

**Aus der Klinik und Poliklinik für Psychiatrie und Psychotherapie  
der Ludwig-Maximilians-Universität München**

Direktor: Prof. Dr. med. Hans-Jürgen Möller

**Untersuchung des Zusammenhangs zwischen  
Persönlichkeitsfaktoren und der Schmerzwahrnehmung mit Hilfe  
von somatosensorisch evozierten Potentialen**

Dissertation

zum Erwerb des Doktorgrades der Humanbiologie  
an der Medizinischen Fakultät der  
Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von

Dorothee Giersch  
aus Selb

2012

**Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät  
der Universität München**

**Berichterstatter:** PD Dr. med. Oliver Pogarell

**Mitberichterstatter:** Prof. Dr. Walter Zieglgänsberger

Prof. Dr. Klaus Jahn

**Mitbetreuung durch den  
promovierten Mitarbeiter:** Dr. rer. biol. hum. Dipl.-Psych. Susanne Karch

**Dekan:** Prof. Dr. med. Dr. h.c. Maximilian Reiser, FACR, FRCR

**Tag der mündlichen Prüfung:** 21.05.2012

# Inhaltsverzeichnis

<b>1. Einleitung</b> .....	1
<b>1.1. Somatosensorik und Schmerz</b> .....	2
1.1.1. Komponenten der Schmerzwarnnehmung.....	2
1.1.2. Periphere Physiologie.....	4
1.1.3. Weiterverarbeitung der somatosensorischen Information.....	5
1.1.4. Schmerzmodulation.....	9
1.1.5. Experimentelle Untersuchung von Schmerz.....	11
<b>1.2. Persönlichkeit</b> .....	15
1.2.1. Definitionen.....	15
1.2.2. Persönlichkeitstheorien.....	15
1.2.3. Das Eigenschaftsparadigma und die Big Five.....	17
<b>1.3. Schmerz und Persönlichkeit</b> .....	20
1.3.1. Neurotizismus.....	20
1.3.2. Extraversion.....	24
1.3.3. Zusammenfassung.....	25
<b>2. Fragestellung und Hypothesen</b> .....	26
<b>2.1. Untersuchung der Schwellenwerte</b> .....	26
2.1.1. Stabilität der Schwellenwerte über die Zeit.....	26
2.1.2. Zusammenhang der Schwellenwerte mit der Persönlichkeit.....	27
<b>2.2. Evozierte Potentiale nach subjektiv definierten Reizstärken</b> .....	28
2.2.1. Stabilität der evozierten Potentiale über die Zeit.....	28
2.2.2. Stabilität der Bewertungen über die Zeit.....	28
2.2.3. Zusammenhang der evozierten Potentiale mit der Persönlichkeit.....	29
2.2.4. Zusammenhang der Bewertungen mit der Persönlichkeit.....	30
2.2.5. Low Resolution Brain Electromagnetic Tomography (LORETA).....	30
<b>2.3. Evozierte Potentiale nach physikalisch definierten Reizen</b> .....	31
2.3.1. Zusammenhang der evozierten Potentiale mit der Persönlichkeit.....	31
2.3.2. Zusammenhang der Bewertungen mit der Persönlichkeit.....	32

<b>3. Methoden</b> .....	33
<b>3.1. Versuchspersonen</b> .....	33
<b>3.2. Allgemeiner Versuchsablauf</b> .....	34
<b>3.3. Erhebungsmethoden</b> .....	36
3.3.1. Stimulationsgerät .....	36
3.3.2. Skala zur Einschätzung der Intensität und Unangenehmheit der Reize.....	36
3.3.3. Übungsdurchlauf und Bestimmung der Wahrnehmungs-, Schmerz- und Toleranzschwellen .....	37
3.3.4. Stimulation mit Ableitung der evozierten Potentiale .....	38
3.3.5. Erhebung der Persönlichkeitsfaktoren.....	39
<b>3.4. Datenanalyse</b> .....	40
3.4.1. Bearbeitung der EEG-Daten .....	40
3.4.2. Low Resolution Brain Electromagnetic Tomography (LORETA) .....	41
3.4.3. Statistische Auswertung .....	42
<b>4. Ergebnisse</b> .....	44
<b>4.1. NEO-Fünf-Faktoren-Inventar (NEO-FFI)</b> .....	44
<b>4.2. Untersuchung der Schwellenwerte</b> .....	44
4.2.1. Stabilität der Schwellenwerte über die Zeit .....	44
4.2.2. Zusammenhang der Schwellenwerte mit der Persönlichkeit.....	46
<b>4.3. Evozierte Potentiale nach subjektiv definierten Reizen</b> .....	48
4.3.1. Form und Größe der evozierten Potentiale .....	48
4.3.2. Subjektive Einschätzungen .....	51
4.3.3. Stabilität der evozierten Potentiale nach subjektiv definierten Reizen über die Zeit .....	54
4.3.4. Stabilität der subjektiven Bewertungen über die Zeit .....	54
4.3.5. Zusammenhang der evozierten Potentiale mit der Persönlichkeit.....	54
4.3.6. Zusammenhang der subjektiven Bewertungen mit der Persönlichkeit .....	58
4.3.7. Analyse der Generatoren der elektrophysiologischen Reaktionen .....	61
<b>4.4. Evozierte Potentiale nach physikalisch definierten Reizen</b> .....	63
4.4.1. Form und Größe der evozierten Potentiale .....	63
4.4.2. Subjektive Einschätzungen .....	66
4.4.3. Zusammenhang der evozierten Potentiale mit der Persönlichkeit.....	67
4.4.4. Zusammenhang der subjektiven Bewertungen mit der Persönlichkeit .....	70

---

<b>5. Diskussion</b> .....	72
<b>5.1. Schwellenwerte als Maß für die Schmerzempfindlichkeit</b> .....	72
<b>5.2. Form der evozierten Potentiale und Bewertung der Reize</b> .....	73
5.2.1. Evozierte Potentiale nach subjektiv definierten Reizen.....	73
5.2.2. Evozierte Potentiale nach physikalisch definierten Reizen.....	74
<b>5.3. Analyse der Generatoren der evozierten Potentiale nach subjektiv definierten Reizen zum ersten Messzeitpunkt</b> .....	77
<b>5.4. Stabilität der Schmerzwahrnehmung über die Zeit</b> .....	79
5.4.1. Schwellenwerte .....	79
5.4.2. Evozierte Potentiale nach subjektiv definierten Reizen.....	79
<b>5.5. Zusammenhang der Schmerzwahrnehmung mit dem Persönlichkeitsfaktor Neurotizismus</b> .....	82
5.5.1. Schwellenwerte .....	82
5.5.2. Evozierte Potentiale nach subjektiv definierten Reizen.....	82
5.5.3. Evozierte Potentiale nach physikalisch definierten Reizen.....	84
<b>5.6. Zusammenhang der Schmerzwahrnehmung mit dem Persönlichkeitsfaktor Extraversion</b> .....	85
<b>5.7. Grenzen der Studie</b> .....	86
<b>6. Zusammenfassung</b> .....	88
<b>7. Literaturverzeichnis</b> .....	91
<b>8. Anhang</b> .....	100

## 1. Einleitung

Schmerz ist eine emotional getönte Empfindung, welche nicht durch rein physiologische Reizparameter bestimmt ist, sondern bei der auch andere Aspekte wie psychosoziale und kognitive Faktoren mit eingehen. Aus diesem Grund liegt die Vermutung nahe, dass auch die Persönlichkeit bei der Schmerzwahrnehmung eine Rolle spielt.

Ein wichtiger Persönlichkeitsfaktor könnte Neurotizismus sein, denn Personen mit hohen Neurotizismuswerten reagieren empfindlicher und mit mehr Aufmerksamkeit auf ihren Körperzustand und berichten mehr körperliche Beschwerden als Personen mit niedrigen Neurotizismuswerten. Die bisher gefundenen Ergebnisse zum Zusammenhang zwischen Neurotizismus und der Schmerzwahrnehmung sind jedoch inkonsistent, unter anderem auch dahingehend, welche Schmerzkomponente (sensorische versus affektive Komponente) dabei betroffen ist. Unklar bleibt außerdem, ob Personen mit höheren Neurotizismuswerten tatsächlich (schmerz-)empfindlicher sind oder ob sie Beschwerden lediglich schneller berichten. Auch für den Persönlichkeitsfaktor Extraversion konnten Zusammenhänge mit der Schmerzwahrnehmung nachgewiesen werden, allerdings sind auch diese Ergebnisse sehr widersprüchlich.

In der vorliegenden Studie soll der Einfluss der Persönlichkeitsfaktoren Neurotizismus und Extraversion auf die Schmerzwahrnehmung mithilfe von somatosensorisch evozierten Potentialen (SEPs) untersucht werden. Es ist davon auszugehen, dass SEPs ein objektiveres Maß für die tatsächlichen hirnelektrophysiologischen Vorgänge darstellen, als einfache Intensitätseinschätzungen. Solche SEPs könnten somit weitere Informationen über die Art des Zusammenhangs zwischen Schmerz und Persönlichkeitsfaktoren liefern.

## 1.1. Somatosensorik und Schmerz

Die International Association for the Study of Pain (IASP) beschreibt Schmerz als „eine unangenehme sensorische und emotionale Erfahrung, die in Verbindung mit tatsächlichen oder drohenden Gewebeschädigungen auftritt oder in Begriffen solcher Gewebeschädigungen beschrieben wird“. In dieser Definition wird betont, dass emotionale Faktoren bei der Schmerzwahrnehmung eine entscheidende Rolle spielen. Innerhalb der Somatosensorik nimmt die Schmerzwahrnehmung damit eine besondere Stellung ein, da die Schmerzempfindung neben der reinen Nozizeption in besonderem Maße von psychischen Faktoren abhängig ist. Der Begriff Nozizeption steht für die Aktivierung peripherer und zentralnervöser Neuronengruppen durch noxische Reize (Reize, welche das Gewebe schädigen oder zu schädigen drohen). Demgegenüber steht der Begriff Schmerz, welcher die bewusste Wahrnehmung dieser Sinnesempfindung bezeichnet. Damit kommt es zu einer Schmerzwahrnehmung nur dann, wenn über das nozizeptive System eine kortikale Aktivierung stattfindet, während man bereits bei Erregung der spinalen Neurone von Nozizeption spricht (Handwerker 1998).

### 1.1.1. Komponenten der Schmerzwahrnehmung

Man unterscheidet verschiedene Komponenten, die von der Einwirkung eines noxischen Reizes auf den Körper bis zur bewussten Schmerzwahrnehmung und Bewertung, aber auch für das daraus resultierende Schmerzverhalten eine Rolle spielen. Die Komponenten und ihre Interaktionen sind in Abbildung 1 dargestellt.

Die **sensorisch-diskriminative Komponente** beinhaltet den Teil der Schmerzverarbeitung, der für die Analyse der rein sensorischen Eigenschaften des Reizes verantwortlich ist. Neben der räumlichen und zeitlichen Analyse werden dabei auch Informationen über die Art sowie die Intensität des Reizes verarbeitet (Treede et al. 1999).

Ein entscheidender Unterschied zwischen der Verarbeitung von schmerzhaften und nicht-schmerzhaften Reizen ist der **affektiv-emotionale Aspekt**, der bei der Schmerzverarbeitung eine wichtige Rolle spielt. Die Wahrnehmung von Schmerz führt dabei fast immer zu einer negativen emotionalen Reaktion, meist in Form von Angst oder Unwohlsein. Gleichzeitig kommt es zu einer allgemeinen Aktivierung und einer Ausrichtung der Aufmerksamkeit auf den Stimulus. Die unangenehme Qualität des Schmerzreizes führt dabei im Normalfall zu

dem Antrieb, den Reiz zu beenden (Handwerker 1998, Treede et al. 1999, Weiss & Schaible 2004).

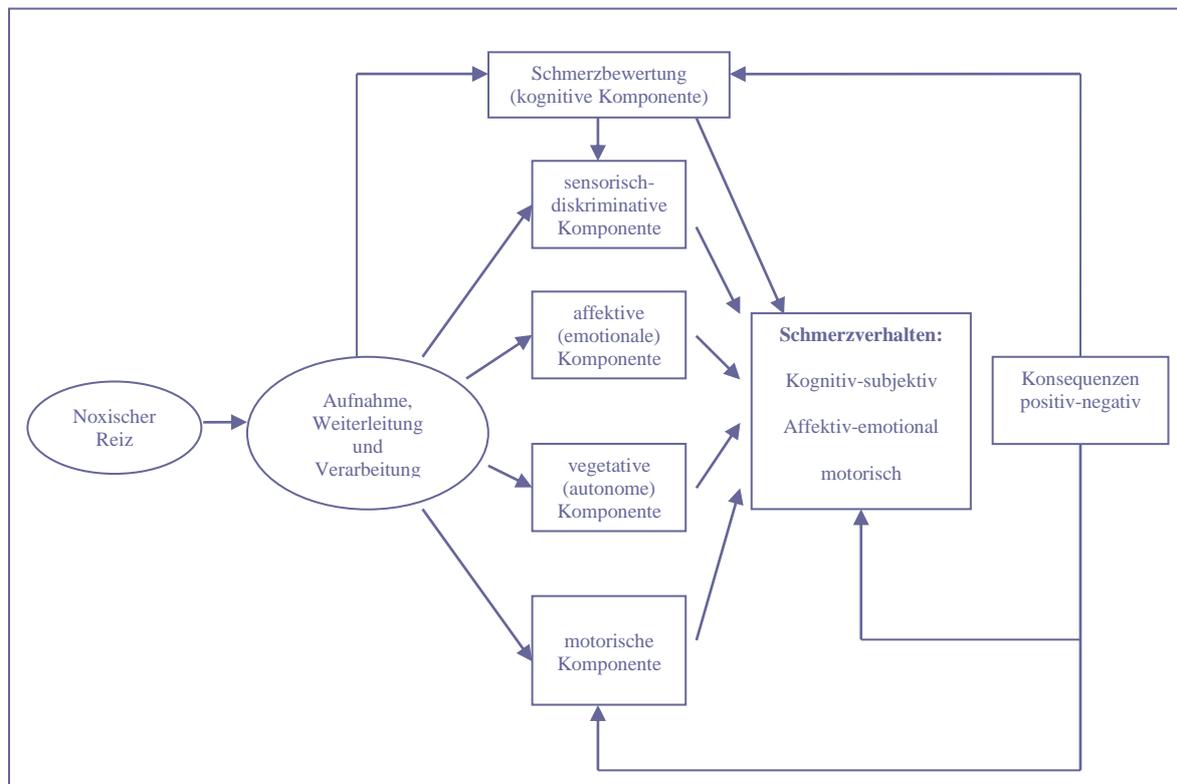


Abbildung 1: Komponenten der Schmerzwahrnehmung (nach Birbaumer & Schmidt 2003)

Die **vegetative Komponente** des Schmerzes beinhaltet verschiedene autonome Reaktionen des Körpers, die durch die Wahrnehmung von Schmerzen ausgelöst werden. Dazu gehören der Anstieg von Blutdruck und Herzfrequenz, eine Erweiterung der Hautgefäße und der Pupillen und eine Veränderung der Atmung. Dieser Schmerzaspekt ist eng mit der affektiv-emotionalen Komponente verbunden und wird über das vegetative Nervensystem vermittelt (Birbaumer & Schmidt 2003).

Die **motorische Schmerzkomponente** umfasst dagegen vor allem die durch den schmerzhaften Reiz ausgelösten Flucht- bzw. Schutzreflexe. Oft wird dabei die reflexhafte Bewegung erst nach der Ausführung bewusst (Birbaumer & Schmidt 2003, Weiss & Schaible 2004).

Kognitive Verarbeitungsprozesse, die mit in die Schmerzverarbeitung eingehen, werden als **kognitiv-evaluative Komponente** bezeichnet. Wichtige Faktoren sind hier der Vergleich mit früheren Erfahrungen, die Ursachenzuschreibung und die erwarteten Konsequenzen des

Schmerzes. Sowohl das Schmerzgedächtnis, aber auch die Art des Denkstiles, kognitive Schemata sowie Katastrophisierungstendenzen sind hier für die Schmerzwahrnehmung relevant. Daneben beeinflusst die wahrgenommene Verfügbarkeit von persönlichen oder externalen Ressourcen, die die Möglichkeit zur Kontrolle des Schmerzes geben, die Bewertung (Weisenberg 1999, Weiss & Schaible 2004).

### 1.1.2. Periphere Physiologie

**Thermorezeption:** Bei der Temperaturwahrnehmung lassen sich Warmsensoren und Kaltsensoren unterscheiden. Die Übertragung der Temperaturereize wird über freie Nervenendigungen in der Haut vermittelt. Für die weitere Übermittlung der Signale bei der Kältewahrnehmung sind hauptsächlich dünn myelinisierte A $\delta$ -Fasern verantwortlich. Diese Kaltsensoren entladen bei einer Temperatur von ca. 35-15°C. Wärmereize werden hauptsächlich von nicht myelinisierten C-Fasern weitergeleitet. Die Entladungsgrenzen dieser Warmsensoren liegt bei 30-45°C (Ellrich et al. 2002). Oberhalb von ca. 45°C sowie unterhalb von 15°C stellt sich eine Schmerzempfindung ein. Dafür sind nicht mehr Kalt- und Warmsensoren, sondern die unten beschriebenen Nozizeptoren verantwortlich (Birbaumer & Schmidt 2003, Schandry 2003). Die Sensitivität der einzelnen Sensoren für unterschiedliche Temperaturbereiche ist in Abbildung 2 dargestellt.

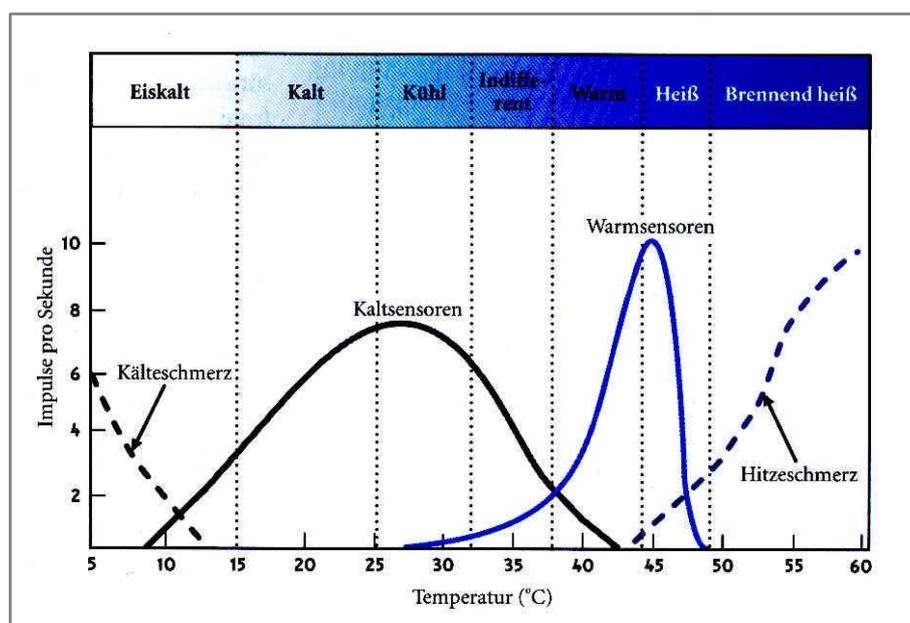


Abbildung 2: Empfindlichkeitskurven der Kalt- und Warmsensoren (modifiziert nach Guyton & Hall, 1996, in: Schandry, 2003)

**Nozizeption:** Auch die Übertragung von schmerzhaften Reizen wird von freien Nerven-Endigungen in der Haut vermittelt, welche in der Epidermis und der oberen Schicht der Dermis lokalisiert sind. Sie reagieren nur auf Reize, deren Intensität so hoch ist, dass sie potentiell gewebeschädigend sind (Weiss & Schaible 2004). Man unterscheidet dünn myelinisierte A $\delta$ -Fasern, mit einer Leitungsgeschwindigkeit von ca. 9-15 m/s (Kakigi et al. 1991, Qiu et al. 2001, Tran et al. 2001, Treede 2003), von marklosen C-Fasern mit einer Leitungsgeschwindigkeit von ca. 1,3-2,4 m/s (Magerl et al. 1999, Opsommer 1999, Qiu et al. 2001, Treede 2003). Die Anzahl der C-Fasern in der menschlichen Haut ist dabei deutlich größer als die Anzahl der A $\delta$ -Fasern.

