen Reizen aufgetreten ist, sowohl in unserer als auch in der Studie von Schupp et al. über parietalen/parietooccipitalen Elektroden lokalisiert ist. Passend dazu konnten wir eine vermehrte Aktivierung des parietalen Cortex als Generator der EPN identifizieren.

Weitere Aktivität konnten wir im SMA-CMA Komplex feststellen. Diese Regionen sind typischerweise bei Wahlreaktionen aktiv, wie sie auch in unserer Studie verwendet wurden, bei denen ein Konflikt zwischen zwei Antwortmöglichkeiten besteht. Ob die Aktivierung aufgrund des Konflikts bzw. aufgrund der Unsicherheit über die korrekte Wahl der geplanten

Diskussion

motorischen Antwort entsteht oder ob eine Aktivierung durch den Vergleich einer motorischen Fehlhandlung mit einer ursprünglich geplanten Handlung entsteht, wird noch diskutiert (Rushworth et al., 2004).

Bei der Beurteilung, inwiefern bestimmte Gehirnregionen speziell bei emotionalen Stimuli aktiviert werden, ergibt sich immer wieder das Problem, dass kognitive und emotionale Verarbeitung bei der Reizbewertung in engem Zusammenhang stehen, wie dies auch bei der emotionalen Wahlreaktion der Fall ist. Wir stellten bei den emotionalen Wahlreaktionen im Vergleich zum neutralen Wahlreaktionsparadigma eine vermehrte Aktivierung des dorsolateralen präfrontalen Cortex (DLPFC) fest. Diese Region scheint speziell aktiv zu sein, wenn die Wertigkeit („valence“) eines emotionalen Reizes (z.B. positiv oder negativ) bestimmt wird (Dolcos et al., 2004). Dies konnten Grimm et al. (2005) kürzlich bestätigen. Sie fanden ebenfalls eine positive Korrelation zwischen der Wertigkeit („valence“) emotionaler Bilder und der Aktivierung des DLPFC. Auch der DLPFC scheint unabhängig von der Modalität bei der emotionalen Evaluation aktiviert zu werden, da wir seine Aktivierung in einem auditorischen Paradigma wiedergefunden haben.

Für das Erkennen von Emotionen anhand der Intonation von Wörtern sowie das Erkennen von emotionalen Inhalten in Wörtern wurde von Ethofer et al. (2005) ein Modell vorgeschlagen, bei dem der rechte temporale Gyrus sowie bilaterale frontale Regionen beteiligt sind. Dieselben Regionen tauchten auch bei der EPN-Analyse in unserem Silbenparadigma auf, bei dem ebenfalls eine emotionale Einordnung anhand der Intonation verlangt war.

Anders als bei Ethofer et al. konnten wir allerdings keine bilaterale, sondern nur eine linksbetonte Aktivierung des Gyrus frontalis sehen. Dies steht auch im Gegensatz zu anderen Studien, die von einer überproportionalen Aktivierung der rechten Hemisphäre bei der Wahrnehmung emotionaler Prosodie berichten (Belin et al., 2000; George et al., 1996). Andererseits beschreiben viele Studien auch eine wesentliche bilaterale Aktivierung (Morris et al., 1999; Buchanan et al., 2000 ua.).

Beim Erkennen von emotionalen Inhalten aus Worten konnten Ethofer et al. eine Aktivierung des linken Temporallappens sowie des linken frontalen Gyrus finden, die wir mit der LORETA-Analyse der EPN ebenfalls als aktive Regionen identifizieren konnten.

Diskussion

Mit Hilfe der „Counting-Stroop“ Paradigmen (der Proband gibt die Anzahl der visuell präsentierten Wörter per Knopfdruck an, ohne auf den Inhalt zu achten) wurde häufig die Aktivierung des anterioren cingulären Cortex untersucht, der u.a. bei der Regulation emotionaler Reaktionen sowie bei der Verarbeitung kognitiv anspruchsvoller Informationen aktiv ist. Der ACC wird in zwei unterschiedliche Bereiche eingeteilt: den „kognitiven“, dorsal gelegenen Bereich und den „affektiven“, ventralen Bereich (Bush et al., 2000). Der affektive Bereich beinhaltet ventrale und rostrale Teile des ACC (Brodmann Area 25, 32, 33 und rostrale Area 24). Die dorsale, kognitive Untereinheit des ACC schließt die kaudalen Bereiche der Area 24 und 32 sowie den cingulären motorischen Cortex (CMA) ein (Pizzagalli et al., 2005). Um die Existenz der beiden verschiedenen Untereinheiten des ACC (kognitiv und emotional) zu prüfen, wurden zwei verschiedene „Counting-Stroop“-Paradigmen entwickelt. Beim „kognitiven Counting-Stroop“ werden neutrale Worte verwendet, deren präsentierte Anzahl der Proband per Knopfdruck anzuzeigen hat, wohingegen beim „emotionalen Counting-Stroop“ Worte mit emotionalem Inhalt verwendet werden (Bush et al., 1998; Whalen et al., 1998).