Die meisten A $\delta$ - und C-Fasern sind polymodal, das heißt, sie werden über Rezeptoren aktiviert, die auf Hitze, Kälte, mechanische oder chemische Reize reagieren. Daneben finden sich so genannte schlafende Nozizeptoren, welche unter normalen Umständen nicht durch noxische Reize erregt werden. Durch periphere Entzündungsprozesse können diese Nervenzellen allerdings „geweckt“ werden, sodass sie im Folgenden bei schmerzhaften Reizen aktiviert werden (Byers & Bonica 2001).

Neben der Übermittlung des nozizeptiven Signals kommt den Schmerzfasern eine weitere Aufgabe zu: Als Reaktion auf die Wahrnehmung potentiell schädigender Reize sowie bei Entzündungen kommt es dort zur Ausschüttung von Neuropeptiden und Entzündungsmediatoren an der Nervenendigung. Neben Substanzen wie Bradykinin, Histamin und calcitonin-gene-related peptide (CGRP) spielen hier auch Transmitter wie Serotonin, Noradrenalin und Substanz P eine Rolle (Lautenbacher et al. 1999).

### 1.1.3. Weiterverarbeitung der somatosensorischen Information

**Spinale Verarbeitung:** Drei hintereinander geschaltete Neuronenpopulationen übermitteln die somatosensorische Information über das Rückenmark zu subkortikalen und kortikalen Strukturen: Die A $\delta$ - und C-Fasern der Thermo- und Nozizeptoren treten über die Hinterwurzel ins Rückenmark ein. Ihre Zellkörper sind in den Spinalganglien (bzw. bei Fasern aus dem Kopfbereich in den Hirnnervenkernen) lokalisiert (Schandry 2003).

Schmerz und Temperaturreize werden, im Gegensatz zu mechano-sensorischen und propriozeptiven Signalen, hauptsächlich über das Vorderseitenstrangsystem (= extralemniskales System) weitergeleitet (siehe Abbildung 3). Die marklosen C-Fasern und dünn

myelinisierten A $\delta$ -Fasern werden dabei im Hinterhorn des Rückenmarks auf das zweite Neuron umgeschaltet. Ein Teil der Fasern dieser zweiten Neuronenpopulation ist in Form von Interneuronen mit benachbarten Nervenzellen verbunden. Diese Interneuronen sind an der Schmerzmodulation des Rückenmarks beteiligt, und verarbeiten sowohl die peripheren Informationen, als auch die meist schmerzhemmenden Signale aus den absteigenden Bahnsystemen. Daneben regulieren sie durch Einbindung in Reflexbögen einen Teil der motorischen und vegetativen Komponente des Schmerzes (Lautenbacher et al. 1999, Schandry 2003).

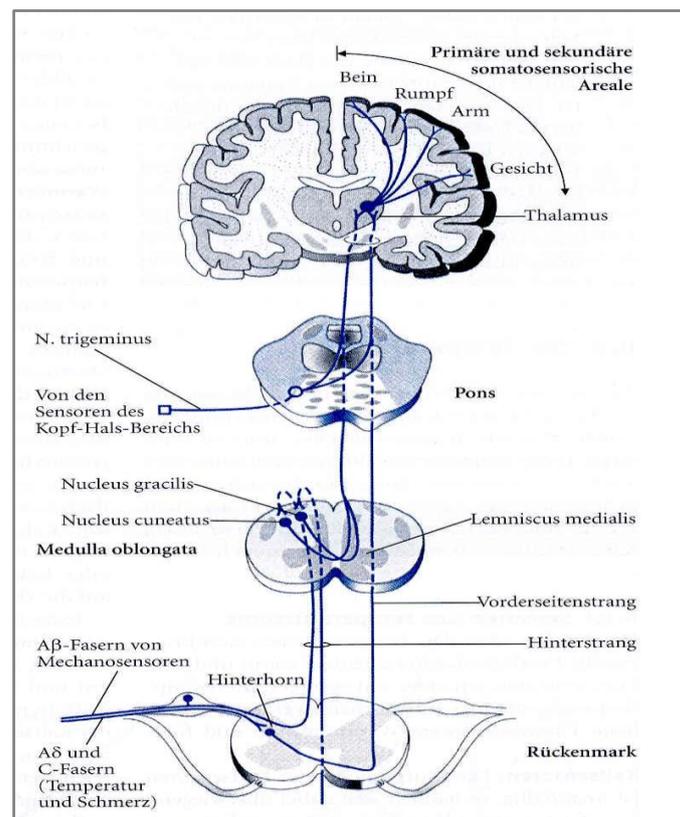


Abbildung 3: Zentralnervöse Weiterleitung der Somatosensorik  
(aus: Schandry 2003, S.237)

Der andere Teil der Fasern der zweiten Neuronenpopulation kreuzt direkt auf die Gegenseite, wo die Fasern im Vorderseitenstrang in subkortikale und kortikale Strukturen aufsteigen. Dies geschieht zum großen Teil in den beiden wichtigsten aufsteigenden Bahnen des nozizeptiven Systems im Rückenmark, dem Tractus spinoreticularis und dem Tractus spinothalamicus. Über den Tractus spinoreticularis werden die nozizeptiven Signale zum Hirnstamm geleitet, wo vor allem eine motorische, autonome und affektive Verarbeitung stattfindet. Außerdem findet hier eine Modulation der allgemeinen Aktivierung statt (Weiss & Schaible 2004). Über

den Tractus spinothalamicus gelangt die nozizeptive Information vom Rückenmark zum Thalamus, und aktiviert von dort aus weitere kortikale und subkortikale Strukturen (Chen 2007, Tracey 2008). An subkortikalen Gebieten sind vor allem die Strukturen des limbischen Systems (insbesondere die Amygdala und der Hippocampus) als wichtiger Teil des Schmerzverarbeitungssystems zu erwähnen (Chen 2008, Inui et al. 2003, Neugebauer et al. 2004, Ploghaus et al. 2001, Schneider et al. 2001). Verschiedene Studien legen die Vermutung nahe, dass der häufig beobachtete Zusammenhang zwischen bestimmten psychiatrischen Erkrankungen (z.B. Depression, Borderline-Persönlichkeitsstörung) und einer veränderten Schmerzwahrnehmung über Veränderungen in der Aktivität des limbischen Systems vermittelt wird (Davidson et al. 2002, Schmahl et al. 2006).

**Kortikale Verarbeitung:** Von den kortikalen Gebieten, die an der Verarbeitung schmerzhafter Reize beteiligt sind, erwiesen sich in Studien mit bildgebenden Verfahren vor allem der primäre und sekundäre somatosensorische Kortex, der anteriore cinguläre Kortex, die Insula sowie der präfrontale Kortex als bedeutsam (Chen 2008).

Häufig wird zwischen dem lateralen und dem medialen Schmerzsystem unterschieden: Während das laterale System vor allem aus Neuronen aus dem spinothalamischen Trakt besteht, die über laterale thalamische Kerne vorwiegend zum primären und sekundären somatosensorischen Kortex projizieren, werden Neuronen des medialen Systems über mediale Kerne des Thalamus vor allem zum anterioren cingulären Kortex, der Insula, dem präfrontalen Kortex und verschiedenen subkortikalen Strukturen verschaltet. Während das laterale Schmerzsystem vor allem für die sensorisch-diskriminative Schmerzverarbeitung eine wichtige Rolle spielt, werden über das mediale System vorwiegend affektiv-emotionale Aspekte des Schmerzes verarbeitet. Die Insula scheint dabei eine Vermittlungsfunktion zwischen dem lateralen und dem medialen Schmerzsystem einzunehmen (Chen 2007, Tracey 2008, Xie et al. 2009).

Der **primäre somatosensorische Kortex** hat eine wichtige Funktion für die Codierung verschiedener Stimulusintensitäten sowie der Dauer und Lokalisation von sowohl schmerzhaften als auch nicht-schmerzhaften Reizen und ist damit an der sensorisch-diskriminative Verarbeitung beteiligt (Bornhövd et al. 2002, Bushnell et al. 1999, Ploner & Schnitzler 2004). Eine stärkere Aktivierung lässt sich dabei meist in der kontralateral zum Stimulationsort gelegenen Hemisphäre nachweisen (Kakigi et al. 2005, Youell et al. 2004).

Der **sekundäre somatosensorische Kortex** ist an der Integration der sensorischen sowie der Schmerzinformation beteiligt (Peyron et al. 2000). Er scheint eine wichtige Rolle für schmerzbezogene Lern- und Gedächtnisvorgänge sowie für die Erkennung von Schmerzreizen zu spielen (Ploner & Schnitzler 2004).

Die **Insula** scheint sowohl an der sensorisch-diskriminative als auch an der affektiv-emotionalen Schmerzverarbeitung beteiligt zu sein (Chen 2007, Treede et al. 1999). Der sensorisch-diskriminative Aspekt beinhaltet dabei unter anderem eine Enkodierung der Intensität und Lateralität von schmerzhaften und nicht schmerzhaften Reizen, die affektiv-emotionale Verarbeitung bezieht sich dagegen auf Aspekte wie beispielsweise die Unangenehmheit eines Reizes (Chen 2007). Durch die Strukturen der Insula wird eine Verbindung zwischen dem lateralen und dem medialen Schmerzsystem hergestellt, sodass hier integrative Funktionen in Bezug auf beide Schmerzsysteme anzunehmen sind (Chen 2007, Ploner & Schnitzler 2004).

Auch für das **anteriore Cingulum** zeigen sich konsistente Befunde einer Aktivierung bei der Verarbeitung von Schmerzen. Als Bestandteil des limbischen Systems wird ihm eine wichtige Bedeutung für die affektive Bewertung zugeschrieben (Ploner & Schnitzler 2004, Weiss & Schaible 2004). Daneben scheint es an der Regulation der Aufmerksamkeit und der Antwortselektion beteiligt zu sein (Chen 2008, Treede et al. 1999). Außerdem spielt diese Struktur vermutlich eine Rolle bei komplexen motorischen Schutzreaktionen und bei Lernprozessen zur Vorhersage und Vermeidung von Schmerzen (Weiss & Schaible 2004, Xie et al. 2009). Die hohe Konzentration an Opioidrezeptoren könnte für eine Beteiligung des anterioren Cingulums an der endogenen Schmerzmodulation sprechen (Ploner & Schnitzler 2004, Weiss & Schaible 2004).

Der **präfrontale Kortex** ist mit großer Wahrscheinlichkeit für die Gesamtbewertung des Schmerzes von großer Bedeutung. Er spielt eine wichtige Rolle bei der kognitiven und aufmerksamkeitsbezogenen Schmerzverarbeitung und scheint an der Modulation des endogenen Schmerzunterdrückungssystems sowie an der Entstehung des Placeboeffekts beteiligt zu sein. Weiterhin gibt es Hinweise, dass die Aktivierung medialer präfrontaler Areale mit der Erwartung von Schmerzen sowie der Interaktion von Angst und Schmerz assoziiert ist (Chen 2007, Weiss & Schaible 2004, Wiech et al. 2008).

#### 1.1.4. Schmerzmodulation

Es gibt verschiedene Faktoren und Mechanismen, welche die Schmerzverarbeitung beeinflussen. Einen wichtigen direkten Einfluss hat dabei das endogene antinozizeptive System. Die vermutlich bedeutendste Struktur dieses Systems stellt das periaquäduktale Grau (PAG) im Hirnstamm dar (Benarroch 2008, Loyd & Murphy 2009): Zum einen werden vom PAG ausgehend, über den Nucleus Raphe magnus das serotonerge und über den Locus coeruleus das noradrenerge, deszendierende Bahnsystem aktiviert (Weiss & Schaible 2004). Diese beiden Systeme wirken sich auf spinaler Ebene hemmend auf die nozizeptive Signalverarbeitung aus. Dabei werden die Neuronen der aufsteigenden Projektionsbahnen entweder direkt gehemmt oder die Schmerz-Inhibition wird über die Hemmung exzitatorischer und die Aktivierung inhibitorischer Interneurone reguliert (Benarroch 2008, Weiss & Schaible 2004). Zum anderen findet sich im PAG eine hohe Konzentration an endogenen Opiaten und Opiatrezeptoren. Opiate wirken analgetisch, indem sie vermutlich die deszendierende Hemmung aktivieren (Lautenbacher et al. 1999, Tracey 2008, Weiss & Schaible 2004).

Häufig wird beobachtet, dass bei zwei nicht im gleichen Teil des Körpers auftretenden Schmerzen, der stärkere Schmerz den Schwächeren hemmt (Reinert et al. 2000). Dafür scheint ein Regelkreis verantwortlich zu sein, bei dem die dorsalen Anteile der Formatio reticularis involviert sind. Der Regelkreis führt zu einer generalisierten Hypoalgesie, wenn er durch starke Schmerzreize aktiviert wird (Lautenbacher et al. 1999).

Weiterhin wird die Schmerzwahrnehmung durch periphere und zentrale Sensitivierungsprozesse verändert. Wiederholte Stimulation kann zu einer erhöhten Empfindlichkeit der peripheren Neurone führen (Weiss & Schaible 2004). Dies wird wahrscheinlich durch eine erhöhte Sensitivität der Rezeptoren, eine verminderte Aktivierungsschwelle oder eine verlängerte und verstärkte Entladung der beteiligten Neuronen vermittelt (Byers & Bonica 2001). Auch die Aktivierung der oben erwähnten „schlafenden Nozizeptoren“ könnte hier eine Rolle spielen. Ähnliche Veränderungen finden sich bei der zentralen Sensitivierung: Auch hier erhöht sich die Empfindlichkeit der Neuronen für Reize aus dem verletzten Gebiet und dessen Umgebung (Weiss & Schaible 2004).

Gegensätzliche Effekte ergeben sich durch Habituation. Im Rahmen von Habituationsprozessen verringert sich die Orientierungsreaktion auf wiederholte, identische Stimuli (Birbaumer & Schmidt 2003). Bei schmerzhaften Reizen sind dabei vor allem kurze

Stimuli betroffen (Weiss & Schaible 2004). Im Allgemeinen sinkt die Habituationsrate mit zunehmender Reizintensität. Dabei spielt vor allem die subjektiv wahrgenommene Reizstärke eine Rolle (Birbaumer & Schmidt 2003).

Aufgrund der Tatsache, dass die Schmerzwahrnehmung im Gegensatz zu anderen sensorischen Systemen nicht nur durch die Reizeigenschaften sondern auch durch verschiedene, teilweise miteinander interagierende psychologische Aspekte bestimmt wird, ist es nicht einfach solche psychologischen Einflussfaktoren zu identifizieren. Im Folgenden wird eine Auswahl wichtiger psychologischer Faktoren dargestellt, für die ein Einfluss auf die Schmerzwahrnehmung nachgewiesen werden konnte:

- Verschiedenen Studien konnten einen Zusammenhang zwischen der **Aufmerksamkeit** und verschiedenen sensorischen und affektiven Aspekten der Schmerzwahrnehmung nachweisen. Eine erhöhte Aufmerksamkeit auf den Schmerz führte dabei in vielen Studien zu einer stärkeren kortikalen Aktivierung und einer verstärkten Schmerzwahrnehmung, wohingegen Ablenkung eher zu einer Reduktion der Schmerzen führte (Kakigi et al. 2000, Miltner 1989, Miltner et al. 1989, Miron et al. 1989, Villemure & Bushnell 2002, Wiech et al. 2008).
- Daneben spielen häufig verschiedene **kognitive Faktoren** eine entscheidende Rolle für die Schmerzwahrnehmung. Dazu gehören neben der kognitive Bewertung auch kontextuelle Faktoren wie z.B. Einstellungen und Erwartungen in Bezug auf die Schmerzen, die z.B. auch für den Placeboeffekt eine entscheidende Rolle spielen (Keltner et al. 2006, Kong et al. 2007, Koyama et al. 2005, Tracey 2008). So führten katastrophisierende Kognitionen sowie eine als gering oder nicht vorhanden wahrgenommene Kontrolle zu einer verstärkten Schmerzwahrnehmung (Campbell & Edwards 2009, Edwards et al. 2006, Gracely et al. 2004).
- Außerdem scheinen auch die Stimmung und die **emotionale Verfassung** die Schmerzwahrnehmung zu beeinflussen. Diese Ergebnisse finden sich sowohl in klinischen Studien bei chronischen Schmerzpatienten als auch in experimentellen Untersuchungen (de Wied & Verbaten 2001, Schanberg et al. 2000, Villemure & Bushnell 2002). Studien, in denen z.B. durch angenehme Musik oder Bilder eine positive Stimmung induziert wurde, finden eine reduzierte Schmerzwahrnehmung bzw. eine erhöhte Toleranzschwelle bei den Patienten (de Wied & Verbaten 2001,

Weisenberg et al. 1998). Dagegen führt die negative Beeinflussung der Stimmung zu einer verminderten Schmerztoleranz (Zelman et al. 1991).

### 1.1.5. Experimentelle Untersuchung von Schmerz

Die Tatsache, dass in die Schmerzwahrnehmung nicht nur rein physiologische Reizparameter sondern auch psychologische Aspekte mit eingehen, führt zu besonderen Voraussetzungen für die Messung von Schmerzen, denn das subjektive Erlebnis Schmerz ist nicht mit rein objektiven Verfahren messbar. Zumindest müssen die subjektiven Einflüsse mit berücksichtigt werden. Dies gilt sowohl in klinischen Untersuchungen, bei denen wahrgenommene klinische Schmerzen von den Patienten eingeschätzt werden (klinische Algesimetrie), als auch in experimentellen Studien, bei denen genau definierte und exakt kontrollierbare Reize von den Versuchspersonen bewertet werden (experimentelle Algesimetrie, Lautenbacher et al. 1999).

In der experimentellen Algesimetrie werden sehr häufig die Schmerzschwelle (Intensität eines Reizes, bei dem gerade eine schmerzhafte Empfindung ausgelöst wird) und die Toleranzschwelle (Intensität, bei der die Person den Schmerz als nicht weiter tolerierbar empfindet) erhoben. Daneben wird oft auch die Wahrnehmungsschwelle registriert.

#### 1.1.5.1. Schmerzinduktion durch Hitzereize

In der experimentellen Schmerzforschung kommen verschiedene Verfahren zur Schmerzinduktion zur Anwendung: Am häufigsten werden Druck-, thermische, und elektrische Reize verwendet. Chemische Reize werden dagegen aufgrund der schlechten Standardisierbarkeit und Kontrollierbarkeit eher selten eingesetzt. Die Verwendung von thermischen Reizen hat den Vorteil, dass damit aufgrund der auch im Alltag auftretenden Reizart eine natürliche Empfindung ausgelöst wird (Lautenbacher et al. 1999). Hitzereize werden häufig mithilfe von Laserenergie oder mithilfe von Kontaktthermoden appliziert. Beide Verfahren bieten eine gute Möglichkeit, gleichzeitig die evozierte hirnelektrische Aktivität aufzuzeichnen.

Vorteil der Laserhitzereize ist, dass bei der Stimulation die Haut nicht berührt wird und dadurch im Gegensatz zur Kontaktthitzestimulation keine Erregung mechanischer Hautsensoren auftritt. Nachteile sind ein vor allem aufgrund der Laserschutzbestimmungen

aufwendiger Versuchsaufbau (u.a. Tragen von Laserschutzbrillen, Kontrollen durch Laserschutzbeauftragte, Notwendigkeit der Kalibrierung), sowie die Gefahr von Hautverbrennungen (Granovsky et al. 2008, Seifert et al. 2008).

Die Stimulation mithilfe einer Kontaktthermode erlaubt dagegen eine sehr gut kontrollierbare Veränderung der Temperatur, bei der die Haut nach der Stimulation wieder auf das Ausgangsniveau zurückgeführt wird (Lautenbacher et al. 1999). Mit diesem Verfahren werden größere Hautareale stimuliert als mit Laserreizen. Dies führt zu einer Aktivierung einer größeren Anzahl von Nozizeptoren und damit oft zu einem besseren Signal-Rausch-Verhältnis. Daneben ergeben sich durch die Stimulation eines größeren Hautareals Reize, die eine natürlichere Empfindung auslösen (Granovsky et al. 2008). Nachteil ist, dass sich durch die geringere Aufheizgeschwindigkeit im Vergleich zur Laserstimulation Latenzunterschiede bezüglich des Erreichens unterschiedlicher Zieltemperaturen ergeben. Außerdem beinhaltet eine solche Stimulation, wie oben beschrieben, die gleichzeitige Erregung mechanischer Hautsensoren.

#### 1.1.5.2. Ereigniskorrelierte Potentiale

Das Elektroenzephalogramm (EEG) ist eine Methode, um die hirnelektrische Aktivität an der Schädeloberfläche zu registrieren. Das Verfahren ist nicht-invasiv und weist eine hohe zeitliche Auflösung auf. Dadurch stellt es eine gute Methode zur Untersuchung der Schmerzwahrnehmung und anderer sensorischer und psychischer Prozesse dar. Man geht davon aus, dass die aufgezeichneten Potentiale nicht durch einzelne Neuronen, sondern durch die synchrone Aktivierung größerer Neuronenverbände zustande kommen (Schandry 2003).

Bei der Registrierung der hirnelektrischen Aktivität unterscheidet man zwischen der Spontanaktivität und evozierter Aktivität. Die Spontanaktivität kommt durch kontinuierliche Potentialschwankungen an der Schädeloberfläche zustande. Diese Spannungsänderungen treten mehr oder weniger rhythmisch auf und sind vom Aktivierungszustand abhängig. Eine genauere Darstellung der einzelnen Frequenzbereiche im Spontan-EEG findet sich bei Ray 1999 und Zschoke 2009.

Ereigniskorrelierte Potentiale (= evozierte Aktivität) werden dagegen durch äußere und innere Ereignisse ausgelöst. Die Potentialänderungen sind im Vergleich zum Hintergrundrauschen sehr klein und werden daher durch die Mittelungstechnik sichtbar gemacht. Das Verfahren

basiert auf der Tatsache, dass das Auftreten des evozierten Potentials auf denselben Reiz innerhalb einer Versuchsperson nahezu zeitlich konstant stattfindet. Bei Mittelung der Potentiale für die einzelnen Reize wird damit das in zufälliger zeitlicher Reihenfolge auftretende Rauschen vermindert, sodass im Wesentlichen nur die auf den Reiz bezogenen Potentialanteile verbleiben.

Für die verschiedenen zugrunde liegenden Hirnprozesse ergeben sich jeweils typische Verlaufsmuster, wobei sich dieses Verlaufsmuster in verschiedene positive und negative Potentialsegmente (die so genannten Komponenten) unterteilen lässt. Häufig werden die Komponenten nach der Latenz (in ms), mit der sie nach einem Reiz auftreten, benannt (z.B. N100, P300). Oft werden sie aber auch nach der zeitlichen Reihenfolge ihres Auftretens durchnummeriert. Positive Peaks werden dabei mit P, negative mit N bezeichnet (z.B. N1, P1, N2, usw.).

Die auftretenden Komponenten lassen sich grob in frühe (exogene) Komponenten mit einer Latenz kleiner 200 ms und späte (endogene) Komponenten im Latenzbereich größer 200 ms einteilen (Schandry 2003).

### 1.1.5.3. Somatosensorisch evozierte Potentiale nach Stimulation mit Hitzereizen

Voraussetzung für die Ableitung somatosensorisch evozierter Potentiale ist, dass die Reize reproduzierbar, zeitlich diskret, variabel und möglichst nicht-invasiv sind. Die Applikation von Hitzereizen mit einer Kontaktthermode erfüllt die vorgenannten Bedingungen gut: Die Reize lassen sich wiederholt applizieren, sowohl Frequenz als auch Amplitude lassen sich relativ einfach variieren und die beteiligten Nervenfasern werden durch diskrete, sehr kurze Reize stimuliert. Außerdem ist das Verfahren sehr ökonomisch und ohne gesundheitliche Risiken anwendbar.

Die typische Form von evozierten Potentialen nach schmerzhaften Kontakthitzereizen beinhaltet eine negative Komponente mit einer Latenz um ca. 300 – 400 ms und eine positive Komponente mit einer Latenz um ca. 380 - 500 ms (u.a. Chen et al. 2006, Granovsky et al. 2008, Greffrath et al. 2007, Roberts et al. 2008). Die maximale Amplitudenausprägung beider Komponenten findet sich üblicherweise an der Elektrode Cz. Die Form der Potentiale ist ungefähr vergleichbar mit den Potentialen nach schmerzhafter Laserstimulation, die charakteristischen Komponenten treten jedoch im Vergleich zu den laserevozierten

Potentialen ca. 100 ms später auf (Pazzaglia & Valeriani 2009, Truini et al. 2007). Dies ist vermutlich nicht auf eine unterschiedliche kortikale Verarbeitung zurückzuführen, sondern möglicherweise auf die unterschiedliche Stimulationsdauer bei den beiden Methoden. Zum einen benötigt der Laser eine deutlich kürzere Aufheizzeit, zum anderen spielen möglicherweise die unterschiedlichen Wärmeleitwiderstände durch die unterschiedlich große Intensität pro Fläche eine Rolle. Diese ist bei der Verwendung von Laserhitzereizen deutlich größer (Granovsky et al. 2008).

Für die evozierten Potentiale nach Kontakthitzestimulation lassen sich sowohl Effekte der physikalischen als auch der subjektiven Reizintensität nachweisen, d.h. eine höhere Stimulationstemperatur bzw. eine höhere subjektiv wahrgenommene Reizintensität führt zu größeren Amplituden (Chao et al. 2007, Granovsky et al. 2008, Greffrath et al. 2007, Roberts et al. 2008, Warbrick et al. 2009). Dies gilt sowohl für die negative als auch für die positive Komponente und steht im Einklang mit Ergebnissen aus Studien mit anderen Schmerzreizen (u.a. Miltner et al. 1989, Niddam et al. 2000, Ohara et al. 2004).

In verschiedene Studien konnte gezeigt werden, dass die Ausrichtung der Aufmerksamkeit auf den Stimulus zu größeren Amplituden in den evozierten Potentiale nach elektrischen und Laserhitzereizen führt (u.a. Garcia-Larrea et al. 1997, Kenntner-Mabiala et al. 2008, Miltner et al. 1989). Bisher liegen noch keine Studien vor, welche diesen Effekt auch für Kontakthitzereize nachweisen. Es ist jedoch davon auszugehen, dass dieser Zusammenhang auch hier gilt. Le Pera et al. 2002 gingen in ihrer Studie der Frage nach, ob die Ausrichtung der Aufmerksamkeit auf bestimmte Aspekte des Reizes (Intensität versus Unangenehmheit) zu Unterschieden in den evozierten Potentialen (nach Kontakthitzestimulation) führen. Ein solcher Unterschied konnte in der Untersuchung jedoch nicht nachgewiesen werden.

Speziell bei Studien in denen somatosensorisch evozierte Potentiale untersucht werden, ist eine wiederholte Stimulation zur Verbesserung des Signal-Rausch-Verhältnisses unumgänglich. Periphere Sensitivierungs- und Habituationsprozesse können dabei durch eine leichte Veränderung des Stimulationsortes vor jedem Reiz vermieden werden. Allerdings ergibt sich auch bei einer solchen Vorgehensweise meist eine Reduktion der evozierten Potentiale und der wahrgenommenen Reizintensität, was vermutlich auf zentrale Habituationsprozesse zurückzuführen ist (Greffrath et al. 2007, Warbrick et al. 2009).

## 1.2. Persönlichkeit

### 1.2.1. Definitionen

Theorien der Persönlichkeit zielen darauf, die persönlichen Eigenarten von Individuen zu erfassen und zu beschreiben. Es existiert eine große Zahl an Persönlichkeitsdefinitionen, die sich mehr oder weniger deutlich voneinander unterscheiden.

So definiert G.W. Allport die Persönlichkeit als „die dynamische Ordnung derjenigen psychophysischen Systeme im Individuum, die seine einzigartigen Anpassungen an seine Umwelt bestimmen.“ (Allport 1959).

Nach Eysenck ist die Persönlichkeit „die mehr oder weniger stabile und dauerhafte Organisation des Charakters, Temperaments, Intellekts und Körperbaus eines Menschen, die seine einzigartige Anpassung an die Umwelt bestimmt. Der Charakter eines Menschen bezeichnet das mehr oder weniger stabile und dauerhafte System seines konativen Verhaltens (des Willens); sein Temperament das mehr oder weniger stabile und dauerhafte System seines affektiven Verhaltens (der Emotion oder des Gefühls); sein Intellekt das mehr oder weniger stabile und dauerhafte System seines kognitiven Verhaltens (der Intelligenz), sein Körperbau das mehr oder weniger stabile System seiner physischen Gestalt und neuroendokrinen (hormonalen) Ausstattung“ (Eysenck 1970).

Die Definition von Guilford lautet dagegen: „Die Persönlichkeit eines Individuums ist seine einzigartige Struktur von Persönlichkeitszügen (Traits) [...]. Ein Trait ist jeder abstrahierbare und relativ konstante Persönlichkeitszug, hinsichtlich dessen eine Person von anderen Personen unterscheidbar ist“ (Guilford 1964).

### 1.2.2. Persönlichkeitstheorien

Es wurden verschiedene Persönlichkeitstheorien entwickelt, die Verhaltensweisen von Menschen vorhersagen und erklären sollen. Asendorpf 2007 unterscheidet sieben Paradigmen, die einen großen Einfluss auf die heutige Persönlichkeitspsychologie ausüben:

- Der *Psychoanalytische Ansatz* geht auf Sigmund Freud zurück. Er nimmt an, dass frühkindliche Erfahrungen in Bezug auf die Triebregulation in der oralen, analen

und phallischen Phase den späteren Charakter prägen. Freud betont dabei vor allem die Rolle des Unbewussten.

- Das *Behavioristische Paradigma* geht dagegen davon aus, dass Unterschiede im Verhalten und individuelle Reaktionen auf Belohnungen durch die individuelle Lerngeschichte der Personen bestimmt sind. Die Persönlichkeit ist somit komplett durch die Umwelt beeinflusst.
- Im *Informationsverarbeitungsparadigma* wird angenommen, dass das Erleben und Verhalten auf Informationsverarbeitungsprozessen beruht. Der Ansatz geht davon aus, dass die Architektur des informationsverarbeitenden Systems mit Ausnahme von Geschlechtsunterschieden bei allen Menschen gleich ist. Verantwortlich für die individuellen Unterschiede im Erleben und Verhalten von Personen sind vor allem die Geschwindigkeit, mit der die Information verarbeitet wird, die Schwellen, ab denen eine Reaktion ausgelöst wird (z.B. emotionale Reaktionen) und das individuelle explizite und implizite Wissen.
- Der *Neurowissenschaftliche Ansatz* betont die Tatsache, dass die Aktivität des Nervensystems die Basis menschlicher Informationsverarbeitung darstellt. Auch hier wird die Annahme zugrunde gelegt, dass das neuronale und hormonelle System für alle Menschen universell ist (mit Ausnahme der geschlechtsspezifischen Besonderheiten). Individuelle Unterschiede ergeben sich durch Besonderheiten der anatomischen Feinstruktur (z.B. Stärke der Vernetzung der Neuronen) und der physiologischen und chemischen Eigenschaften, wobei diese Faktoren oft stark miteinander interagieren.
- Das *Dynamisch-interaktionistische Paradigma* zielt vor allem auf die Frage ab, wie Eigenschaften langfristigen Veränderungen unterliegen können. Zentrale Annahme ist eine kontinuierliche Wechselwirkung zwischen Person und Umwelt.
- Eine wichtige Frage im *Evolutionenpsychologischen Paradigma* betrifft die Überlegung, warum es überhaupt so große Unterschiede in der Persönlichkeit gibt. Der Ansatz versucht Persönlichkeitsunterschiede durch die Prinzipien der Evolution zu erklären.
- Das *Eigenschaftsparadigma* sieht die Persönlichkeit als organisierte Gesamtheit verschiedener Eigenschaften und geht davon aus, dass die Eigenschaften einer Person die Reaktionen auf spezifische Situationen bestimmen. Der

Eigenschaftsansatz stellt ein wichtiges Konzept in der Persönlichkeitspsychologie dar und wird im Folgenden aufgrund seiner Wichtigkeit für das in dieser Arbeit verwendete Persönlichkeitskonstrukt genauer dargestellt (siehe Kap. 1.2.3.).

### 1.2.3. Das Eigenschaftsparadigma und die Big Five

Als Gründer des Eigenschaftsansatzes gelten vor allem William Stern und Gordon Allport. Grundlage des Paradigmas ist die Annahme, dass Eigenschaften die Reaktionen von Personen auf spezifische Situationen (im Sinne komplexer Reizkonstellationen) bestimmen. Eigenschaften gelten dabei als mindestens mittelfristig stabil, Veränderungen über längere Zeiträume sind jedoch möglich. Die Persönlichkeit wird „als organisierte Gesamtheit dieser Eigenschaften“ verstanden (Asendorpf 2007).

Man unterscheidet den individuumszentrierten Ansatz und den differentiellen Ansatz. Im individuumszentrierten Ansatz stehen die Eigenschaften einer Person und die individuelle Organisation ihres Verhaltens im Vordergrund. Zur Beschreibung der Persönlichkeit greift dieses Konzept jedoch zu kurz, denn zu dem, was die Persönlichkeit eines Menschen ausmacht, gehört vor allem auch das, was diese Person von anderen Individuen unterscheidet. Eine Beschreibung der Persönlichkeit im differentiellen Ansatz zielt entsprechend nicht mehr auf die Beziehung zwischen Situation und Reaktion bei einer Person, sondern auf die Unterschiede in diesen Reaktionen zwischen verschiedenen Individuen. Persönlichkeitseigenschaften werden dabei als Merkmale innerhalb einer Population verstanden, wobei jede Person eine spezifische Ausprägung der entsprechenden Variablen aufweist (z.B. Ausmaß der Gewissenhaftigkeit).

Einen wichtigen differentiellen Ansatz stellt das Konzept der BIG FIVE dar. Dieses eigenschaftstheoretische Modell entwickelte sich vor allem aus lexikalischen Ansätzen, die darauf beruhen, dass Eigenschaftswörter mit Hilfe von faktorenanalytischen Verfahren auf wenige wichtige Dimensionen reduziert wurden. Interessanterweise kamen viele verschiedene Forscher nach Analyse von Selbst- und Fremdratings, Fragebögen und Adjektivlisten zu dem Schluss, dass fünf Faktoren (BIG FIVE) zur Beschreibung der Persönlichkeit ausreichen. Auffällig war das hohe Maß an Übereinstimmung dieser fünf Dimensionen zwischen verschiedenen Forschergruppen (Amelang & Bartussek 1990, Friedman & Schustack 2004).

McCrae & Costa 1985 fanden die unten beschriebenen fünf Faktoren Neurotizismus, Extraversion, Offenheit für Erfahrungen, Verträglichkeit und Gewissenhaftigkeit. Diese entsprechen weitestgehend den von den anderen Forschergruppen gefundenen Faktoren. Erfasst werden können die BIG FIVE mithilfe von Persönlichkeitsinventaren wie dem NEO-Fünf-Faktoren-Inventar (NEO-FFI, Costa & McCrae 1989, deutsche Version: Borkenau & Ostendorf 1993), an welches sich auch ihre Beschreibung in den nächsten Abschnitten anlehnt. Eine genauere Darstellung des Fragebogens findet sich in Kap. 3.3.5.).

**Neurotizismus:** Diese Persönlichkeitsdimension spiegelt die Unterschiede in der emotionalen Stabilität bzw. emotionalen Labilität der untersuchten Personen wider. Erfasst wird mit der Skala, wie insbesondere negative Emotionen verarbeitet und erlebt werden. Personen mit hoher Ausprägung berichten häufiger negative Gefühlszustände wie Ängstlichkeit, Unsicherheit, Verlegenheit, Nervosität und Traurigkeit, geraten leichter aus dem seelischen Gleichgewicht und machen sich häufiger Sorgen. Personen mit niedrigen Werten weisen dagegen eine hohe emotionale Stabilität auf, fühlen sich ausgeglichen und ruhig und reagieren weniger stark auf Stresssituationen (Borkenau & Ostendorf 1993, Costa & McCrae 1989).

**Extraversion:** Diese Skala bildet die Unterschiede in der Aufgeschlossenheit gegenüber anderen Menschen ab. Personen mit hoher Ausprägung zeichnen sich durch Geselligkeit, Gesprächigkeit, Selbstsicherheit, Lebhaftigkeit und Optimismus aus und fühlen sich in Gruppen besonders wohl. Introversion ist eher nicht als Gegensatz zu Extraversion zu sehen, sondern als geringe Ausprägung dieser Dimension. Charakteristische Eigenschaften einer introvertierten Person sind Zurückhaltung, Unabhängigkeit, Ausgeglichenheit und das Bedürfnis alleine zu sein. Ängstlichkeit in sozialen Situationen muss dabei nicht notwendigerweise vorhanden sein (Borkenau & Ostendorf 1993, Costa & McCrae 1989).

**Offenheit für Erfahrungen:** Diese Persönlichkeitsdimension erfasst Unterschiede in der Aufgeschlossenheit gegenüber neuen Erfahrungen. Hier werden vor allem das Interesse und die Beschäftigung mit Neuem abgebildet. Personen mit hoher Ausprägung sind wissbegierig, experimentierfreudig und sowohl an persönlichen als auch an Vorgängen in ihrer Umgebung sehr interessiert. Sie sind phantasievoll, ihr Verhalten ist häufig unkonventionell und sie tendieren stärker dazu, Normen und Wertvorstellungen zu hinterfragen und sich auf Neues einzulassen. Bei niedriger Ausprägung dieser Dimension stehen dagegen eher konservative Einstellungen und das Festhalten an gewohnten Verhaltensweisen, sowie eher gedämpfte Reaktionen im Vordergrund (Borkenau & Ostendorf 1993, Costa & McCrae 1989).

**Verträglichkeit:** Die Skala Verträglichkeit bildet wiederum Unterschiede im interpersonellen Verhalten ab. Personen mit hohen Werten sind altruistisch, verständnisvoll und wohlwollend gegenüber anderen Menschen, zeigen Mitgefühl und haben ein starkes Harmoniebedürfnis. Hilfsbereitschaft, Kooperativität, Nachgiebigkeit und Vertrauen in andere Personen sind zentrale Eigenschaften verträglicher Menschen. Dagegen haben Personen mit einer niedrigen Ausprägung dieser Persönlichkeitsdimension eher egozentrische und misstrauische Einstellungen und sehen sich häufig im Wettstreit mit anderen Personen. Einerseits sind verträglichere Menschen oft beliebter als Personen mit geringerer Verträglichkeit, andererseits kann aber auch die Fähigkeit für eigene Interessen zu kämpfen (welche vor allem bei weniger verträglichen Menschen ausgeprägter ist) in vielen Situationen hilfreich sein (Borkenau & Ostendorf 1993, Costa & McCrae 1989).

**Gewissenhaftigkeit:** Dieser Persönlichkeitsfaktor spiegelt das Ausmaß der Selbstkontrolle bezüglich der Planung, Organisation und Durchführung von Aufgaben wider. Personen mit hoher Ausprägung dieser Dimension zeichnen sich unter anderem durch Zielstrebigkeit, Fleiß, Zuverlässigkeit, Pünktlichkeit und Willensstärke aus und sind dem entsprechend meist beruflich erfolgreicher. Eine extreme Ausprägung dieser Eigenschaften kann sich in zwanghafter Ordentlichkeit, Arbeitssucht und einem übertriebenen Leistungsanspruch zeigen und entsprechend zu Problemen führen. Personen mit niedrigen Werten sind dagegen weniger engagiert in der Verfolgung ihrer Ziele und verhalten sich eher nachlässig und gleichgültig (Borkenau & Ostendorf 1993, Costa & McCrae 1989).

## 1.3. Schmerz und Persönlichkeit

Schmerz ist eine individuelle Erfahrung, in die neben den Eigenschaften des schmerzauslösenden Reizes auch viele psychologische Aspekte mit eingehen (vergleiche Kap. 1.1.). Theorien über die Persönlichkeit versuchen Gemeinsamkeiten und Unterschiede im Denken, Handeln und Reagieren von Menschen zu beschreiben (vergleiche Kap. 1.2.) Entsprechend liegt es nahe, dass auch die Schmerzwahrnehmung bzw. die Reaktionen auf schmerzhaft Reize durch die Persönlichkeit beeinflusst werden.

### 1.3.1. Neurotizismus

Der Persönlichkeitsfaktor Neurotizismus könnte hier ein vielversprechendes Konstrukt sein, denn Personen mit hohen Neurotizismus-Werten reagieren empfindlicher und mit mehr Aufmerksamkeit auf ihren Körperzustand und berichten mehr körperliche Beschwerden als Personen mit niedrigen Neurotizismuswerten (u.a. Costa & McCrae 1985a, Johnson 2003, Larsen & Kasimatis 1991). Entsprechend wurde in verschiedenen Studien der Zusammenhang zwischen Neurotizismus und der Schmerzwahrnehmung untersucht (u.a. Affleck et al. 1992, Asghari & Nicholas 2006, Goubert et al. 2004, Harkins et al. 1989, Lee et al. 2010, Paine et al. 2009, Ramirez-Maestre et al. 2004, Raselli & Broderick 2007, Schmidt et al. 2011, Vossen et al. 2006, Wade et al. 1992). Allerdings sind die Ergebnisse sehr inkonsistent (siehe unten).