Wie erwartet wurde bei der kognitiven Version des Counting-Stroops die kognitive Untereinheit und bei der emotionalen Version des Counting-Stroops die affektive Untereinheit des ACC aktiviert. Umgekehrt wurde beim reziproken Suppressionsmodell bei Aktivierung des einen Bereichs zusätzlich eine Suppression des jeweils anderen Bereichs beobachtet (Whalen et al., 1998; Drevets und Raichle, 1998). Eine spezifische Rolle bei der Emotionsverarbeitung konnte dem affektiven Anteil des ACC bisher noch nicht zugeschrieben werden.

Wir benutzten eine weiterentwickelte Form des emotionalen Stroop-Paradigmas, wie sie von Bush et al. (2000) vorgeschlagen wurde, bei der emotionale Inhalte der präsentierten Stimuli beachtet und bewertet werden mussten. Dabei fanden wir bei der EPN 170 eine Aktivierung des affektiven ACC (BA 32/24) sowie bei der EPN 290 eine Aktivierung im ventralen und dorsalen ACC links (BA 32/24). Bei beiden unserer Paradigmen war Aufmerksamkeit auf emotionale Reize gefordert. Eine strikte Unterteilung des ACC in affektiv und kognitiv können wir nicht bestätigen. Die ACC-Aktivierung bei der emotionsspezifischen EPN 170 ist deutlich ventral gelegen, allerdings verstärkt sich dann im späteren Zeitfenster (EPN 290) die Aktivität im dorsalen Anteil des ACC. An dieser Stelle sei noch einmal auf die Unschärfe der Lokalisation bei LORETA hingewiesen. Eine Analyse mit höher auflösenden

Lokalisationsverfahren in Kombination mit akustisch evozierten Potentialen könnte dazu beitragen, die Aktivierung des ventralen und dorsalen ACC beim emotionalen Stroop-Paradigma der auditorischen Modalität in Zusammenschau mit dem zeitlichen Ablauf genauer zu untersuchen.

Welche Gehirnregionen bei der Wahrnehmung von Emotionen aus akustischen Reizen beteiligt sind, dürfte wesentlich von der Art der Stimuli und ihrer emotionalen Intensität abhängen. Die akustischen Präsentationen, die zur Wahrnehmung von Affekt führen sollen, reichen von berstenden Glasscheiben, menschlichen Lauten (z.B. das Weinen eines Kindes) bis zu gesprochenen Worten oder ganzen Sätzen mit affektivem Inhalt. Welche Komponenten der Stimuli entscheidend für die Wahrnehmung der Emotion sind, bleibt bislang unklar. Inwieweit bestimmte Regionen, die beim visuellen System in Zusammenhang mit Emotionswahrnehmung gefunden wurden, auch in der auditorischen Domäne eine Rolle spielen, muss noch genauer untersucht werden. Bisher sind auditorische Studien anzahlmäßig stark unterlegen (Adolphs, 2002).

4.3. Der Zusammenhang der EPN 170 mit Persönlichkeitsmerkmalen

Ziel des letzten Abschnitts unserer Studie war es, in einer explorativen Analyse der EPN 170 nach interindividuellen Unterschieden bei der Emotionsverarbeitung zu suchen. Nur wenige EEG-Studien haben sich überhaupt mit dem Zusammenhang evozierter Potentiale und Persönlichkeitseigenschaften beschäftigt. Meistens wurden dabei Paradigmen ohne emotionalen Inhalt, wie zum Beispiel das Unterscheiden von zwei Tönen, verwendet (Gurrera et al. 2001, Cahill et al., 1992; Daruna et al., 1985).

Wir haben erstmals den Zusammenhang einer emotionsspezifischen Komponente, der EPN 170, mit Persönlichkeitsmerkmalen getestet. Bei den emotionalen Paradigmen (Silben und Worte) ergab sich eine signifikant höhere EPN 170-Amplitude bei der Gruppe der extravertierten im Vergleich zu den introvertierten Probanden. Im neutralen Paradigma, bei dem das einfache Unterscheiden zweier Töne verlangt war, konnte kein Unterschied zwischen Extravertierten und Introvertierten festgestellt werden.

Diskussion

Die Eigenschaften Extraversion und Neurotizismus haben erst kürzlich wieder das Interesse verschiedener Forschungszweige der Neurowissenschaft geweckt (ausführlicher Rückblick siehe Canli 2004).

Canli et al. untersuchten erstmals in einer fMRT-Studie den Einfluss stabiler Persönlichkeitsmerkmale auf die Verarbeitung emotionaler Reize. Gesunde Frauen betrachteten dabei passiv Bilder mit positiven und negativen Inhalten. Die Merkmale Extraversion und Neurotizismus werden eng mit emotionaler Erfahrung in Verbindung gebracht und sollen die Reaktionen des Gehirns auf emotionale Reize beeinflussen. Extraversion korrelierte beim Betrachten positiver Bilder positiv mit erhöhter Gehirnaktivität, Neurotizismus korrelierte beim Betrachten negativer Bilder positiv mit erhöhter Aktivität (Canli et al., 2001).

Einen derartigen Zusammenhang konnten wir nicht bestätigen. Innerhalb der emotionalen Paradigmen konnten wir keinen Unterschied der EPN 170 zwischen positiven und negativen Stimuli finden. Extravertierte zeigten allgemein eine höhere Amplitude, wenn die emotionalen Paradigmen und das neutrale Paradigma verglichen wurden.

Unsere Ergebnisse unterstützen die Annahme, dass bei der Wahrnehmung emotionaler Reize individuelle Unterschiede vorhanden sind. Das bessere Verständnis neuronaler Unterschiede bei Individuen mit unterschiedlichen Persönlichkeitseigenschaften scheint auch im Hinblick auf klinische Anwendungen sinnvoll. Zum Beispiel konnte eine erhöhte Wahrscheinlichkeit für Substanzmissbrauch bei Individuen mit hohem Level von Impulsivität festgestellt werden (Acton 2003). Als weiteres Beispiel für die klinische Relevanz sei noch eine Studie von Geerts und Bouhuys (1998) genannt, bei der Extraversion mit einem positiven Outcome der Behandlung einer Depression korrelierte.

Wir schlagen vor, dass in zukünftigen Studien insbesondere bei der Erforschung emotionaler Wahrnehmung die Interaktion von Persönlichkeitsmerkmalen berücksichtigt werden sollte.

5. Zusammenfassung

Beim Erkennen von Emotionen in Bildern und Gesichtern wurde in verschiedenen Studien eine emotionsspezifische Komponente des visuell evozierten Potentials (die „early posterior negativity“/ EPN) gefunden. Die Generatoren der occipito-parietal lokalisierten EPN wurden vor allem innerhalb des visuellen Systems vermutet. Eine entsprechende Komponente des akustisch evozierten Potentials bei der Verarbeitung auditorisch präsentierter emotionaler Reize war bisher nicht entdeckt worden.

Unabhängig davon lenken zahlreiche Befunde der modernen Bildgebung die Aufmerksamkeit auf verschiedene Hirnregionen, die bei der Wahrnehmung emotionaler Reize (insbesondere emotionaler Gesichter und anderer visueller Reize) aktiviert werden. Unter Verwendung eines Aufmerksamkeit erfordernden Wahlreaktionsparadigmas konnte beispielsweise eine Aktivierung verschiedener Untereinheiten des ACC (ventral und dorsal) identifiziert werden. Insgesamt weisen jedoch die Ergebnisse, insbesondere diejenigen von Untersuchungen des akustischen Wahrnehmungssystems, geringe Konsistenz bezüglich der Quellenlokalisierung für emotionale Reize auf.

Ein eindeutiger Zusammenhang zwischen Persönlichkeitsfaktoren und neurophysiologischen Parametern war bei gesunden Individuen bisher nicht nachweisbar, was einer ungenügend differenzierten Betrachtung der verschiedenen „Aktivierungssysteme“ zugeschrieben wurde. Es gibt aber viele Hinweise aus anderen neurowissenschaftlichen Forschungszweigen, dass individuelle Unterschiede auf neuronaler Ebene vorhanden sind, die bei der Verarbeitung emotionaler Ereignisse eine Rolle spielen. Ziel dieser Arbeit war somit die Klärung folgender explorativer Fragen: 1. Kann eine emotionsspezifische parieto-occipitale „early posterior negativity“, wie sie in visuellen Versuchen gefunden wurde, auch bei einem akustischen Paradigma identifiziert werden? 2. Kann mit einem modernen Lokalisationsverfahren für elektrische Potentiale bei einem emotionalen akustischen Wahlreaktionsparadigma, bei dem gezielte Aufmerksamkeit für emotionale Reize verlangt wird, Aktivität in parietalen Gehirnregionen und im ACC gefunden werden? 3. Besteht ein Zusammenhang zwischen bestimmten Persönlichkeitsfaktoren und neurophysiologischen Parametern in einem emotionsspezifischen Aktivierungssystem?