Viele Überlegungen konzentrieren sich auf die Frage nach den Ursachen bzw. Moderatorvariablen, die den Zusammenhang zwischen Neurotizismus und der Schmerzwahrnehmung vermitteln. Eine mögliche Erklärung wäre, dass Personen mit höheren Neurotizismuswerten mehr über ihre Beschwerden klagen als Personen mit niedrigen Werten auf dieser Skala (Costa & McCrae 1980). Einige Autoren vertreten in diesem Zusammenhang die Ansicht, dass die Personen mit hoher Neurotizismus-Ausprägung die wahrgenommene Schmerzintensität z.B. aufgrund hypochondrischen Tendenzen übertreiben oder aufgrund anderer kognitiver und emotionaler Faktoren (z.B. einer erhöhten Aufmerksamkeit auf körperliche Vorgänge oder Katastrophisierungstendenzen) überschätzen (u.a. Costa & McCrae 1987, Wise & Mann 1994). Andere Autoren sind der Meinung, dass Personen mit hohen Neurotizismuswerten tatsächlich vulnerabler für körperliche Symptome sind als Personen mit niedrigen Werten (Johnson 2003).

Uneinigkeit besteht auch darüber, welche Schmerzkomponente betroffen ist. So konnte in einigen Studien ein Zusammenhang mit der sensorisch-diskriminative Schmerzkomponente nachgewiesen werden und zwar dahingehend, dass höhere Neurotizismuswerte mit einer erhöhten Schmerzsensitivität einher gehen, d.h. der Schmerz wird als intensiver wahrgenommen (u.a. Affleck et al. 1992, Ramirez-Maestre et al. 2004). In vielen anderen Studien ließ sich dieser Zusammenhang jedoch nicht nachweisen (u.a. Asghari & Nicholas 2006, Harkins et al. 1989, Raselli & Broderick 2007, Schmidt et al. 2011, Wade et al. 1992). In Bezug auf die affektiv-emotionale Komponente des Schmerzes fanden unter anderem Goubert et al. 2004, Harkins et al. 1989 und Wade et al. 1992 positive Korrelationen mit dieser Persönlichkeitsdimension. Höhere Neurotizismuswerte gehen dabei mit einer verstärkten Unangenehmheit des Schmerzes bzw. einer stärkeren affektiven Beeinträchtigung durch den Schmerz einher.

Verschiedene Autoren haben sich der Frage gewidmet, welche kognitiven und emotionalen Faktoren für die vorhandenen (wenn auch inkonsistenten) Unterschiede verantwortlich sein könnten.

Ramirez-Maestre et al. 2004 vermuteten, dass Persönlichkeitsfaktoren über einen modulierenden Effekt auf den Einsatz von Coping-Strategien die Wahrnehmung der Schmerzintensität beeinflussen. Sie untersuchten an 96 Patienten mit chronischen Schmerzen den Zusammenhang zwischen den Persönlichkeitsfaktoren Neurotizismus und Extraversion (sowie weiteren Variablen), den eingesetzten Coping-Strategien und der wahrgenommenen Schmerzintensität. Bezüglich der Ausprägung auf dem Faktor Neurotizismus zeigte sich eine positive Korrelation mit dem Einsatz passiver Coping-Strategien, d.h. je höher der Neurotizismuswert umso stärker wurden solche Strategien eingesetzt. Für den Einsatz aktiver Coping-Strategien ergab sich dagegen ein (geringfügiger) negativer Zusammenhang. Patienten mit hohen Neurotizismuswerten berichteten gleichzeitig eine höhere Schmerzintensität als Patienten mit einer niedrigen Ausprägung dieser Persönlichkeitsdimension. Die Autoren schließen, dass hohe Neurotizismuswerte zum Einsatz passiver, eher uneffektiver Coping-Strategien führen und diese Ineffektivität zu der höheren wahrgenommenen Schmerzintensität führt.

Asghari & Nicholas 2006 untersuchten, ob verschiedene Persönlichkeitsfaktoren einen Einfluss auf die schmerzbezogenen Einstellungen und Katastrophisierungstendenz haben. Insgesamt 145 Patienten mit unterschiedlichen chronischen Schmerzen nahmen an der Studie

teil. Von den fünf mithilfe des NEO-Persönlichkeitsinventars (NEO-PI-R, Costa & McCrae 1985b) ermittelten Persönlichkeitsfaktoren zeigte sich nur für Neurotizismus ein Zusammenhang mit den Schmerzmaßen: mit dem Persönlichkeitsfaktor lässt sich ein kleiner Varianzanteil der Veränderung der Einschätzung von Selbsteffizienz und Kontrollierbarkeit des Schmerzes erklären. Signifikante positive Korrelationen fanden sich auch mit der Katastrophisierung des Schmerzes, d.h. Patienten mit höheren Neurotizismuswerten zeigen eine stärkere Katastrophisierungstendenz als Personen mit niedrigen Neurotizismuswerten. Auch durch diese Studienergebnisse liegt nahe, dass sich Persönlichkeitsfaktoren auf das Risiko einer schlechten Anpassung an die chronischen Schmerzen auswirken.

Auch Goubert et al. 2004 gingen der Frage nach der Rolle von katastrophisierenden Tendenzen an einer Stichprobe von 122 Patienten mit chronischen oder wiederkehrenden Rückenschmerzen nach. Ziel war, die Rolle einer Katastrophisierung des Schmerzes, der schmerzbezogenen Angst und verschiedenen Persönlichkeitsdimensionen in Bezug auf die Aufmerksamkeit auf den Schmerz und die Schmerzintensität mithilfe von Strukturgleichungsmodellen zu spezifizieren. Die Untersuchung zeigt, dass sowohl die Katastrophisierung des Schmerzes als auch die schmerzbezogene Angst den Zusammenhang zwischen Neurotizismus und der Aufmerksamkeit auf den Schmerz beeinflussen. Daneben war eine verstärkte Aufmerksamkeit auf den Schmerz mit einer erhöhten Einschätzung der Schmerzintensität assoziiert. Außerdem konnte ein Einfluss der Skala Neurotizismus auf den Zusammenhang zwischen der Schmerzintensität und der Katastrophisierung des Schmerzes nachgewiesen werden. Die Ergebnisse sprechen dafür, dass Neurotizismus als Vulnerabilitätsfaktor verstanden werden kann, der die Schwelle herabsetzt, ab der Schmerz als bedrohlich erlebt wird und katastrophisierende Gedanken auftauchen.

Raselli & Broderick 2007 untersuchten an 66 Patienten mit verschiedenartigen chronischen Schmerzen (u.a. Fibromyalgie, rheumatische Arthritis) den Zusammenhang zwischen Neurotizismus und Depression einerseits und den berichteten Schmerzen andererseits. Sie ließen die Patienten über zwei Wochen jeweils mehrmals täglich die momentane Intensität und Unangenehmheit des Schmerzes, sowie über 4 Wochen die Schmerzveränderung von einer Woche zur nächsten einschätzen. Bezüglich des Zusammenhangs mit dem Persönlichkeitsfaktor Neurotizismus im NEO-PI ergab sich eine (niedrige) Korrelation sowohl mit der eingeschätzten Intensität als auch mit der Unangenehmheit der Schmerzen. Außerdem ergab sich ein systematischer Zusammenhang der Ausprägung des Neurotizismus mit den Schmerzveränderungsratings, auch wenn die aktuelle Veränderung berücksichtigt

wurde. Das heißt, Patienten mit höheren Neurotizismuswerten schätzten jeweils den aktuellen Schmerz als schlimmer ein, als den in der Woche zuvor. Die Autoren schließen daraus, dass Neurotizismus nur einen geringen Einfluss auf die momentane Schmerzeinschätzung oder die Richtigkeit der erinnerten Schmerzen hat, dass dieser Persönlichkeitsfaktor aber eine Rolle bei der Beurteilung der Schmerzveränderung spielt.

Eine mögliche Erklärung für die oben genannten inkonsistenten Ergebnisse könnte in einem potentiellen differentiellen Effekt des Persönlichkeitsfaktors Neurotizismus auf experimentelle im Vergleich zu chronischen Schmerzen liegen. Die oben genannten Inkonsistenzen finden sich jedoch sowohl in Untersuchungen an chronischen Schmerzpatienten als auch bei Studien in denen experimentelle Schmerzreize untersucht wurden. Harkins et al. 1989 untersuchten beide Bedingungen (chronische Schmerzen und experimentelle Schmerzen) an den gleichen Probanden und kamen zu dem Ergebnis, dass sowohl chronische Schmerzen als auch experimentelle Hitzeschmerzreize von Patienten mit hohen Neurotizismuswerten als unangenehmer wahrgenommen werden als von Personen mit niedriger Neurotizismusausprägung, wobei sich weder bezüglich der Intensität der chronischen Schmerzen noch der experimentellen Schmerzen Unterschiede in den Intensitätsratings nachweisen ließen. Die Ergebnisse unterscheiden sich also nicht bezüglich der Schmerzart.

Die oben genannten Untersuchungen unterliegen einer großen Einschränkung: Die Schmerzwahrnehmung ist eine subjektive Erfahrung, die nur schwer in objektive Messgrößen gefasst werden kann. Bei den häufig als Schmerzmaß verwendeten Schwellenwerten oder Einschätzungen auf visuellen Analogskalen kann nicht zwischen tatsächlich vorhandenen Verarbeitungsunterschieden und verzerrt berichteten Einschätzungen differenziert werden. Eine Möglichkeit, Unterschiede in der Schmerzwahrnehmung auf kortikaler Ebene darzustellen, bietet die Erfassung somatosensorisch-evozierter Potentiale. Es ist davon auszugehen, dass solche somatosensorisch-evozierten Potentiale ein objektiveres Maß für die tatsächlichen hirnhysiologischen Vorgänge darstellen, als einfache Intensitätseinschätzungen.

Bisher liegt jedoch nur eine Studie zum Zusammenhang zwischen Neurotizismus und der Schmerzwahrnehmung vor, in der ereigniskorrelierte Potentiale erfasst wurden: Vossen et al. 2006 untersuchten die somatosensorisch-evozierten Potentiale für die Elektroden Cz, Fz und Pz nach schmerzhafter elektrischer Stimulation an 75 gesunden Probanden in Intervallen von

10 ms. Die physikalischen Reizintensitäten wurden in Abhängigkeit von der individuellen Schmerzschwelle jedes Probanden gewählt. Während sich in den Intensitätseinschätzungen keine Unterschiede zwischen den Personen mit hohen Neurotizismuswerten (High-N) und denen mit niedrigen Werten (Low-N) nachweisen ließen, zeigte sich in den Amplituden der evozierten Potentiale an den drei untersuchten Elektroden ein signifikanter Unterschied zwischen der High-N und der Low-N Gruppe in den Intervallen zwischen 340 - 400 ms, 730 – 860 ms (außer Fz) und 1240 – 1450 ms. Bei den Probanden mit den höheren Neurotizismuswerten ergaben sich höhere Amplituden im Vergleich zu den Probanden mit niedrigen Neurotizismuswerten. Diese Ergebnisse legen die Vermutung nahe, dass sich bei subjektiv gleicher Reizintensität die kortikalen Verarbeitungsprozesse abhängig vom Persönlichkeitsfaktor Neurotizismus unterscheiden.

### 1.3.2. Extraversion

Auch zwischen der Schmerzwahrnehmung und dem Persönlichkeitsfaktor Extraversion haben verschiedene Forschungsgruppen einen Zusammenhang nachgewiesen, auch wenn hier deutlich weniger Studien vorliegen als zum Neurotizismus. Auch für die Persönlichkeitsdimension Extraversion sind die Ergebnisse inkonsistent. Wenn sich ein Zusammenhang nachweisen lässt, scheint dabei eher die sensorisch-diskriminative Schmerzkomponente eine Rolle zu spielen. So fanden Ramirez-Maestre et al. 2004 in der bereits in Kap. 1.3.1. beschriebenen Studie bei chronischen Schmerzpatienten einen negativen Zusammenhang zwischen Extraversion und der wahrgenommenen Schmerzintensität. Personen mit höheren Extraversionswerten berichten entsprechend eine geringere Schmerzintensität als Personen mit niedrigen Werten auf der Skala Extraversion. Dabei scheint nach den vorliegenden Daten die häufigere Verwendung von aktiven Copingstrategien bei stärker extravertierten Personen eine Rolle zu spielen. Ferracuti & De Carolis 2005 konnten außerdem eine höhere Schmerztoleranz bei Probanden mit hohen Extraversionswerten nachweisen.

Wade et al. 1992 sowie Harkins et al. 1989 fanden dagegen weder für die Schmerzintensität noch für die Unangenehmheit der chronischen Schmerzen einen Zusammenhang mit dem Persönlichkeitsfaktor Extraversion. Auch Lee et al. 2010 konnten keinen Zusammenhang zwischen dem Persönlichkeitsfaktor Extraversion und verschiedenen Schmerzmaßen nach der Applikation von Kältereizen nachweisen. Ebenso wenig fanden BenDebba et al. 1997,

Schmidt et al. 2011 und Asghari & Nicholas 2006 bei Schmerzpatienten einen Zusammenhang zwischen Extraversion und der wahrgenommenen Schmerzintensität.

### 1.3.3. Zusammenfassung

Insgesamt ist die Studienlage bezüglich des Zusammenhangs zwischen Persönlichkeitsfaktoren und der Schmerzwahrnehmung sehr inkonsistent. Die meisten Studien liegen für den Persönlichkeitsfaktor Neurotizismus vor. Sowohl einige Studien an chronischen Schmerzpatienten als auch Studien bezüglich experimenteller Schmerzen können einen Zusammenhang nachweisen. Uneinigkeit besteht darüber welche Schmerzkomponente betroffen ist und welche Ursachen für die gefundenen Korrelationen verantwortlich sind, wobei einige Studien für eine Beteiligung des affektiv-emotionalen Systems sprechen.

In Bezug auf die Persönlichkeitsdimension Extraversion scheint eher die sensorisch-diskriminative Komponente betroffen zu sein. Extravertierte Personen scheinen demnach weniger schmerzempfindlich zu sein als introvertierte Personen.

## 2. Fragestellung und Hypothesen

Ziel der vorliegenden Untersuchung ist es, den Zusammenhang zwischen den Persönlichkeitsfaktoren Neurotizismus und Extraversion mit der Schmerzwahrnehmung genauer zu klären. Aufgrund der bisher inkonsistenten Studienlage soll dieser anhand der Schwellenwerte überprüft werden. Eine Untersuchung zu zwei Messzeitpunkten im Abstand von vier bis sechs Wochen soll dabei Aufschluss über die Stabilität der Ergebnisse bezüglich der Schmerzwahrnehmung geben. Die hirnhysiologischen Vorgänge sollen mit Hilfe von somatosensorisch evozierten Potentialen dargestellt werden, um genaueren Aufschluss über den zeitlichen Verlauf der Aktivierung und die beteiligten Hirnareale zu erhalten. Dabei sollen sowohl evozierte Potentiale nach Reizen abgeleitet werden, die für alle Probanden die gleiche subjektive Intensitätsempfindung auslösen, als auch evozierte Potentiale nach Reizen mit der gleichen physikalischen Reizstärke für alle Probanden.

### 2.1. Untersuchung der Schwellenwerte

Die Schmerzwahrnehmung soll in der vorliegenden Untersuchung mithilfe von Kontakthitzereizen untersucht werden. Als Maß für die Schmerzempfindlichkeit wird diejenige Stimulationstemperatur herangezogen, ab der ein Reiz als schmerzhaft bzw. unangenehm wahrgenommen wird. Diese Unterscheidung in eine Intensitätsschwelle (sensorisch-diskriminative Schmerzkomponente) und eine Schwelle für die Unangenehmheit der Reize (affektiv-emotionale Komponente) erscheint sinnvoll, da bisher weitgehend unklar ist, welche dieser Schmerzkomponenten im Zusammenhang mit der Persönlichkeit betroffen ist (vergleiche Kap. 1.3.). Um zu kontrollieren, ob es sich um einen schmerzspezifischen Effekt handelt, werden auch die Wahrnehmungsschwellen untersucht.

#### 2.1.1. Stabilität der Schwellenwerte über die Zeit

In den bisherigen experimentellen Studien zum Zusammenhang zwischen der Persönlichkeit und der Schmerzwahrnehmung wurden die Daten meist nur zu *einem* Messzeitpunkt erhoben. Dies setzt voraus, dass ein möglicher Einfluss der Persönlichkeit auf die Schmerzwahrnehmung situationsunabhängig ist bzw. lediglich eine von der Untersuchungssituation unabhängige, zufällige Variation der Ergebnisse auftritt. Es soll deshalb die Stabilität der im Rahmen der Studie erhobenen Maße für die

Schmerzwahrnehmung überprüft werden. Bezüglich der Schwellenwerte soll folgende Hypothese untersucht werden:

**Hypothese 1:**

Die Schmerzschwellen und die Schwellen für die Unangenehmheit der Reize sowie die Wahrnehmungsschwellen sind zu zwei Messzeitpunkten im Mittel über alle Versuchspersonen gleich.

### 2.1.2. Zusammenhang der Schwellenwerte mit der Persönlichkeit

Aufgrund der in Kap. 1.3.1. beschriebenen Studienergebnisse ist bisher unklar, welche Schmerzkomponente in Bezug auf den Persönlichkeitsfaktor Neurotizismus relevant ist. Einige Studien sprechen für einen Zusammenhang des Persönlichkeitsfaktors Neurotizismus mit der sensorisch-diskriminativen Komponente des Schmerzes, andere Untersuchungen legen einen Zusammenhang mit der affektiv-emotionalen Komponente nahe. Dabei sprechen die bisherigen Daten für einen jeweils positiven Zusammenhang dieser Variablen, d.h. höhere Neurotizismuswerte gehen mit einer höheren Schmerzempfindlichkeit und damit mit niedrigeren Schwellenwerten einher. Damit ergibt sich folgende Hypothese:

**Hypothese 2a:**

Hohe Werte auf dem Persönlichkeitsfaktor Neurotizismus gehen sowohl mit niedrigeren Schwellenwerten für die Unangenehmheit der Reize als auch mit niedrigeren Schwellenwerten für die Intensität der Reize einher. Mit der Wahrnehmungsschwelle gibt es keinen Zusammenhang.

Die in Kap. 1.3.2. beschriebenen Studienergebnisse legen nahe, dass sich der Zusammenhang der Schmerzwahrnehmung mit dem Persönlichkeitsfaktor Extraversion vor allem auf die sensorisch-diskriminative Komponente bezieht. Dabei scheinen höhere Extraversionswerte mit einer geringeren Schmerzempfindlichkeit und damit mit höheren Schmerzschwellen einherzugehen. Entsprechend soll die folgende Vermutung untersucht werden:

**Hypothese 2b:**

Mit der Schmerzschwelle besteht ein positiver Zusammenhang, für die Wahrnehmungsschwelle und die Schwelle für die Unangenehmheit der Reize besteht kein Zusammenhang mit dem Persönlichkeitsfaktor Extraversion.

**2.2. Evozierte Potentiale nach subjektiv definierten Reizstärken**

Zur Untersuchung der evozierten Potentiale nach subjektiv definierten Reizen sollen zu beiden Messzeitpunkten die Reaktionen auf drei unterschiedliche Reizstärken erhoben werden:

- die Temperatur an der individuellen Wahrnehmungsschwelle
- die Temperatur an der individuellen Schmerzschwelle
- die maximal tolerierte Temperatur bzw. die maximal mögliche Temperatur des Stimulationsgerätes

**2.2.1. Stabilität der evozierten Potentiale über die Zeit**

Auch hier soll überprüft werden, ob die Schmerzparameter über die Zeit hinweg stabil sind. Folgende Erwartungen sollen untersucht werden:

**Hypothese 3:**

Die Potentialverläufe der evozierten Potentiale nach subjektiv definierten Reizen für die schmerzhaften Reizstärken zu den beiden Messzeitpunkten unterscheiden sich im Mittel über alle Versuchspersonen nicht. Auch für die Stimulation an der Wahrnehmungsschwelle gibt es keinen Unterschied zwischen den beiden Messzeitpunkten.

**2.2.2. Stabilität der Bewertungen über die Zeit**

Entsprechend wird auch für die Einschätzungen der Intensität und Unangenehmheit kein Unterschied zwischen den beiden Messzeitpunkten erwartet:

**Hypothese 4:**

Die Einschätzungen für die Intensität und die Unangenehmheit der Reize nach subjektiv definierten Reizen unterscheiden sich nicht zwischen den beiden Messzeitpunkten.