Wir untersuchten 29 gesunde Probanden mit drei verschiedenen akustischen Wahlreaktionen, bei welchen einmal eine rein kognitive Aufgabe ausgeführt werden musste, einmal die

Zusammenfassung

Unterscheidung emotional intonierter Silben und einmal die Identifizierung des emotionalen Inhaltes in Adjektiven verlangt waren. Dabei wurden ereigniskorrelierte Potentiale aufgezeichnet und zur Berechnung der Stromdichteverteilung im dreidimensionalen Raum die Low Resolution Electromagnetic Tomography (LORETA) verwendet. Die Persönlichkeitsmerkmale der Probanden wurden mit Hilfe des NEO-Fünf-Faktoren-Inventars ermittelt.

Wir fanden beim Vergleich des neutralen mit den emotionalen Paradigmen eine kortikale, parietal lokalisierte „early posterior negativity“ (EPN), welche die Wahrnehmung und Verarbeitung emotionaler Reize im akustischen System repräsentiert. Die EPN präsentierte sich in zwei Komponenten, einem Gipfel bei 170ms (EPN 170) und einer Linienverschiebung in Richtung Negativität bei 290ms (EPN 290).

Die Stromdichteanalyse der Differenzwellen (emotional minus neutral) mit LORETA ergab bei der EPN 170 eine Mehraktivierung im inferioren Parietallappen (BA 40) der linken Hemisphäre, im supplementären/cingulären motorischen Cortex (SMA/CMA) links, im Lobulus paracentralis links (BA 31/5), im ventralen anterioren cingulären Cortex (ACC, BA 32) sowie im Gyrus temporalis superior (BA 42) links. Die Analyse der EPN 290 ergab eine vermehrte Aktivierung im dorsolateralen präfrontalen Cortex links (DLPFC, BA 9), im ventralen und dorsalen ACC links (BA 32/24) sowie im superioren rechten (BA 22) und medialen linken (BA 21) temporalen Gyrus.

Wir konnten anhand des Zusammenhangs zwischen der EPN 170 und den verschiedenen Persönlichkeitsmerkmalen interindividuelle Unterschiede der Wahrnehmung von Emotionen nachweisen. Es ergab sich bei den emotionalen Paradigmen (Silben und Worte) eine signifikant höhere EPN 170-Amplitude bei der Gruppe der extravertierten im Vergleich zu den introvertierten Probanden, wohingegen beim neutralen Töne-Paradigma kein Unterschied zwischen Personen mit verschiedenen Persönlichkeitsmerkmalen bestand.

6. Literaturverzeichnis

- Anderer P, Pascual-Marqui RD, Semlitsch HV, Saletu B (1998) Differential effects of normal aging on sources of standard N1, target N1 and target P300 auditory event-related brain potentials revealed by low resolution electromagnetic tomography (LORETA). *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 108:160-174.
- Adolphs R et al. (1996) Cortical Systems for the recognition of emotion in facial expressions. *J Neurosci* 16:7678-7685.
- Adolphs R, Tranel D (1999) Intact recognition of emotional prosody following amygdala damage. *Neuropsychologia* 37:1285-1292.
- Adolphs R, Damasio H, Tranel D, Cooper G, Damasio AR (2000) A role of somatosensory cortices in the visual recognition of emotions as revealed by three-dimensional lesion mapping. *Journal of Neuroscience* 20:2683-2690.
- Adolphs R (2002) Neural systems for recognizing emotion. *Current Opinion in Neurobiology*, 12:169-177.
- Adolphs R, Tranel D, Damasio AR (2003) Dissociable neural systems for recognizing emotions. *Brain and cognition* 52:61-69.
- Asendorpf JB (2004) *Psychologie der Persönlichkeit*, 3. Auflage, Springer-Verlag: Berlin, Heidelberg.
- Astafiev SV, Shulman GL, Stanley CM, Snyder AZ, Van Essen DC, Corbetta M (2003) Functional organization of human intraparietal and frontal cortex for attending, looking and pointing. *J Neurosci* 23:4689-4699.
- Batty M, Taylor MJ (2003) Early processing of the six basic facial emotional expressions. *Cognitive Brain Research* 17:613-620.

Literaturverzeichnis

- Belin P, Zatorre RJ, Lafaille P, Ahad P, Pike B (2000) Voice-selective areas in human auditory cortex. *Nature* 403:309-312.
- Bisley JW, Goldberg ME (2003) Neuronal activity in the lateral intraparietal area and spatial attention. *Science* 299:81-86.
- Buchanan TW, Lutz K, Mirzazade S, Specht K, Shah NJ, Zilles K, Jancke L (2000) Recognition of emotional prosody and verbal components of spoken language: an fMRI study. *Cogn Brain Res* 9:227-238.
- Bush G, Whalen PJ, Rosen BR, Jenike MA, McInerney SC, Rauch SL (1998) The counting Stroop: an interference task specialized for functional neuroimaging- validation study with functional fMRI. *Hum Brain Mapp* 6(4):270-282.
- Bush G, Luu P, Posner MI (2000) Cognitive and emotional influences in anterior cingulate cortex. *Trends in Cognitive Sciences* 4(6).
- Cahill JM, Polich J (1992) P300, probability, and introverted/extroverted personality types. *Biol Psychol.* 33(1):23-35.
- Calder AJ, Keane J, Manes F, Antoun N, Young AW (2000) Impaired recognition and experience of disgust following brain injury. *Nature neuroscience (brief communications)* 3(11).
- Cancelliere AEB, Kertesz A (1990) Lesion localization in acquired deficits of emotional expression and comprehension. *Brain and Cognition* 13, 133-147.
- Canli T, Zhao Z, Desmond JE, Kang E, Gross J, Gabrieli JD (2001) An fMRI study of personality influences on brain reactivity to emotional stimuli. *Behav Neurosci.* 115(1):33-42.