### 2.2.3. Zusammenhang der evozierten Potentiale mit der Persönlichkeit

Es soll untersucht werden, ob sich in den evozierten Potentialen nach schmerzhaften Reizen an der Schmerzschwelle ein Zusammenhang mit den BIG FIVE ergibt. Auch hier soll wiederum überprüft werden, ob die gefundenen Zusammenhänge schmerzspezifisch sind, daher sollen auch die evozierten Potentiale nach Reizen an der Wahrnehmungsschwelle betrachtet werden.

Bezüglich des Persönlichkeitsfaktors Neurotizismus ergeben sich aufgrund der bisher einzigen Studie zu diesem Thema Hinweise auf höhere Amplituden der evozierten Potentiale nach subjektiv definierten Reizen bei Personen mit höheren Neurotizismuswerten. Es wird ein schmerzspezifischer Effekt angenommen. Damit kann folgende Erwartung formuliert werden:

**Hypothese 5a:**

Personen mit höheren Neurotizismuswerten weisen höhere Amplituden in den evozierten Potentialen nach Stimulation mit schmerzhaften Reizen auf als Personen mit niedrigen Neurotizismuswerten. Für die Wahrnehmungsschwelle besteht kein Zusammenhang mit dem Persönlichkeitsfaktor Neurotizismus.

Bisher wurden in keiner publizierten Studie die evozierten Potentiale nach schmerzhafter Stimulation im Zusammenhang mit dem Persönlichkeitsfaktor Extraversion untersucht. Die bisherige Studienlage legt jedoch einen möglichen Zusammenhang zwischen Extraversion und der Schmerzwahrnehmung nahe. Dabei ergeben sich Hinweise, dass hohe Extraversionswerte mit einer geringeren Schmerzempfindlichkeit einhergehen (siehe Kap. 1.3.2.).

**Hypothese 5b:**

Es besteht ein negativer Zusammenhang zwischen dem Persönlichkeitsfaktor Extraversion und den Amplituden der evozierten Potentiale nach Stimulation mit schmerzhaften Reizen. Für die nicht-schmerzhaften Reize tritt dieser Zusammenhang nicht auf.

#### 2.2.4. Zusammenhang der Bewertungen mit der Persönlichkeit

Da wie oben beschrieben bisher Unklarheit darüber besteht, welche Schmerzkomponente im Zusammenhang mit dem Persönlichkeitsfaktor Neurotizismus betroffen ist, wird die folgende Hypothese formuliert:

**Hypothese 6a:**

Es besteht sowohl für die Bewertungen der Reizintensität als auch für die Bewertungen der Unangenehmheit der subjektiv definierten Reize ein positiver Zusammenhang mit dem Persönlichkeitsfaktor Neurotizismus.

Für den Persönlichkeitsfaktor Extraversion legen die bisherigen Studien vor allem einen Zusammenhang mit der sensorisch-diskriminativen Komponente nahe. Damit kann folgende Hypothese aufgestellt werden:

**Hypothese 6b:**

Es besteht ein negativer Zusammenhang zwischen dem Persönlichkeitsfaktor Extraversion und den Bewertungen der Intensität der subjektiv definierten Reize. Für die Einschätzung der Unangenehmheit der Reize tritt dieser Zusammenhang nicht auf.

#### 2.2.5. Low Resolution Brain Electromagnetic Tomography (LORETA)

Für den ersten Versuchsdurchgang, d.h. für die evozierten Potentiale nach subjektiv definierten Reizen zum ersten Messzeitpunkt soll eine Analyse mithilfe von LORETA durchgeführt werden, um die Quellen der untersuchten Komponenten im EEG zu identifizieren. Dabei soll eine explorative Vorgehensweise gewählt werden, da bisher kaum Studien vorliegen, die die evozierten Potentiale nach experimentellen Hitzeschmerzreizen

mithilfe von LORETA untersuchen. Entsprechend werden keine konkreten Hypothesen formuliert.

## 2.3. Evozierte Potentiale nach physikalisch definierten Reizen

### 2.3.1. Zusammenhang der evozierten Potentiale mit der Persönlichkeit

Um tatsächliche Aktivierungsunterschiede nach Schmerzreizen im Zusammenhang mit der Persönlichkeit untersuchen zu können, erscheint es sinnvoll auch somatosensorisch-evozierte Potentiale nach Stimulation mit identischen, physikalisch definierten Reizen zu untersuchen.

Bisher liegen noch keine Studien zum Zusammenhang zwischen dem Persönlichkeitsfaktor Neurotizismus und den evozierten Potentialen nach schmerzhafter Stimulation mit gleichen, physikalisch definierten Reizen vor. Es wird vermutet, dass sich ein möglicher Zusammenhang des Persönlichkeitsfaktors Neurotizismus mit der Schmerzwahrnehmung auch in den evozierten Potentialen nach gleichen, physikalisch definierten Reizen nachweisen lässt. Es soll daher folgende Annahme untersucht werden:

**Hypothese 8a:**

Personen mit höheren Neurotizismuswerten weisen höhere Amplituden in den evozierten Potentialen nach Stimulation mit physikalisch definierten Reizen auf als Personen mit niedrigen Neurotizismuswerten.

Auch für den Persönlichkeitsfaktor Extraversion liegen keine entsprechenden Studien vor. Auch hier wird erwartet, dass sich ein möglicher Zusammenhang der Skala Extraversion mit der Schmerzwahrnehmung in den evozierten Potentialen nach gleichen, physikalisch definierten Reizen zeigt:

**Hypothese 8b:**

Es besteht ein negativer Zusammenhang zwischen dem Persönlichkeitsfaktor Extraversion und den Amplituden der evozierten Potentiale nach Stimulation mit physikalisch definierten Reizen.

### 2.3.2. Zusammenhang der Bewertungen mit der Persönlichkeit

Entsprechend den Hypothesen zu den subjektiv definierten Reizen werden auch die Hypothesen für die physikalisch definierten Reize formuliert:

**Hypothese 9a:**

Es besteht sowohl für die Bewertungen der Reizintensität als auch für die Bewertungen der Unangenehmheit der physikalisch definierten Reize ein positiver Zusammenhang mit dem Persönlichkeitsfaktor Neurotizismus.

**Hypothese 9b:**

Es besteht ein negativer Zusammenhang zwischen dem Persönlichkeitsfaktor Extraversion und den Bewertungen der Intensität der physikalisch definierten Reize. Für die Einschätzung der Unangenehmheit der Reize tritt dieser Zusammenhang nicht auf.

## 3. Methoden

Die Durchführung der Untersuchung erfolgte entsprechend den Richtlinien der Deklaration von Helsinki. Die Untersuchung wurde von der Ethikkommission der Medizinischen Fakultät der Universität München evaluiert und genehmigt. Jeder Proband wurde mündlich und schriftlich über den Ablauf und die Freiwilligkeit der Teilnahme aufgeklärt und unterschrieb eine Einverständniserklärung (siehe Anhang). Die Teilnehmer erhielten eine Aufwandsentschädigung von 8 Euro pro Stunde.

### 3.1. Versuchspersonen

Es nahmen nach einer Vorstudie insgesamt 20 gesunde Probanden an der aktuellen Studie teil, die über Aushänge bzw. im Bekanntenkreis rekrutiert wurden. Eingeschlossen wurden Probanden, die zwischen 20 und 50 Jahre alt waren und keine psychischen oder neurologischen Erkrankungen in der Vorgeschichte aufwiesen.

Nach visueller Inspektion der evozierten Potentiale wurden die Daten von 5 Probanden aufgrund sehr massiver technischer Artefakte aus der weiteren Analyse ausgeschlossen. Traten nur geringe technische Artefakte auf, so wurden diese mithilfe der Software BESA korrigiert (siehe Abschnitt 3.4.1.) und die Probanden in der Studie belassen. Ein weiterer Proband wurde ausgeschlossen, da er im Beck Depressioninventar zu beiden Messzeitpunkten einen Punktwert erreichte, der im Bereich einer klinisch relevanten depressiven Störung liegt.

Die Gruppe der verbleibenden 14 Versuchspersonen bestand aus 8 Frauen und 6 Männern. Das Durchschnittsalter lag bei 35.4 Jahren ( $SD = 8.45$ , Range: 25 – 50 Jahre). 12 Versuchspersonen hatten Abitur, eine Versuchsperson Mittlere Reife und eine Versuchsperson einen Qualifizierten Hauptschulabschluss. Im McGill Pain Questionnaire gaben zu beiden Messzeitpunkten 4 Personen an, in den letzten 6 Monaten regelmäßig Schmerzen gehabt zu haben (2 Personen wöchentlich, 2 Personen monatlich). Die Fragebogendaten für BDI, State-Trait-Angst-Inventar und SCL-90-R können der Tabelle 1 entnommen werden (Ergebnisse zum NEO-FFI siehe Kap. 4.1.).

Tabelle 1: Ergebnisse aus den allgemeinen Fragebögen

	Trait	State	
	Mittelwert (SD)	1. Messzeitpunkt Mittelwert (SD)	2. Messzeitpunkt Mittelwert (SD)
State-Trait-Angst-Inventar (STAI)	33.9 (9.33)	32.4 (9.30)	36.1 (9.36)
Beck Depressionsinventar (BDI)	-	2.9 (1.75)	3.5 (4.64)
GSI Symptomcheckliste* (SCL-90-R)	0.27 (0.36)	-	-

\* die Daten zu den einzelnen Skalen der SCL-90-R finden sich im Anhang

### 3.2. Allgemeiner Versuchsablauf

Die experimentelle Untersuchung wurde in zwei getrennten Sitzungen (Dauer jeweils ca. 3-4 Stunden) im Abstand von 4-6 Wochen durchgeführt (vergleiche Abbildung 4). Eine genauere Beschreibung der einzelnen Versuchsteile erfolgt in Kap. 3.3.:

Messzeitpunkt 1: In der ersten Sitzung wurden die Probanden über den allgemeinen Untersuchungsablauf aufgeklärt und unterschrieben dann die Einverständniserklärung zur Teilnahme an der Studie. Weiterhin wurden die Probanden für die Ableitung der evozierten Potentiale vorbereitet und mit dem Stimulationsgerät vertraut gemacht, indem ein Übungsdurchlauf durchgeführt wurde (vergleiche Kap. 3.3.3.). Um das Vorliegen von gesteigerter hirnelektrischer Aktivität auszuschließen, wurde ein Ruhe-EEG aufgezeichnet. Außerdem wurden die Schwellenwerte für die Schmerzreize erhoben und daraus die individuellen Reizstärken für jede Versuchsperson bestimmt (vergleiche Kap. 3.3.3.). Danach erfolgte eine Ableitung der evozierten Potentiale mit den jeweils für alle Versuchspersonen subjektiv gleichen Reizstärken (siehe Abschnitt 3.3.4.). Von den Probanden wurden zudem folgende Fragebögen ausgefüllt:

- Fragebogen zu demografischen Daten (siehe Anhang)
- Beck-Depressions-Inventar (Beck et al. 1961; deutschsprachige Version: Hautzinger et al. 1994)

- State-Trait-Angst-Inventar (Spielberger et al. 1970; deutschsprachige Version: Laux et al. 1981)
- McGill Pain Questionnaire (Melzack 1975)
- NEO-FFI (Costa & McCrae 1989; deutschsprachige Version: Borkenau & Ostendorf 1993)
- SCL-90-R (Derogatis 1986; deutschsprachige Version Franke 1995)

Messzeitpunkt 2: In der zweiten Sitzung wurden die Probanden wiederum für die Ableitung der evozierten Potentiale vorbereitet. Um die Versuchsbedingungen möglichst gleich zu halten, wurde wie in der ersten Sitzung ein Übungsdurchlauf durchgeführt. Es erfolgte wiederum eine Bestimmung der Schwellenwerte und eine Ableitung der evozierten Potentiale nach subjektiv definierten Reizen. Dabei wurden die Stimulationstemperaturen aus der ersten Sitzung verwendet. In einer zweiten Bedingung wurden zusätzlich die evozierten Potentiale nach Stimulation mit jeweils den gleichen physikalisch definierten Reizstärken (47° C, 50°C und 53°C) aufgezeichnet (siehe Kap. 3.3.4.). Außerdem wurden diejenigen Fragebögen auch zum zweiten Messzeitpunkt ausgefüllt, die den aktuellen Zustand beschreiben (BDI, State-Trait-Angst-Inventar-State, McGill Pain Questionnaire).

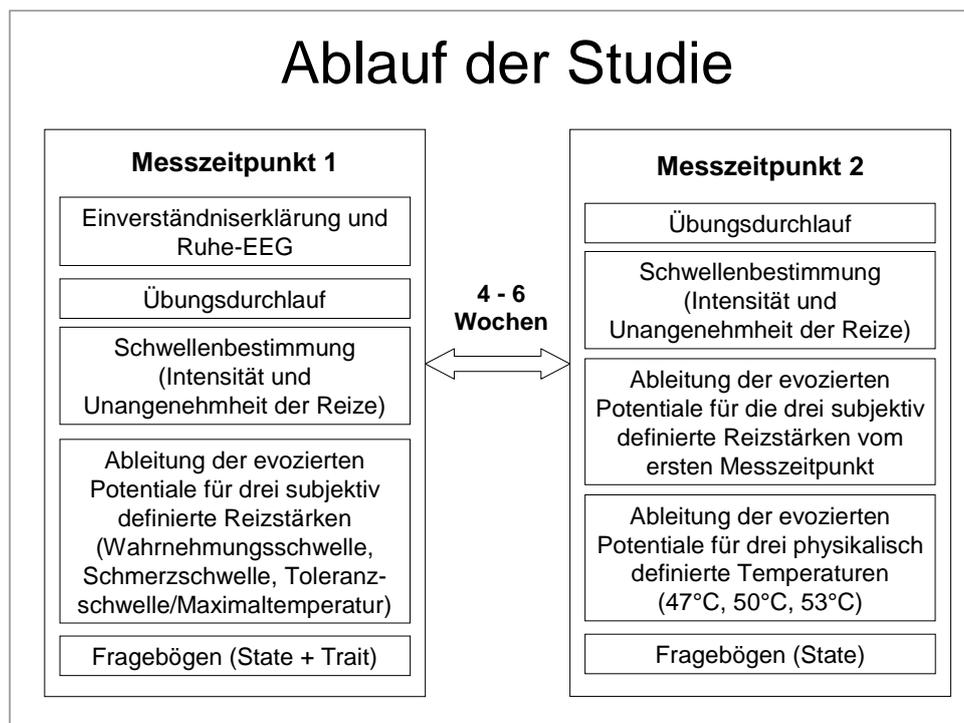


Abbildung 4: Ablauf der Studie

### 3.3. Erhebungsmethoden

#### 3.3.1. Stimulationsgerät

Zur Erzeugung der Schmerzreize wurde CHEPS (Medoc Ltd., Ramat Yishai, Israel) verwendet. CHEPS steht für **C**ontact **H**eat **E**voked **P**otential **S**timulator. Es handelt sich um ein computerisiertes System, durch welches mithilfe einer Kontaktthermode Temperaturreize unterschiedlicher Stärke und Dauer erzeugt werden können. Die Kontaktthermode kann mit einem integrierten Band am Stimulationsort (z.B. am Unterarm) befestigt werden. Während der Stimulation kann ein EEG abgeleitet werden. Die Kontaktthermode besteht aus einer Heizfolie mit zwei Thermoelementen (Temperaturanstieg 70° C/Sek) und einem Peltierelement (Kühlgeschwindigkeit 40° C/Sek), wobei die runde Fläche der Thermode, die die Haut berührt, einen Durchmesser von 27 mm aufweist. Die Reize werden über einen externen PC gesteuert und der Temperaturverlauf grafisch dargestellt. Die Temperatur steigt in der oben angegebenen Geschwindigkeit so lange an, bis die Zieltemperatur erreicht wird und fällt dann direkt wieder auf die Ausgangstemperatur zurück. Die Zeit, bis die Zieltemperatur erreicht ist variiert damit je nach Reizstärke leicht.

#### 3.3.2. Skala zur Einschätzung der Intensität und Unangenehmheit der Reize

Zur Erfassung der subjektiven Schmerzwahrnehmung der Probanden wurde eine visuelle Analogskala verwendet (siehe Anhang), auf der vom Probanden jeweils die Intensität und die Unangenehmheit der Reize markiert wurden. Um zu große Unterschiede im Bezugssystem zu vermeiden, wurden auf der Skala Anker in Textform angebracht (nicht wahrnehmbar, gar nicht schmerzhaft, leicht schmerzhaft, deutlich schmerzhaft, stark schmerzhaft, extrem schmerzhaft, unerträglich bzw. nicht wahrnehmbar, gar nicht unangenehm, leicht unangenehm, deutlich unangenehm, stark unangenehm, extrem unangenehm, unerträglich). Die Probanden wurden darauf hingewiesen, dass sie ihre Wahrnehmung auch zwischen diesen Markierungen setzen dürfen. Zur Übersetzung der Markierungen in statistisch verwertbare Zahlenwerte, wurde der Anker „gar nicht schmerzhaft“ als Wert 0 und der Anker unerträglich als Wert 10 definiert. Durch Ausmessen des Abstandes zu diesen beiden Ankerpunkten wurde den von den Probanden vorgenommenen Markierungen jeweils ein entsprechender Zahlenwert zwischen 0 und 10 zugeordnet.

### 3.3.3. Übungsdurchlauf und Bestimmung der Wahrnehmungs-, Schmerz- und Toleranzschwellen

Zur Bestimmung der Schwellenwerte wurde die Kontaktthermode auf der Innenseite des rechten Unterarms ca. 1-2 cm über dem Handgelenk fixiert. Die Versuchsperson saß in einem bequemen Sessel. Die Stimulation erfolgte mithilfe von Reizen aufsteigender Temperatur. Dazu wurden, beginnend mit einer Anfangstemperatur von 39°C, jeweils drei Reize gleicher Temperatur erzeugt und die Temperatur anschließend um 1°C erhöht, bis die Toleranzschwelle oder die maximal zulässige Temperatur des Stimulationsgerätes von 53°C erreicht waren. Vor der Bestimmung der Schwellenwerte wurde ein Übungsdurchlauf durchgeführt bei welchem den Probanden die Reize wie oben beschrieben appliziert wurden. Die Probanden konnten sich so mit dem Gerät und der Art der Reize vertraut machen und auftretende Fragen konnten an dieser Stelle geklärt werden. Vor der Temperaturerhöhung erfolgte eine kurze Pause, in der die Probanden bei der nachfolgenden tatsächlichen Bestimmung der Schwellenwerte die durchschnittlich wahrgenommene Intensität und die Unangenehmheit der drei identischen Reize einschätzten (vergleiche Kap. 3.3.2.). Die Probanden wurden instruiert, auf der Skala nur dann einen Punkt links der Markierung „gar nicht schmerzhaft“ anzukreuzen, wenn die Reize für sie nicht wahrnehmbar waren. Waren die Reize für den Probanden zu schmerzhaft, d.h. nicht mehr tolerabel, so wurde die Bestimmung der Schwellenwerte beendet. Die Schwellenwerte wurden folgendermaßen definiert:

- Wahrnehmungsschwelle: Niedrigste Temperatur, bei der die Versuchsperson „gar nicht schmerzhaft“ oder einen höheren Wert auf der Skala ankreuzte
- Schmerzschwelle: Niedrigste Temperatur, bei der die Versuchsperson „leicht schmerzhaft“ oder einen höheren Wert auf der Skala ankreuzte
- Unangenehmheitsschwelle: Niedrigste Temperatur, bei der die Versuchsperson „leicht unangenehm“ oder einen höheren Wert auf der Skala ankreuzte
- Toleranzschwelle/Maximaltemperatur: höchste Temperatur, die für die Versuchsperson tolerabel war bzw. Maximaltemperatur des Stimulationsgerätes (53°C).

Bei der Bestimmung der Schwellenwerte für schmerzhaftere Hitzereize stellt die maximal zulässige Temperatur des Stimulationsgerätes einen limitierenden Faktor dar, da abgesichert werden muss, dass durch die Stimulation keine Hautschädigungen verursacht werden. In der vorliegenden Studie konnten zum ersten Messzeitpunkt für alle Probanden die

Wahrnehmungs- und Schmerzschwellen bestimmt werden, da sie jeweils unter der maximal zulässigen Temperatur des CHEPS-Gerätes von 53°C lagen. Zum zweiten Messzeitpunkt konnten die Schmerzschwelle und die Schwelle für die Unangenehmheit der Reize für einen Probanden nicht bestimmt werden: Der Proband gab auch bei der Temperatur von 53° C noch keine schmerzhaft bzw. unangenehme Empfindung an. Damit liegt für diesen Probanden kein Temperaturwert für die Schwellen vor. Deshalb wurde bei dieser Person die Schwellentemperatur auf 54°C festgelegt und der Proband in alle weiteren Berechnungen mit eingeschlossen.

Auch bezüglich der Toleranzschwelle ergab sich ein Deckeneffekt aufgrund der Höchsttemperatur des Stimulationsgerätes: Mit einer Ausnahme tolerierten alle Probanden die Temperatur von 53° C. Auf eine Auswertung dieser Daten bezüglich des Zusammenhangs mit der Persönlichkeit wurde daher aufgrund der geringen Variabilität verzichtet.

#### 3.3.4. Stimulation mit Ableitung der evozierten Potentiale

Die Ableitung der evozierten Potentiale wurde in Rückenlage bei geschlossenen Augen durchgeführt. Die EEG-Aufzeichnung erfolgte digital (Neuroscan Synamps) mit 32 Kanälen (10/20-System) in entspannter Wachheit (Impedanz < 5 k $\Omega$ , Sample Rate 250 Hz, analoger Bandpassfilter 0,16 - 50 Hz).

Die Stimulation für die Ableitung erfolgte pro Versuchsbedingung in fünf Stimulationsblöcken mit insgesamt 150 Reizen. Es wurden jeweils drei unterschiedliche Reizintensitäten verwendet, die entweder subjektiv oder physikalisch definiert wurden (siehe unten). Die Reize unterschiedlicher Stärke wurden in einer zufällig gewählten (vor Studienbeginn festgelegten) Reihenfolge erzeugt, die für alle Versuchspersonen gleich war. Dabei war die Häufigkeit aller Reize über alle fünf Stimulationsblöcke identisch (jeweils 50 Reize). Die Abstände zwischen den Reizen variierten pseudorandomisiert (9 Sek., 12 Sek., 15 Sek. oder 18 Sek.) um einen Erwartungseffekt zu minimieren. Nach Durchlauf eines Stimulationsblocks wurde die Ableitung jeweils unterbrochen und der Proband gebeten, die durchschnittliche Intensität und Unangenehmheit der Reize auf den beiden Skalen zu markieren.

**Ableitung der evozierten Potentiale nach subjektiv definierten Reizen:** Die Ableitung der evozierten Potentiale erfolgte in einer Versuchsbedingung (Messzeitpunkt 1 und

Messzeitpunkt 2) nach jeweils den gleichen, subjektiv definierten Reizen. Es wurden dazu für jede Versuchsperson individuell die drei Reizintensitäten nach den subjektiven Einschätzungen aus der Schwellenwertbestimmung gewählt. Stimuliert wurde mit der Temperatur der Wahrnehmungsschwelle, der Schmerzschwelle und der Toleranzschwelle bzw. der maximal zulässigen Temperatur des Gerätes von 53° C. In dieser Versuchsbedingung wurde somit auf eine für alle Versuchspersonen gleiche subjektive Reizintensität abgezielt. Zum zweiten Messzeitpunkt wurden dieselben Temperaturen verwendet wie zum ersten Messzeitpunkt, um eine Vergleichbarkeit der Daten zu erreichen.

**Stimulation mit Ableitung der evozierten Potentiale nach physikalisch definierten Reizen:** In einer zweiten Versuchsbedingung erfolgte die Ableitung der evozierten Potentiale zum zweiten Messzeitpunkt nach physikalisch definierten Reizen. Dazu wurden für alle Versuchspersonen die identischen Stimulationstemperaturen 47° C, 50° C und 53° C gewählt.

### 3.3.5. Erhebung der Persönlichkeitsfaktoren

Die untersuchten Persönlichkeitsfaktoren wurden mit dem NEO-Fünf-Faktoren-Inventar (Borkenau & Ostendorf 1993, deutsche Übersetzung des Neo-Five-Factor Inventory von Costa & McCrae 1989) erhoben. Es handelt sich um einen faktorenanalytisch konstruierten Selbstbeurteilungsfragebogen, der aus insgesamt 60 Items besteht, die auf einer 5-fach abgestuften Skala eingeschätzt werden (Starke Ablehnung, Ablehnung, Neutral, Zustimmung, Starke Zustimmung, Punktwerte 0 - 4). Er erfasst die fünf Persönlichkeitsdimensionen der BIG FIVE (vergleiche Kap. 1.2.3.):

- Neurotizismus
- Extraversion
- Offenheit für Erfahrungen
- Gewissenhaftigkeit
- Verträglichkeit

Aus den Antworten der Probanden lässt sich für jede Persönlichkeitsdimension ein Gesamtindex berechnen (mögliche Werte jeweils 0 - 48). Hohe Werte stehen für eine starke Ausprägung des jeweiligen Persönlichkeitsfaktors, niedrige Werte für eine geringe Ausprägung.

### 3.4. Datenanalyse

#### 3.4.1. Bearbeitung der EEG-Daten

Die während der Stimulation aufgezeichneten EEG-Daten wurden nach der Untersuchung mit der EEG-Analyse-Software VISION ANALYZER (Version 1.05) ausgewertet. Bei einigen Versuchspersonen traten technische Artefakte an der Elektrode Cz auf, die vermutlich aufgrund von Störeinflüssen durch das Stimulationsgerät verursacht wurden. Bei einigen Probanden ( $n = 5$ ) waren diese Artefakte sehr stark ausgeprägt, sodass der Versuch abgebrochen wurde und die entsprechende Versuchsperson aus der Studie ausgeschlossen wurde. Bei einem Teil der anderen Probanden ( $n = 7$ ) traten die Artefakte nur in einzelnen Versuchsdurchgängen und in schwächerer Ausprägung auf und wurden erst bei einer genaueren Auswertung der Daten mit Aufteilung nach der Reizstärke deutlich sichtbar. Die Daten dieser Probanden wurden in der Studie belassen, um einen zu hohen Datenverlust zu vermeiden. Es erfolgte eine Korrektur dieser Artefakte mithilfe der Software BESA (Version 5.14). Dazu wurde das Signal an der Elektrode Cz durch eine Interpolation mithilfe der umliegenden Kanäle ersetzt. Das betreffende Artefakt war nach Durchführung dieser Prozedur nicht mehr vorhanden.

Im Folgenden sind die einzelnen Auswertungsschritte dargestellt, die für alle drei Versuchsbedingungen durchgeführt wurden:

Die EEG-Daten wurden mit einem Hochpassfilter (Low Cutoff: 0.10 Hz; 24 dB/oct) und einem Tiefpassfilter (High Cutoff: 30 Hz; 24 dB/oct) bearbeitet. Zur Vermeidung von Störeinflüssen durch das Stromnetz wurde außerdem ein Notchfilter für 50 Hz eingesetzt.

Daraufhin wurde getrennt für jede Reizstärke eine Segmentierung relativ zum Reiz vorgenommen. Die Länge der Segmente wurde dabei auf 1600 ms festgesetzt (Startpunkt: 200 ms vor dem Reiz; Endpunkt: 1400 ms nach dem Reiz).

Im nächsten Schritt wurden die mit Cz als Referenz aufgezeichneten Daten auf den Mittelwert aller verwendeten Elektroden umreferenziert, so dass im Weiteren auch die Analyse der evozierten Potentiale an Cz möglich war.

Danach wurden die Einflüsse von Augenbewegungen auf die EEG-Daten korrigiert. Dazu wurde eine automatische Augenartefaktkorrektur nach Gratton & Coles durchgeführt.

Verbleibende Artefakte wurden nun anhand einer automatischen Artefaktzurückweisung eliminiert. Dabei wurden Segmente entfernt, in denen Amplituden über  $\pm 80 \mu\text{V}$  auftraten (Amplituden-Kriterium).

Im nächsten Schritt wurde eine Baseline-Korrektur durchgeführt, indem die mittlere Aktivität der 200 ms vor dem Reiz ermittelt und als neuer Nullpunkt von den nachfolgenden Daten subtrahiert wurde.

Getrennt für jede Reizstärke wurden nun aus den resultierenden Segmenten die Mittel für jede Versuchsperson berechnet. Die gemittelten Segmente von jeder Versuchsperson wurden dann in einem weiteren Schritt in jeweils einen Mittelwert pro Bedingung und Reizstärke zusammengefasst.

Diese Mittelwerte wurden visuell inspiziert und daraus die Intervalle für die nachfolgende Peak-Detection festgelegt. Folgende Komponenten wurden dabei definiert: N350: globales Minimum im Intervall zwischen 280 ms und 430 ms, P450: globales Maximum im Intervall zwischen 400 ms und 650 ms. Entsprechend dieser Intervalle wurde eine automatische Peak-Detection für die einzelnen Versuchspersonen und die verschiedenen Bedingungen durchgeführt.

Die resultierenden Latenzen und Amplituden wurden exportiert und zur statistischen Weiterverarbeitung in das Programm SPSS eingelesen.

### 3.4.2. Low Resolution Brain Electromagnetic Tomography (LORETA)

Die Stromdichteverteilung der evozierten Potentiale für den stärksten Reiz (Stimulation an der Toleranzschwelle/Maximaltemperatur) zum ersten Messzeitpunkt wurde mit LORETA genauer analysiert, um Rückschlüsse auf die Generatoren der elektrischen Hirnaktivität bei schmerzhafter Stimulation ziehen zu können. LORETA (Low resolution brain electromagnetic tomography) ist eine Methode zur Lokalisation der mittels EEG an der Schädeloberfläche gemessenen elektrischen Aktivität (Pascual-Marqui 1999, Pascual-Marqui et al. 2002, Pascual-Marqui et al. 1994). Man versucht damit u.a. die hohe zeitliche Auflösung im EEG im Vergleich zu anderen bildgebenden Verfahren wie fMRT und PET auszunutzen. Die Quellenlokalisierung anhand von EEG-Daten führt zu dem sogenannten inversen Problem: Das EEG liefert nicht genügend Information, um die dreidimensionale Verteilung der neuronalen Aktivität eindeutig zu bestimmen, d.h. die Messungen können durch eine Vielzahl

unterschiedlicher Lösungen erklärt werden, ohne dass eindeutig die richtige Lösung identifiziert werden kann. Es sind somit Vorannahmen nötig, die zu verschiedenen Lösungsansätzen geführt haben. LORETA verwendet einen linearen Ansatz der im Gegensatz zu einer Dipolquellenanalyse keine Vorannahme zur Anzahl der Quellen benötigt, sondern alle möglichen Quellenlokalisationen gleichzeitig in Betracht zieht und für jeden dieser Dipole eine Schätzung der elektrischen Hirnaktivität berechnet. Grundlage ist die weithin akzeptierte Annahme, dass die mittels EEG registrierte elektrische Hirnaktivität durch postsynaptische Potentiale der kortikalen Pyramidenzellen entstehen, die senkrecht zur Schädeloberfläche ausgerichtet sind und eine hohe Synchronizität aufweisen. Daher wird folgende Vorannahme gemacht: Benachbarte Punkte haben eine höhere Wahrscheinlichkeit synchronisiert zu sein als weiter voneinander entfernte Punkte (smootheness-Annahme), d.h. mathematisch wird die glatteste aller möglichen Lösungen für die Streudichteverteilung gesucht. Durch die smootheness-Annahme bleibt zwar die zeitliche Auflösung des Signals erhalten, die räumliche Auflösung wird jedoch schlechter. Dies führt nach Pascual-Marqui et al. 1994 zu einem unscharf lokalisierten Bild einer punktförmigen Quelle bei der jedoch die Lokalisation der maximalen Aktivität erhalten bleibt.

Die LORETA-Software verwendet ein dreidimensionales Kopfmodell, basierend auf dem digitalisierten Talairach-Atlas (Talairach & Tournoux 1988), der vom Brain Imaging Centre, Montreal Neurologic Institute zur Verfügung gestellt wurde. Der Lösungsraum ist auf die graue Substanz und den Hippocampus beschränkt. Damit ergeben sich insgesamt 2394 Voxel mit einer Kantenlänge von 7mm.

Die Untersuchung der Stromdichteverteilung erfolgte in der vorliegenden Untersuchung für die negative Komponente im Zeitintervall von 320 bis 370 ms und für die positive Komponente im Bereich zwischen 450 und 500 ms.

### 3.4.3. Statistische Auswertung

Alle statistischen Analysen wurden mit dem Statistik-Programm SPSS (Version 15.0) durchgeführt. Das Signifikanzniveau wurde auf  $\alpha = 0.05$  festgelegt. Der Vergleich der Schwellenwerte zwischen den beiden Messzeitpunkten erfolgte mithilfe von T-Tests bei gepaarten Stichproben. Zur Analyse der Unterschiede zwischen den verschiedenen Reizstärken und der Stabilität der Amplituden bzw. der Bewertungen über die Zeit wurden für die Amplituden jeder Komponente bzw. für jede Bewertungsskala eine Varianzanalyse mit

Messwiederholung berechnet, wobei bei Verletzung der Sphärizitätsannahme eine Greenhouse-Geisser-Korrektur mit adaptierten Freiheitsgraden durchgeführt wurde. Zur Untersuchung von linearen Zusammenhängen wurden die bivariaten Korrelationskoeffizienten nach Pearson ermittelt und auf Signifikanz geprüft. Um eine Verfälschung der Ergebnisse durch einzelne Extremwerte zu vermeiden, wurden für alle Variablen, für die lineare Zusammenhänge ermittelt wurden, Boxplots berechnet und dabei identifizierte Ausreißer bei der weiteren Datenanalyse ausgeschlossen (Definition Ausreißer: mehr als 1.5 Boxlängen vom Ende der Box entfernt; die Box definiert die beiden mittleren Quartile). Entsprechend kommen für die einzelnen Berechnungen teilweise unterschiedliche Stichprobengrößen zustande.

## 4. Ergebnisse

### 4.1. NEO-Fünf-Faktoren-Inventar (NEO-FFI)

Bei der Analyse der Skalenwerte der beiden interessierenden Persönlichkeitsfaktoren aus dem NEO-FFI mithilfe von Boxplots wurde für die Skala Neurotizismus ein Ausreißer<sup>1</sup> identifiziert und für die weiteren Berechnungen ausgeschlossen (vergleiche Anhang). Für den Persönlichkeitsfaktor Extraversion konnten alle Versuchspersonen im Datensatz belassen werden. Die deskriptiven Daten für die fünf Persönlichkeitsskalen aus dem NEO-FFI können der Tabelle 2 entnommen werden.

*Tabelle 2: Deskriptive Daten für die fünf Persönlichkeitsfaktoren aus dem NEO-Fünf-Faktoren-Inventar nach Ausschluss der Ausreißer*

	Mittelwert (SD)	Minimum/Maximum	Ausreißer
<b>Neurotizismus</b>	14.7 (6.51)	1/25	1
<b>Extraversion</b>	29.5 (6.56)	16/38	-
<b>Offenheit für Erfahrungen</b>	31.6 (3.78)	24/37	-
<b>Verträglichkeit</b>	38.0 (3.16)	33/34	1
<b>Gewissenhaftigkeit</b>	31.3 (6.65)	19/40	-

SD: Standardabweichung, Ausreißer: Anzahl der ausgeschlossenen Probanden aufgrund von Extremwerten

### 4.2. Untersuchung der Schwellenwerte

#### 4.2.1. Stabilität der Schwellenwerte über die Zeit

Die Schmerzschwellen lagen im Mittel bei 45.4 °C zum ersten Messzeitpunkt (SD = 3.80, Min = 41, Max = 51) und bei 46.7 °C zum zweiten Messzeitpunkt (SD = 3.75, Min = 41° C, Max = 54° C, vergleiche Abbildung 5). Dabei korrelierten die Schwellenwerte zu den beiden Messzeitpunkten hoch signifikant miteinander ( $R = .749$ ,  $p = .002$ ; vergleiche Abbildung 6).

<sup>1</sup> Definition Ausreißer: mehr als 1.5 Boxlängen vom Ende der Box entfernt (die Box definiert die beiden mittleren Quartile)

Beim Vergleich der beiden Mittelwerte mittels T-Test ergab sich kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Messzeitpunkten, es zeigte sich jedoch ein Trend in Richtung einer im Mittel höheren Schmerzschwelle (d.h. einer geringeren Schmerzempfindlichkeit) zum zweiten Messzeitpunkt ( $T = -1.800$ ,  $p = .095$ ).

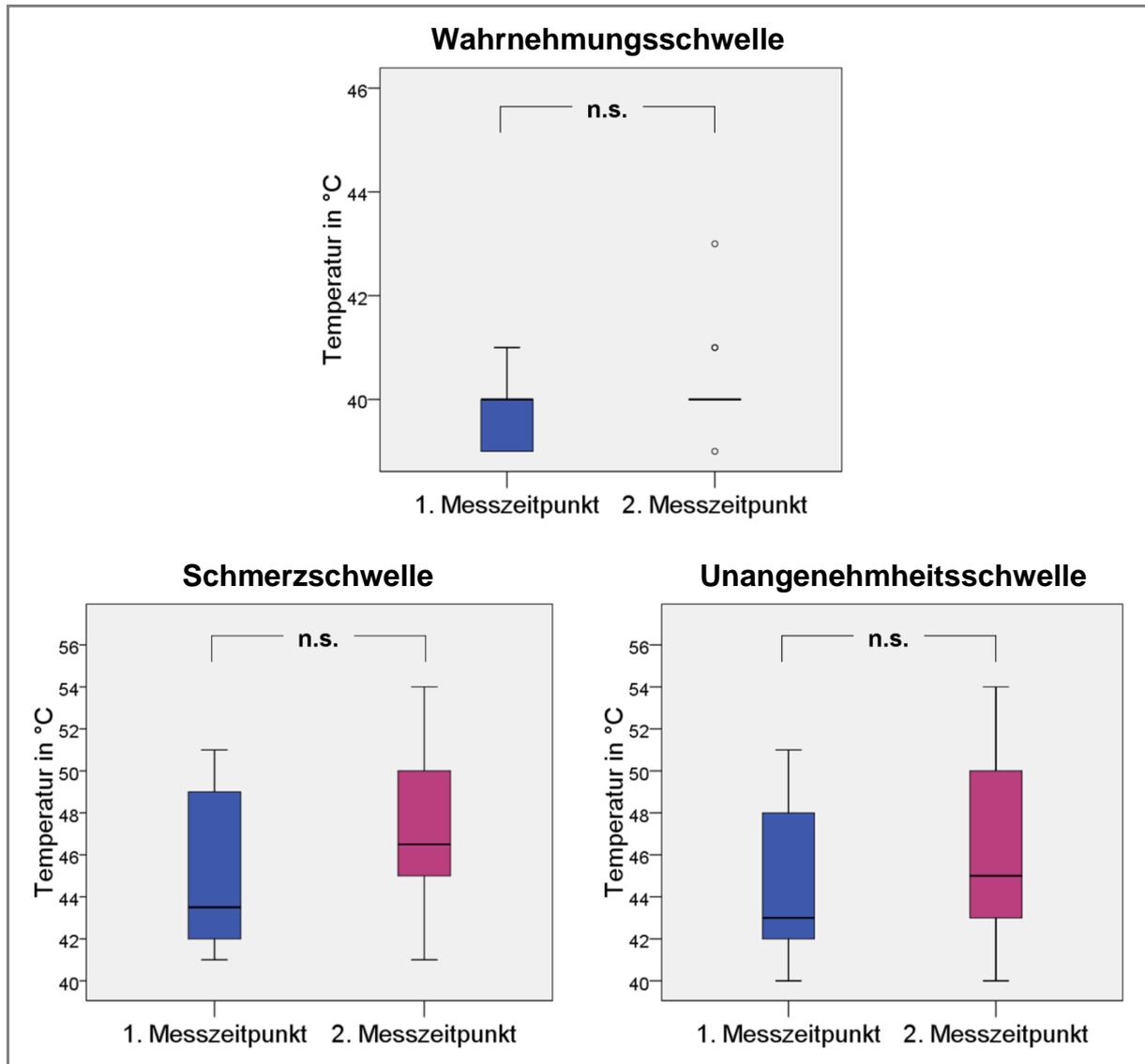


Abbildung 5: Boxplots (Median, Quartile und Extremwerte) für die Schwellenwerte zum ersten und zweiten Messzeitpunkt

Auch in Bezug auf die Schwellen für die Unangenehmheit der Reize ließ sich eine hochsignifikante Korrelation zwischen den beiden Messzeitpunkten nachweisen ( $R = .724$ ,  $p = .003$ ; vergleiche Abbildung 6). Die Temperaturen lagen durchschnittlich bei  $44.6^{\circ}\text{C}$  ( $SD = 3.86$ ,  $\text{Min} = 40^{\circ}\text{C}$ ,  $\text{Max} = 51^{\circ}\text{C}$ ) zum ersten Messzeitpunkt und bei  $45.9^{\circ}\text{C}$  ( $SD = 4.23$ ,  $\text{Min} = 40^{\circ}\text{C}$ ,  $\text{Max} = 54^{\circ}\text{C}$ ) zum zweiten Messzeitpunkt. Dabei zeigte sich kein signifikanter Unterschied für den Vergleich der Mittelwerte ( $T = -1.591$ ,  $p = .136$ , vergleiche Abbildung 5).