Literaturverzeichnis

- Carretié L, Martín-Loeches M, Hinojosa JA, Mercado F (2001) Emotion and Attention Interaction Studied through Event-Related Potentials. *Journal of Cognitive Neuroscience* 13 (8):1109-1128.
- Costa PT, McCrae RR (1992) *NEO Five-Factor Inventory (NEO-FFI)*. Odessa, FL: Psychological Assessment Resources.
- Costa PT, McCrae RR (1993) *NEO-Fünf-Faktoren Inventar (NEO-FFI)* Hogrefe, Verlag für Psychologie, Göttingen.
- Critchley HD, Daly E, Phillips M, Brammer M, Bullmore E, Williams S, van Amelsvoort T, Robertson D, David A, Murphy D (2000) Explicit and implicit neural mechanisms for processing of social information from facial expressions: a functional magnetic imaging study. *Hum Brain Map* 9:93-105.
- Daruna JH, Karrer R, Rosen AJ (1985) Introversion, attention, and the late positive component of event-related potentials. *Biological Psychology* 20:249-259.
- Davidson RJ, Irwin W (1999, Jan.) The functional neuroanatomy of emotion and affective style. *Trends in Cogn Sciences* 3(1).
- Desimone R, Duncan J (1995) Neural Mechanisms of selective attention, *Annu Rev Neurosci* 18:193-222.
- Dolcos F, LaBar KS, Cabeza R (2004) Dissociable effects of intensity and valence on prefrontal activity indexing emotional evaluation and subsequent memory: an event-related fMRI study. *Neuroimage* 23:64-74.
- Drevets WC und Raichle ME (1998) Reciprocal suppression of regional cerebral blood flow during emotional versus higher cognitive processes: implications for interactions between emotion and cognition. *Cognition Emotion* 12:353-385.

Literaturverzeichnis

- Elliott R, Rubinsztein JS, Sahakian BJ, Dolan RJ (2000) Selective attention to emotional stimuli in a verbal go/no-go task: an fMRI study. *NeuroReport* 11(8):1739-1744.
- Erhan H, Borod JC, Tenke CE, Bruder GE (1998) Identification of emotion in a dichotic listening task: event-related brain potential and behavioral findings. *Brain and Cognition* 37:286-307.
- Eysenck HJ (1990) Biological bases of personality. In: Pervin LA, ed. *Handbook of personality. Theory and research*. New York: Guilford press; 1990, S. 244-276.
- Fahrenberg J (1992) Psychophysiology of neuroticism and anxiety. In A. Gale & M.W. Eysenck (Eds.), *Handbook of individual differences: biological perspectives* (S. 179-226). Chichester, U.K.:Wiley.
- George MS, Parekh PI, Rosinsky N, Ketter TA, Kimbrell TA, Heilmann KM, Herscovitch P, Post RM (1996) Understanding emotional prosody activates right hemisphere regions. *Arch Neurol.* 53:665-670.
- Gordon W, Gifford III GW, Cohen YE (2005) Spatial and non-spatial auditory processing in the lateral intraparietal area. *Exp Brain Res* 162:509-512.
- Grimm S, Schmidt CF, Bermpohl F, Heinzl A, Dahlem Y, Wyss M, Hell D, Boesiger P, Boeker H, Northoff G (2005) Segregated neural representation of distinct emotion dimensions in the prefrontal cortex- an fMRI study. *Neuroimage* (in press).
- Gurrera RJ, O'Donnell BF, Nestor PG, Gainsky J, McCarley RW (2001) The P3 Auditory Event-Related Brain Potential Indexes Major Personality Traits. *Biological Psychiatry* 49:922-929.
- Habib M, Daquin G, Milandre L, Royere ML, Rey M, Lanteri A, Salamon G, Khalil R (1994) Mutism and auditory agnosia due to bilateral insular damage- role of the insula in human communication. *Neuropsychologia* 33(3):327-339.

Literaturverzeichnis

Hagemann D, Waldstein SR, Thayer JF (2003) Central and autonomic nervous system integration in emotion. *Brain and Cognition* 52:79-87.

Hansen JC, Hillyard SA (1980) Endogenous brain potentials associated with selective auditory attention. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 54:561-569.

Hansenne M (2000) Le potentiel évoqué P300 (ii): variabilité interindividuelle et application clinique en psychopathologie. *Neurophysiol Clin* 30:211-231.

Haxby JV, Hoffmann EA, Gobbini MI (2000) The distributed human neural system for face perception. *Trends Cognit Sci* 4:223-233.

James W (1890), *Principles of Psychology*, New York: Holt.

Jung CG (1921) *Psychologische Typen*. Zürich: Rascher.

Kastner S, Ungerleider LG (2000) Mechanisms of visual attention in the human cortex. *Annu Rev Neurosci* 23:315-341.

Kim M, Cho S, Kang K, Hwang J, Kwon JS (2002) Electrophysiological correlates of personality dimensions measured by Temperament and Character Inventory. *Psychiatry and Clin Neuroscience* 56:631-635.

Kim S-G, Richter W, Ugurbil K (1997) Limitations of temporal resolution in functional MRI. *Magnet Reson Med* 37:631-636.

Knight RT, Hillyard SA, Woods DL, Neville HJ (1980) The effects of frontal and temporal-parietal lesions on the auditory evoked potential in man. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 50:112-124.

Literaturverzeichnis

- Maddock RJ, Garrett AS, Buonocore MH (2003) Posterior cingulate cortex activation by emotional words: fMRI evidence from a valence decision task. *Human Brain Mapping* 18:30-41.
- Matthews G, Gilliland K (1999) The personality theories of H.J. Eysenck and J.A. Gray: a comparative review. *Personality and Individual Differences* 26:583-626.
- McCarthy G, Puce A, Belger A, Allison T (1999) Elektrophysiological studies of human face perception II. Response properties of face-specific potentials generated in occipito-temporal cortex. *Cereb. Cortex* 431-444.
- Morris JS, Frith CD, Perrett DI, Rowland D, Young AW, Calder AJ, Dolan RJ (1996) A differential neural response in the human amygdala to fearful and happy facial expressions. *Nature* 383:812-815.
- Morris JS, Scott SK, Dolan RJ (1999) Saying it with feeling: neural responses to emotional vocalizations. *Neuropsychologia* 37:1155-1163.
- Morris JS, DeGelder B, Weiskrantz L, Dolan RJ (2001) Differential extrageniculostriate and amygdala responses to presentation of emotional faces in a cortically blind field. *Brain*, 124:1241-1252.
- Mulert C (2002) *Dysfunktion des anterioren cingulären Cortex bei Patienten mit Schizophrenie*. WiKu Verlag, Berlin.
- Mulert C, Gallinat J, Dorn H, Herrmann WM, Winterer G (2003) The relationship between reaction time, error rate and anterior cingulate cortex activity. *Int J Psychophysiol* 47:175-183.
- Mulert C, Pogarell O, Juckel G, Rujescu D, Giegling I, Rupp D, Mavroggiorgou P, Bussfeld P, Gallinat J, Möller HJ, Hegerl U (2004) The neural basis of the P300 potential,

Literaturverzeichnis

- Focus on the time-course of the underlying cortical generators. *Eur Arch Psychiatry Clin Neuroscience* 254:190-198.
- Mulert C, Menzinger E, Leicht G, Pogarell O, Hegerl U (2005) Evidence for a close relationship between conscious effort and anterior cingulate cortex activity. *Int J Psychophysiol* 56:65-80.
- Näätänen R, Picton T (1987) The N1 wave of the human electric and magnetic response to sound: a review and an analysis of the component structure. *Psychophysiology* 24:375-425.
- Pantev C, Bertrand O, Eulitz C, Verkindt C, Hampson S, Schuierer G, Elbert T (1995) Specific tonotopic organizations of different areas of the human auditory cortex revealed by simultaneous magnetic and electric recordings. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 94:26-40.
- Pascual-Marqui RD, Michel CM, Lehmann D (1994) Low resolution electromagnetic tomography: a new method for localizing electrical activity in the brain. *Int J Psychophysiol.* 18(1):49-65.
- Pascual-Marqui RD (1999) Review of Methods for Solving the EEG Inverse Problem. *International Journal of Bioelectromagnetism* 1:75-86.
- Pessoa L, Kastner S, Ungerleider LG (2002) Attentional control of the processing of neutral and emotional stimuli. *Cognitive Brain Research* 15:31-45.
- Picton TW, Woods DL, Proulx GB (1978) Human auditory sustained potentials I. The nature of the response. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology* 45:186-197.
- Picton TW, Alain C, Woods DL, John MS, Scherg M, Valdes-Sosa P, Bosch-Bayard J, Trujillo NJ (1999) Intracerebral Sources of Human Auditory-Evoked Potentials. *Audiol Neurootol* 4:64-79.