Bei den Wahrnehmungsschwellen ergab sich eine relativ geringe Variation der Schwellentemperaturen (1. Messzeitpunkt: Min = 39° C, Max = 41°C; 2. Messzeitpunkt: Min = 39° C, Max = 43°C). Hier zeigte sich keine signifikante Korrelation zwischen den Schwellenwerten zum ersten und zum zweiten Messzeitpunkt. Auch hier ließ sich kein signifikanter Mittelwertsunterschied zwischen den beiden Messungen nachweisen (1. Messzeitpunkt: Mittelwert = 39.8 °C, SD = 0.80, 2. Messzeitpunkt: Mittelwert = 40.3 °C, SD = 0.21,  $T = -1.713$ ,  $p = .110$ , vergleiche Abbildung 5).

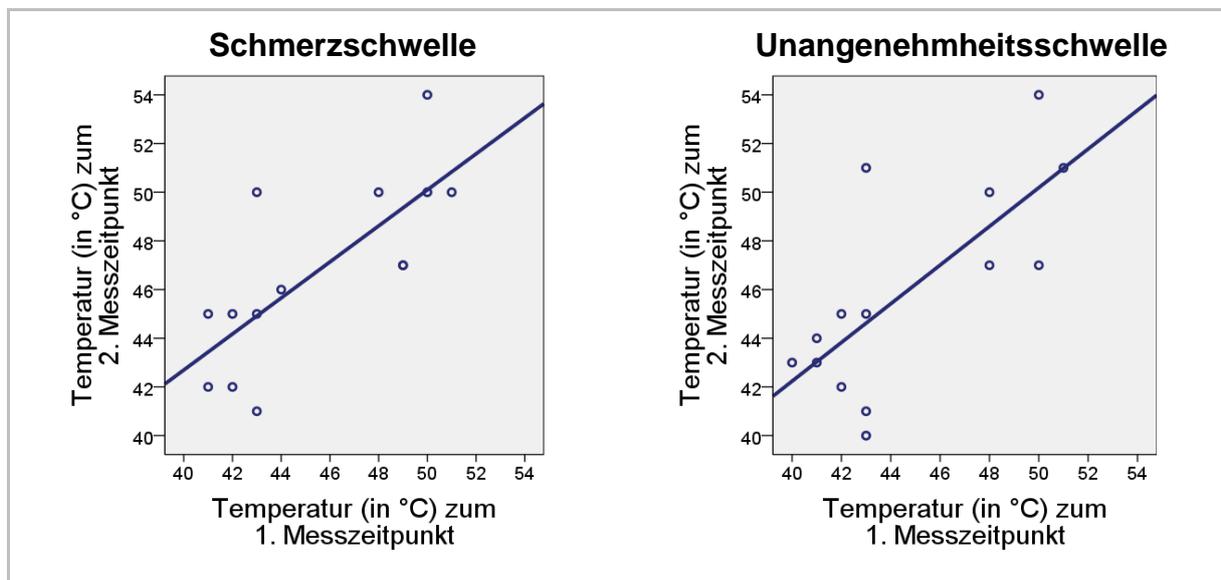


Abbildung 6: Zusammenhang der Schmerzschwellen und der Schwellen für die Unangenehmheit der Reize zum 1. und 2. Messzeitpunkt (auf eine Darstellung der Wahrnehmungsschwellen wurde aufgrund der geringen Variation zum 2. Messzeitpunkt verzichtet)

#### 4.2.2. Zusammenhang der Schwellenwerte mit der Persönlichkeit

##### 4.2.2.1. Neurotizismus

Weder für die Schmerzschwellen (Intensität) noch für die Schwellen für die Unangenehmheit der Reize ergab sich eine signifikante Korrelation mit dem Neurotizismuswert aus dem NEO-FFI. Auch für die Wahrnehmungsschwelle zeigte sich zum ersten Messzeitpunkt kein Zusammenhang mit diesem Persönlichkeitsfaktor. Die Korrelation der Wahrnehmungsschwelle zum zweiten Messzeitpunkt mit dem Neurotizismuswert wurde nicht berechnet, da die Wahrnehmungsschwelle nach Ausschluss der Ausreißer für alle Versuchspersonen konstant bei 40° C lag (vergleiche Tabelle 3).

Tabelle 3: Korrelation der Schwellenwerte mit dem Persönlichkeitsfaktor Neurotizismus

		N	R	p -Wert
<b>1. Messzeitpunkt</b>	<b>Wahrnehmungsschwelle</b>	13	-.245	.420
	<b>Intensität</b>	13	.214	.483
	<b>Unangenehmheit</b>	13	-.108	.725
<b>2. Messzeitpunkt</b>	<b>Wahrnehmungsschwelle</b>	-	-	-
	<b>Intensität</b>	13	-.001	.998
	<b>Unangenehmheit</b>	13	-.083	.787

R: Korrelationskoeffizient nach Pearson

## 4.2.2.2. Extraversion

Mit dem Persönlichkeitsfaktor Extraversion ergab sich weder für die Intensitätsschwellen noch für die Schwellen für die Unangenehmheit der Reize ein signifikanter Zusammenhang. Die Korrelation mit der Wahrnehmungsschwelle zum ersten Messzeitpunkt war nicht signifikant (vergleiche Tabelle 4). Auch hier wurde der Zusammenhang mit der Wahrnehmungsschwelle zum zweiten Messzeitpunkt aufgrund des konstanten Wertes dieser Schwelle nicht berechnet.

Tabelle 4: Korrelation der Schwellenwerte mit dem Persönlichkeitsfaktor Extraversion

		N	R	p-Wert
<b>1. Messzeitpunkt</b>	<b>Wahrnehmungsschwelle</b>	14	-.271	.350
	<b>Intensität</b>	14	-.037	.900
	<b>Unangenehmheit</b>	14	-.239	.411
<b>2. Messzeitpunkt</b>	<b>Wahrnehmungsschwelle</b>	-	-	-
	<b>Intensität</b>	14	-.106	.718
	<b>Unangenehmheit</b>	14	-.245	.398

R: Korrelationskoeffizient nach Pearson

### 4.3. Evozierte Potentiale nach subjektiv definierten Reizen

#### 4.3.1. Form und Größe der evozierten Potentiale

Die folgenden Abbildungen sollen einen ersten Überblick über Form und Größe der registrierten evozierten Potentiale (EPs) an Cz geben.

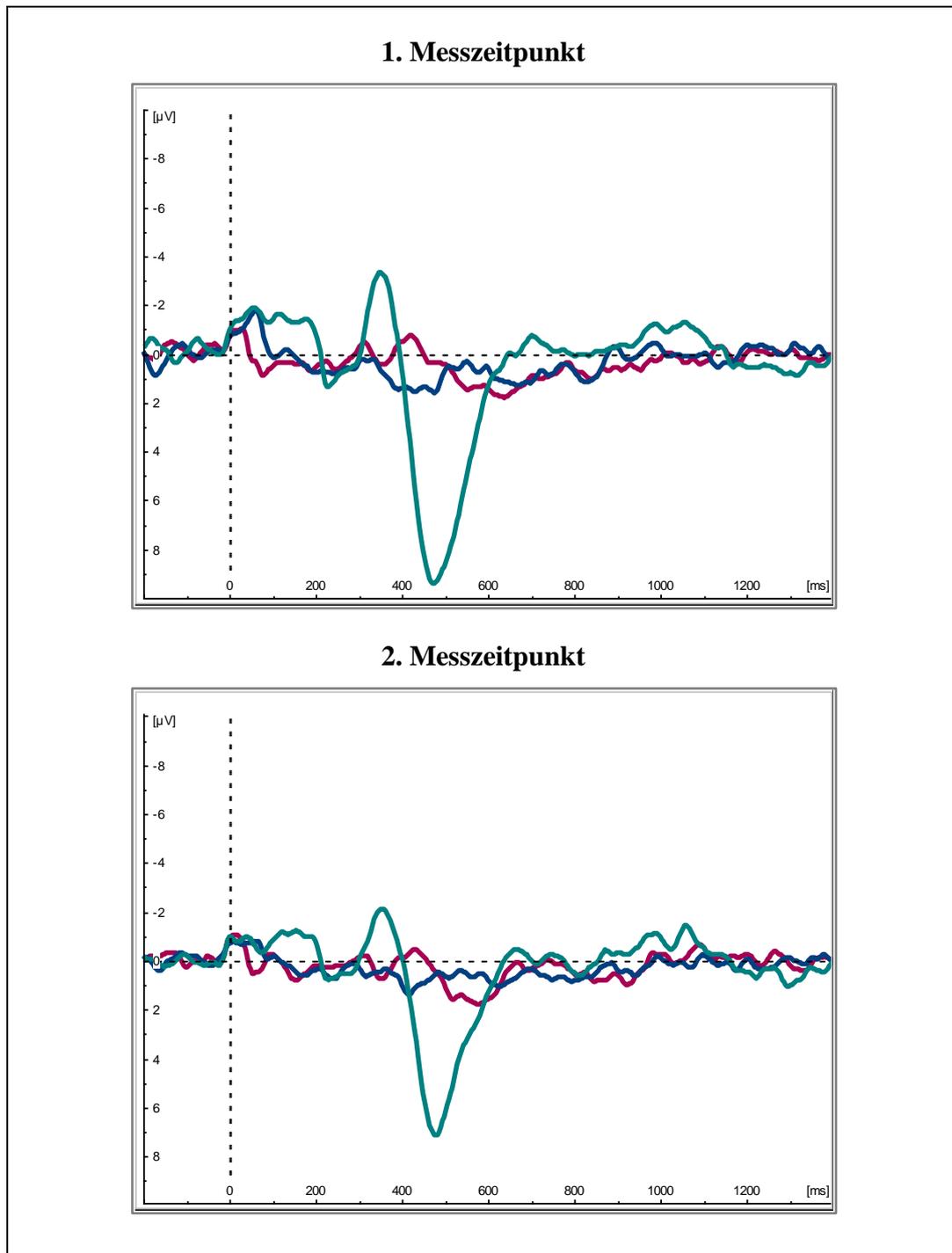


Abbildung 7: Grand Averages der evozierten Potentiale an Cz nach subjektiv definierten Reizen (Stimulation an der Wahrnehmungsschwelle (rot), Stimulation an der Schmerzschwelle (blau), Stimulation an der Toleranzschwelle/Maximaltemperatur (grün))

Die Potentialverläufe entsprachen im Wesentlichen den Potentialverläufen nach schmerzhaften Reizen aus anderen Studien, in denen CHEPS verwendet wurde. Dabei ergaben sich ähnliche Potentialverläufe für beide Messzeitpunkte. Die mittleren Amplituden und Latenzen der ermittelten Peaks an Cz sind in Tabelle 5 dargestellt.

*Tabelle 5: Amplituden und Latenzen der ermittelten Peaks nach subjektiv definierten Reizen*

		1. Messzeitpunkt		2. Messzeitpunkt	
		Amplitude (SD)	Latenz (SD)	Amplitude (SD)	Latenz (SD)
<b>N350</b>	<b>LEICHT</b>	- 1,80 $\mu$ V (1,96)	360 ms (58,4)	-1,51 $\mu$ V (1,08)	334 ms (56,9)
	<b>MITTEL</b>	- 1,05 $\mu$ V (1,12)	339 ms (49,5)	- 1,17 $\mu$ V (0,97)	345 ms (47,1)
	<b>STARK</b>	- 4,80 $\mu$ V (5,52)	353 ms (35,2)	-4,26 $\mu$ V (5,13)	363 ms (33,4)
<b>P450</b>	<b>LEICHT</b>	3,45 $\mu$ V (2,18)	572 ms (82,3)	2,92 $\mu$ V (2,35)	555,8 ms (58,7)
	<b>MITTEL</b>	3,32 $\mu$ V (2,85)	551,3 ms (87,6)	2,82 $\mu$ V (2,06)	520,4 ms (86,1)
	<b>STARK</b>	10,34 $\mu$ V (4,78)	476,6 ms (31,3)	8,21 $\mu$ V (4,78)	481,4 ms (36,5)

SD: Standardabweichung, LEICHT: Stimulation an der Wahrnehmungsschwelle, MITTEL: Stimulation an der Schmerzschwelle, STARK: Stimulation an der Toleranzschwelle/Maximaltemperatur

Bezüglich der Amplituden ergab die Varianzanalyse mit Messwiederholung mit den Innersubjektfaktoren Messzeitpunkt (1. Messzeitpunkt, 2. Messzeitpunkt) und Stärke (LEICHT/Stimulation an der Wahrnehmungsschwelle, MITTEL/Stimulation an der Schmerzschwelle, STARK/Stimulation an der Maximaltemperatur/Toleranzschwelle) neben einem signifikanten Haupteffekt für den Messzeitpunkt (genauere Darstellung siehe Kap. 4.3.3.) auch einen signifikanten Haupteffekt für die Stärke der Reize, sowohl für die negative als auch für die positive Komponente. Dabei war für beide Komponenten jeweils die Amplitude für den stärksten Reiz signifikant größer als die Amplituden für den leichten und mittleren Reiz. Die Amplituden für den leichten und mittleren Reiz unterschieden sich für keine der beiden Komponenten signifikant voneinander. Außerdem ergab sich eine

signifikante Interaktion Messzeitpunkt\*Stärke für die positive Komponente (vergleiche Tabelle 6 und Abbildung 8).

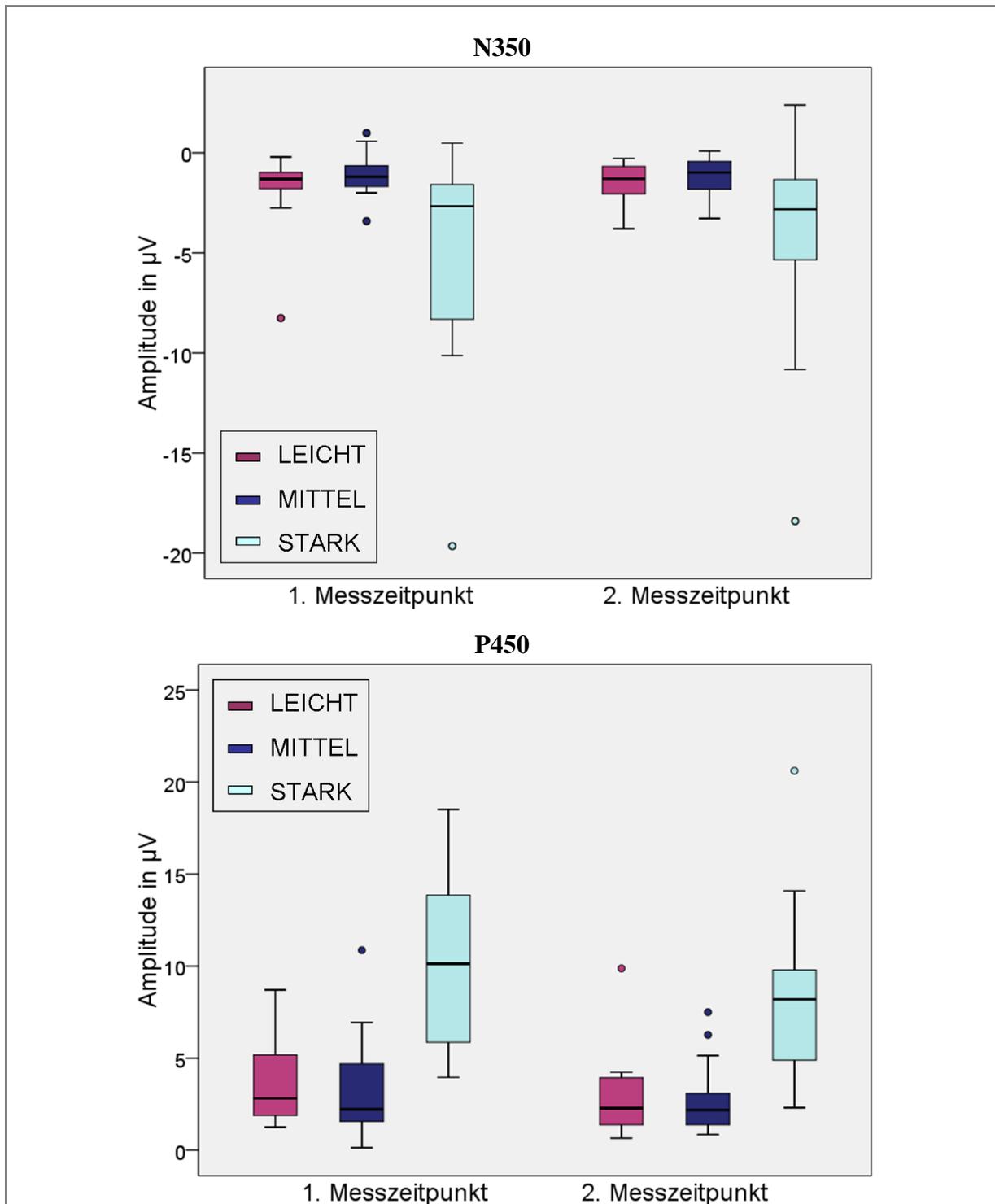


Abbildung 8: Boxplots (Median, Quartile, Range und Extremwerte) der Amplituden für die drei Reizstärken nach subjektiv definierten Reizen (LEICHT: Stimulation an der Wahrnehmungsschwelle, MITTEL: Stimulation an der Schmerzschwelle, STARK: Stimulation an der Toleranzschwelle/Maximaltemperatur)

*Tabelle 6: Haupteffekte und Interaktionen der zwei Innersubjektvariablen Messzeitpunkt und Stärke des Reizes für die Amplituden nach subjektiv definierten Reizen*

	<b>N350</b>		<b>P450</b>	
	<b>F (df1, df2)</b>	<b>p-Wert</b>	<b>F (df1, df2)</b>	<b>p-Wert</b>
<b>Messzeitpunkt</b>	0.52 (1,13)	.485	5.25 (1,13)*	<b>.039</b>
<b>Stärke</b>	6.47 (1.06, 13.77)*	<b>.022</b>	36.70 (2,26)**	<b>.000</b>
<b>Messzeitpunkt*Stärke</b>	0.45 (2,26)	.644	7.00 (2,26)**	<b>.001</b>

\* p < .05; \*\* p < .01

#### 4.3.2. Subjektive Einschätzungen

Die Einschätzungen der Intensität und Unangenehmheit der subjektiv definierten Reize während der Ableitung der evozierten Potentiale sowie ihre Korrelation untereinander lassen sich der Tabelle 7 entnehmen.

*Tabelle 7: Mittelwerte und Standardabweichungen der Bewertungen nach subjektiv definierten Reizen und ihre Korrelationen untereinander*

		<b>Intensität M (SD)</b>	<b>Unangenehmheit M (SD)</b>	<b>R</b>	<b>p-Wert</b>
<b>LEICHT</b>	<b>1. Messzeitpunkt</b>	0.27 (.416)	0.11 (0.188)	.797**	<b>.006</b>
	<b>2. Messzeitpunkt</b>	0.11 (0.134)	0.07 (0.149)	.739**	<b>.004</b>
<b>MITTEL</b>	<b>1. Messzeitpunkt</b>	1.29 (0.792)	1.45 (1.175)	.816**	<b>.001</b>
	<b>2. Messzeitpunkt</b>	1.92 (0.926)	1.84 (0.992)	.879**	<b>.000</b>
<b>STARK</b>	<b>1. Messzeitpunkt</b>	3.15 (1.147)	3.62 (1.237)	.916**	<b>.000</b>
	<b>2. Messzeitpunkt</b>	3.81 (0.609)	3.73 (0.804)	.064	.860

\*\* p < .01, M: Mittelwert, SD: Standardabweichung, R: Korrelationskoeffizient nach Pearson, LEICHT: Stimulation an der Wahrnehmungsschwelle, MITTEL: Stimulation an der Schmerzschwelle, STARK: Stimulation an der Toleranzschwelle/Maximaltemperatur

Der leichte Reiz (Stimulation an der Wahrnehmungsschwelle) wurde dabei von allen Probanden als nicht schmerzhaft und nicht unangenehm eingeschätzt (Schmerzschwelle =

Skalenwert 2). Der mittlere Reiz (Stimulation an der Schmerzschwelle) wurde zum ersten Messzeitpunkt lediglich von zwei und zum zweiten Messzeitpunkt von sieben Probanden als schmerzhaft eingeschätzt. Der Mittelwert lag dabei unterhalb der Schmerzschwelle. Den stärksten Reiz (Stimulation an der Toleranzschwelle/ Maximaltemperatur) schätzen mit Ausnahme von jeweils zwei Personen alle Probanden als schmerzhaft ein. Der Mittelwert lag damit erwartungsgemäß über der Schmerzschwelle.