- Pizzagalli DA, Peccoraro LA, Davidson RJ, Cohen JD (2005) Resting anterior cingulate activity and abnormal responses to errors in subjects with elevated depressive symptoms: A 128-channel EEG study. *Human Brain Mapping* (early view, in press).
- Phan KL, Wager T, Taylor SF, Liberzon I (2002) Functional Neuroanatomy of Emotion: A Meta-Analysis of Emotion Activation Studies in PET and fMRI. *NeuroImage* 16:331-384.
- Phillips ML, Young AW, Senior C, Brammer M, Andrew C, Calder AJ, Bullmore ET, Perret DI, Rowland D, Williams SCR et al. (1997) A specific neural substrate for perceiving facial expressions of disgust. *Nature* 389:495-498.
- Phillips ML, Young AW, Scott SK, Calder AJ, Andrew C, Giampietro V, Williams SCR, Bullmore ET, Brammer M, Gray AJ (1998) Neural responses to facial and vocal expressions of fear and disgust. *Proc R Soc Lond B*: 265, 1809-1817.
- Pizzagalli DA, Regard M, Lehmann D (1999) Rapid emotional face processing in the human right and left brain hemispheres: an ERP study. *Neuroreport* 10:2691-2698.
- Pizzagalli DA, Lehmann D, Hendrick AM, Regard M, Pascual-Marqui RD, Davidson RJ (2002) Affective judgments of faces modulate early activity (~160 ms) within the fusiform gyri. *Neuroimage* 16:663-677.
- Pizzagalli DA, Greischar LL, Davidson RJ (2003) Spatio-temporal dynamics of brain mechanisms in aversive classical conditioning: high-density event-related potential and brain electrical tomography analyses. *Neuropsychologia* 41:184-194.
- Richter F, Alain C, Achim A, Bouvier G, Saint-Hilaire JM (1989) Intracerebral amplitude distributions of the auditory evoked potential. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 74:202-208.

Literaturverzeichnis

- Royet J, Zald D, Versace R, Costes N, Lavenne F, Koenig O, Gervais R (2000) Emotional Responses to pleasant and unpleasant olfactory, visual, and auditory stimuli: a positron emission tomography study. *Journal of Neuroscience* 20(20):7752-7759.
- Rushworth MFS, Walton ME, Kennerley SW, Bannermann DM (2004) Action sets and decisions in the medial frontal cortex. *Trends in Cognitive Sciences* 8(9):410-417.
- Sander K, Brechmann A, Scheich H (2003) Audition of laughing and crying leads to right amygdala activation in a low-noise fMRI setting. *Brain research protocols* 11:81-91.
- Sander K, Roth P, Scheich H (2003) Left-lateralized fMRI activation in the temporal lobe of high repressive women during the identification of sad prosodies. *Cognitive Brain Research* 16:441-456.
- Scherg M, von Cramon D (1986) Evoked dipole source components of the human auditory cortex. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 65:344-360.
- Scherg M (1991) *Akustisch evozierte Potentiale*. Stuttgart Berlin Köln: Verlag W. Kohlhammer.
- Scherer KR (1990) Theorien und aktuelle Probleme der Emotionspsychologie. In K.R. Scherer (Hrsg.), *Enzyklopädie der Psychologie*. Themenbereich C, Serie 4, Band 3: *Psychologie der Emotion* (S. 2-40). Göttingen: Hogrefe.
- Scherer KR, Banse R, Wallbot HG, Goldbeck T (1991) Vocal cues in emotion encoding and decoding. *Motiv Emotion* 15:123-148.
- Schupp HT, Junghöfer M, Weike AI, Hamm AO (2003) Attention and emotion: an ERP analysis of facilitated emotional stimulus processing. *Cognitive Neuroscience and Neuropsychology* 14 (8):1107-1110.

Literaturverzeichnis

- Scott SK, Young AW, Calder AJ, Hellawell DJ, Aggleton JP, Johnson M (1997) Impaired auditory recognition of fear and anger following bilateral amygdala lesions. *Nature* 385:254-257.
- Smith BD, Kline R, Lindgren K, Ferro M, Smith DA, Nespors A (1995) The lateralized processing of affect in emotionally labile extraverts and introverts: central and autonomic effect. *Biological Psychology* 39:143-157.
- Sprenghelmeyer R, Young AW, Calder AJ, Karnat A, Lange H, Hoemberg V, Perrett DI, Rowland D (1996) Loss of disgust. Perception of faces and emotions in Huntington's disease. *Brain* 119:1647-1666.
- Steinschneider M, Arezzo J, Vaughan HG (1980) Phaselocked cortical responses to a human speech sound and low-frequency tones in the monkey. *Brain Res* 198:75-84.
- Sugase Y, Yamane S, Ueno S, Kawano K (1999) Global and fine information coded by single neurons in the temporal visual cortex. *Nature* 400:869-872.
- Talairach J, Tournoux P (1988) *Co-Planar Stereotaxic Atlas of the Human Brain*. Stuttgart: Thieme.
- Towle VL, Bolanos J, Suarez D, Tan K, Grzeszczuk R, Levin DN, Cakmur R, Frank SA, Spire JP (1993) The spatial EEG electrodes: locating the best-fitting sphere relative to cortical anatomy. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 86:1-6.
- Vandenberghe R, Gitelman DR, Parrish TB, Mesulam MM (2001) Location- or feature-based targeting of peripheral attention. *Neuroimage* 14:37-47.
- Vitacco D, Brandeis D, Pascual-Marqui R, Marin E (2002) Correspondence of Event-Related Potential Tomography and Functional Magnetic Resonance Imaging during language processing. *Human Brain Mapping* 17:4-12.

Literaturverzeichnis

- Vogel S (1996) Emotionspsychologie: Grundriss einer exakten Wissenschaft der Gefühle, Opladen: Westdeutscher Verlag.
- Vuilleumier P, Armony JL, Driver J, Dolan RJ (2001) Effects of attention and emotion on face processing in the human brain: an event-related fMRI study, *Neuron* 30:829-841.
- Vuilleumier P, Schwartz S (2001) Emotional facial expressions capture attention. *Neurology* 56:153-158.
- Vuilleumier P, Armony JL, Clarke K, Husain M, Driver J, Dolan RJ (2002) Neural response to emotional faces with and without awareness: event-related fMRI in a parietal patient with visual extinction and spatial neglect. *Neuropsychologia* 40:2156-2166.
- Whalen PJ, Bush G, McNally RJ, Wilhelm S, McInerney SC, Jenike MA, Rauch SL (1998) The emotional counting Stroop paradigm: a functional magnetic resonance imaging probe of the anterior cingulate affective division. *Biol Psychiatry* 44:1219-1228.
- Whalen PJ, Shin LM, McInerney SC, Fischer H, Wright CI, Rauch SL (2001) A functional MRI study of human amygdala responses to facial expressions of fear versus anger. *Emotion* 1:70-83.
- Wundt W (1903) Grundzüge der physiologischen Psychologie (5. Aufl.; Bd 3). Leipzig: Barth.
- Ulrich D, Mayring P (1992) Psychologie der Emotionen, Grundriss der Psychologie, Band 5, Verlag: Kohlhammer.

7. Danksagung

Mein Dank gilt Herrn Prof. Ulrich Hegerl, Leiter der Abteilung für Klinische Neurophysiologie der Psychiatrischen Klinik der LMU München, für das Ermöglichen dieser Arbeit. Insbesondere bedanke ich mich für den mir gewährten Freiraum bei der Gestaltung dieser Arbeit.

Ich bedanke mich bei Dr. Christoph Mulert, der das Projekt stets engagiert betreut hat und mir in jeder Phase der Arbeit mit seinem fachlichen Rat, seinen kreativen Ideen, durch seine Motivation und Geduld eine außerordentliche Hilfe war.

Danken möchte ich allen meinen Probanden, die sich für den Versuch zur Verfügung gestellt haben. Außerdem danke ich Dr. Roland Mergl für die kompetente Beratung bei der statistischen Auswertung der Daten. Ich bedanke mich auch bei Gregor Leicht für seine kollegiale Hilfe.

Des Weiteren gilt mein Dank Daniela Brunner für die professionelle Übersetzung des Zitats.

Schließlich möchte ich mich herzlich bei den technischen Assistentinnen der EEG-Abteilung bedanken, sowie bei allen weiteren Personen, die mich bei der Arbeit unterstützt haben.

Lebenslauf

Name: Mittermeier Verena

Schulbildung

9/1984 - 7/1995 Grundschule und Gymnasium Landau
9/1995 - 6/1997 Anton-Bruckner-Gymnasium Straubing (Abitur 1997)

Universitäre Ausbildung

1997-1999 Klavierstudium bei Prof. Rolf Plagge an der Universität
Mozarteum Salzburg, Österreich

1998-1999 Studium der Anglistik und Romanistik an der Universität
Salzburg, Österreich

ab 5/1999 Medizinstudium an der Ludwig-Maximilians-Universität,
München

3/2001 Physikum

3/2002 1. Staatsexamen

10/2002 - 7/2003 Medizinstudium an der Universität Zürich

8/2004 2. Staatsexamen

10/2004 - 9/2005 Praktisches Jahr

11/2005 3. Staatsexamen an der LMU-München

12/2005 Approbation als Ärztin

Berufliche Weiterbildung

Seit 2/2006 Weiterbildung zur Fachärztin für Hals-Nasen-Ohrenheilkunde