Die über die fünf Versuchsdurchgänge gemittelten Einschätzungen für die Intensität und die Unangenehmheit korrelierten fast durchgängig hoch signifikant miteinander. Einzige Ausnahme bildeten die Einschätzungen für die Reize an der Toleranzschwelle/Maximaltemperatur zum zweiten Messzeitpunkt. Hier ließ sich kein linearer Zusammenhang zwischen den beiden Einschätzungsskalen nachweisen.

Die Varianzanalyse mit Messwiederholung mit den Innersubjektfaktoren Messzeitpunkt (1. Messzeitpunkt, 2. Messzeitpunkt) und Stärke (LEICHT, MITTEL, STARK) ergab sowohl für die Intensität als auch die Unangenehmheit einen signifikanten Haupteffekt für die Stärke. Dabei unterschieden sich für beide Skalen jeweils die Einschätzungen für alle drei Reizstärken signifikant voneinander (höchste Einschätzung für die Stimulation an der Toleranzschwelle/Maximaltemperatur, niedrigste Einschätzung für die Stimulation an der Wahrnehmungsschwelle). Die Interaktion Messzeitpunkt \* Stärke erwies sich weder für die Einschätzung der Intensität noch für die Einschätzung der Unangenehmheit als signifikant (vergleiche Tabelle 8, Abbildung 9, Beschreibung der Ergebnisse für die Stabilität siehe Kap. 4.3.4.).

*Tabelle 8: Haupteffekte und Interaktionen der zwei Innersubjektvariablen Messzeitpunkt und Stärke für die Bewertungen nach subjektiv definierten Reizen*

	Intensität		Unangenehmheit	
	F (df1, df2)	p	F (df1, df2)	p
<b>Messzeitpunkt</b>	2.15 (1,11)	.170	0.460 (1,10)	.513
<b>Stärke</b>	83.13 (1.15, 12.63)**	<b>.000</b>	84.64 (1.31, 13,11)**	<b>.000</b>
<b>Messzeitpunkt*Stärke</b>	1.89 (2,22)	.175	0.67 (2,20)	.525

\*\* p < .01

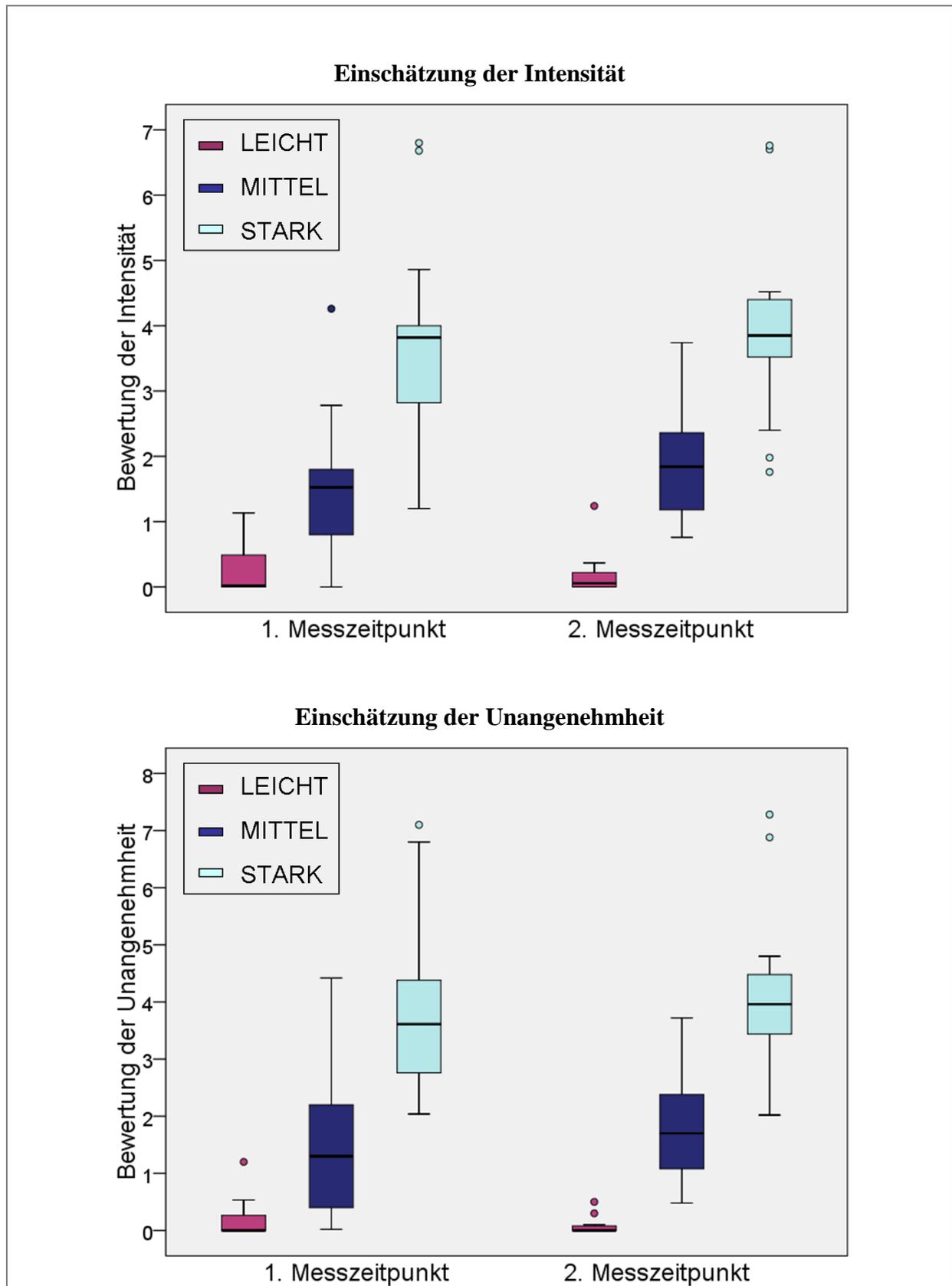


Abbildung 9: Boxplots (Median, Quartile, Range und Extremwerte) der Bewertungen für die Intensität und Unangenehmheit nach subjektiv definierten Reizen (LEICHT: Stimulation an der Wahrnehmungsschwelle, MITTEL: Stimulation an der Schmerzschwelle, STARK: Stimulation an der Toleranzschwelle/Maximaltemperatur)

### 4.3.3. Stabilität der evozierten Potentiale nach subjektiv definierten Reizen über die Zeit

Die Varianzanalyse mit Messwiederholung mit den Innersubjektvariablen Messzeitpunkt und Stärke ergab für die Amplituden der positiven Komponente neben dem bereits in Kap. 4.3.1. beschriebenen Haupteffekt für die Reizstärke auch einen Haupteffekt für den Messzeitpunkt: die Amplituden lagen im Mittel zum ersten Messzeitpunkt höher als zum zweiten Messzeitpunkt. Weiterhin ergab sich für diese Komponente eine signifikante Interaktion Messzeitpunkt\*Stärke (vergleiche Tabelle 6 und Abbildung 8). Für den negativen Peak ließ sich kein Unterschied zwischen den Amplituden zum ersten und zum zweiten Messzeitpunkt nachweisen. Weder der Haupteffekt für den Messzeitpunkt noch die Interaktion Messzeitpunkt x Stärke erwiesen sich hier als signifikant.

### 4.3.4. Stabilität der subjektiven Bewertungen über die Zeit

Für die subjektiven Bewertungen ergab die Varianzanalyse mit Messwiederholung mit den Innersubjektvariablen Messzeitpunkt und Stärke weder für die Intensität noch für die Unangenehmheit der Reize einen signifikanten Haupteffekt für den Messzeitpunkt. Auch die Interaktion Messzeitpunkt\*Stärke war nicht signifikant (vergleiche Tabelle 8 und Abbildung 9). Die Bewertungen unterschieden sich somit nicht zwischen dem ersten und zweiten Messzeitpunkt.

### 4.3.5. Zusammenhang der evozierten Potentiale mit der Persönlichkeit

#### 4.3.5.1. Neurotizismus

**N350:** Für den negativen Peak ergab sich zu keinem der beiden Messzeitpunkte eine signifikante Korrelation der Amplitude an Cz mit dem Neurotizismuswert (vergleiche Tabelle 9 und Abbildung 10).

Tabelle 9: Korrelationen der Amplituden nach Stimulation mit subjektiv definierten Reizen mit dem Neurotizismuswert

		1. Messzeitpunkt			2. Messzeitpunkt		
		N	R	p-Wert	N	R	p-Wert
<b>N350</b>	<b>LEICHT</b>	12	0.040	.903	13	-.398	.178
	<b>MITTEL</b>	11	-0.311	.353	13	-0.474	.102
	<b>STARK</b>	13	0.470	.105	12	-0.314	.320
<b>P450</b>	<b>LEICHT</b>	13	0.417	.157	12	-0.181	.573
	<b>MITTEL</b>	12	0.679*	<b>.015</b>	11	0.054	.874
	<b>STARK</b>	13	0.510	<b>.075</b>	12	0.352	.262

\*  $p < .05$ , R: Korrelationskoeffizient nach Pearson, LEICHT: Stimulation an der Wahrnehmungsschwelle, MITTEL: Stimulation an der Schmerzschwelle, STARK: Stimulation an der Toleranzschwelle/Maximaltemperatur

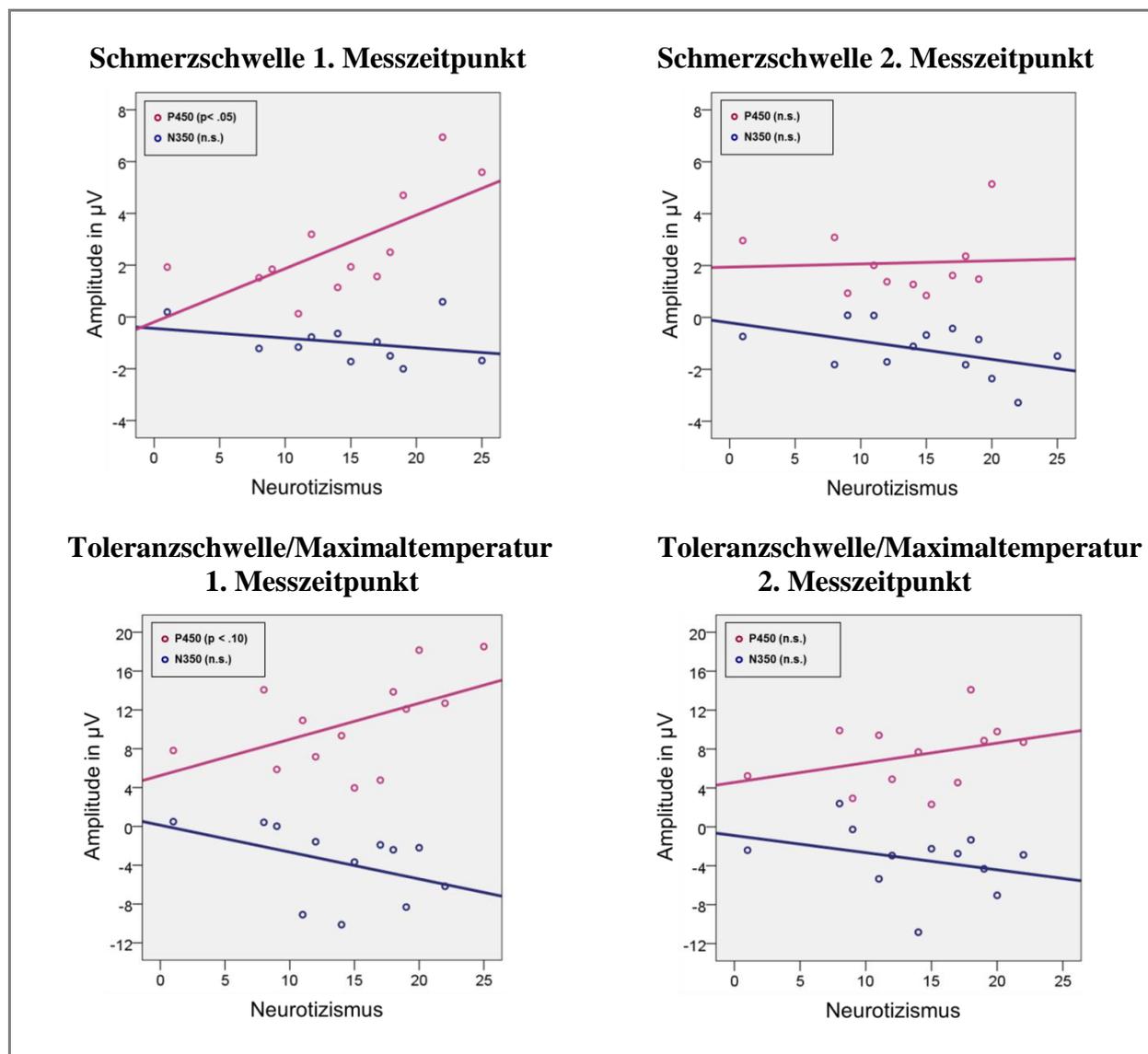


Abbildung 10: Zusammenhang der Amplituden nach Stimulation an der Schmerzschwelle und an der Toleranzschwelle/Maximaltemperatur mit dem Persönlichkeitsfaktor Neurotizismus

**P450:** Für den ersten Messzeitpunkt zeigte sich dagegen ein signifikanter positiver Zusammenhang des Neurotizismuswertes mit der Amplitude der positiven Komponente an Cz nach Stimulation an der Schmerzschwelle. Das heißt, je höher der Neurotizismuswert, umso größer war auch die Amplitude dieser Komponente. Ein Trend in Richtung eines solchen Zusammenhangs ergab sich auch für die Stimulation an der Toleranzschwelle/Maximaltemperatur zum ersten Messzeitpunkt. Betrachtet man die Amplituden zum zweiten Messzeitpunkt, so ließ sich allerdings weder für die Schmerzschwelle noch für die Toleranzschwelle/Maximaltemperatur ein Zusammenhang mit dem Neurotizismuswert nachweisen. Für die nicht schmerzhaften Reize an der Wahrnehmungsschwelle ergab sich weder für den ersten noch für den zweiten Messzeitpunkt ein Zusammenhang mit dem Neurotizismuswert (vergleiche Tabelle 9 und Abbildung 10).

#### 4.3.5.2. Extraversion

**N350:** Für die negative Komponente ließ sich für den Persönlichkeitsfaktor Extraversion weder für den ersten noch für den zweiten Messzeitpunkt ein signifikanter Zusammenhang mit den Amplituden an Cz nachweisen (vergleiche Tabelle 10 und Abbildung 11).

*Tabelle 10: Korrelationen der Amplituden nach Stimulation mit subjektiv definierten Reizen mit dem Extraversionswert*

		1. Messzeitpunkt			2. Messzeitpunkt		
		N	R	p	N	R	p
<b>N350</b>	<b>LEICHT</b>	13	-0.214	.482	14	0.083	.779
	<b>MITTEL</b>	12	0.385	.216	14	-0.260	.370
	<b>STARK</b>	14	0.152	.604	13	-0.280	.353
<b>P450</b>	<b>LEICHT</b>	14	0.266	.358	13	0.050	.871
	<b>MITTEL</b>	13	0.505	.078	12	0.124	.700
	<b>STARK</b>	14	0.311	.279	13	0.142	.644

R: Korrelationskoeffizient nach Pearson, LEICHT: Stimulation an der Wahrnehmungsschwelle, MITTEL: Stimulation an der Schmerzschwelle, STARK: Stimulation an der Toleranzschwelle/Maximaltemperatur

**P450:** Genauso erreichte für den positiven Peak keiner der berechneten Zusammenhänge zu den beiden Messzeitpunkten statistische Signifikanz. Es ergab sich lediglich für die Stimulation an der Schmerzschwelle zum ersten Messzeitpunkt ein Trend in Richtung eines positiven Zusammenhangs zwischen Extraversion und den Amplituden an Cz. Höhere

Extraversionswerte gingen dabei mit höheren Amplituden dieser Komponente einher (vergleiche Tabelle 10 und Abbildung 11).

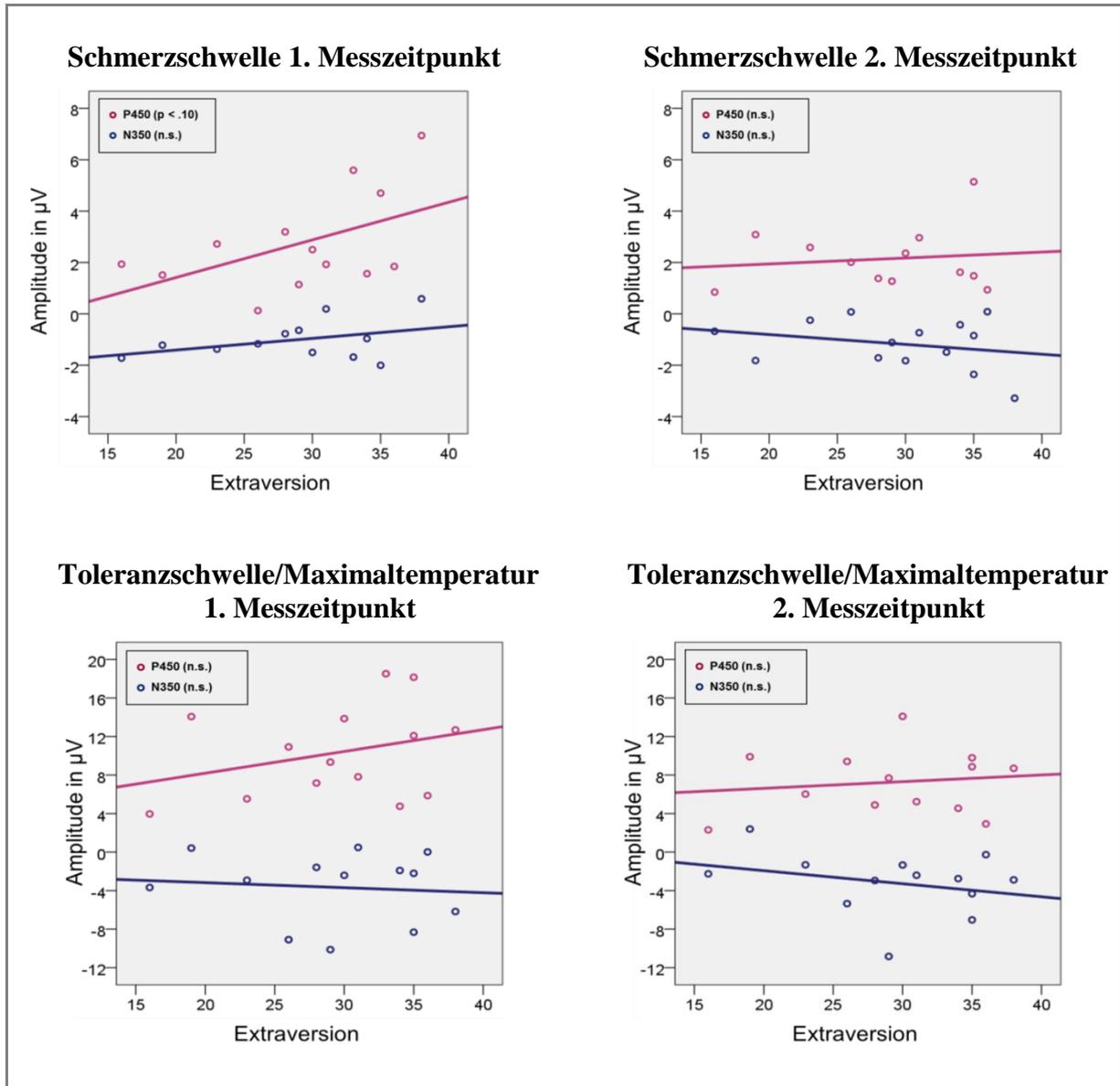


Abbildung 11: Zusammenhang der Amplituden nach Stimulation an der Schmerzschwelle und an der Toleranzschwelle/Maximaltemperatur mit dem Persönlichkeitsfaktor Extraversion

### 4.3.6. Zusammenhang der subjektiven Bewertungen mit der Persönlichkeit

#### 4.3.6.1. Neurotizismus

Für die subjektiven Bewertungen der starken Reize (Stimulation an der Toleranzschwelle/Maximaltemperatur) zeigten sich sowohl für die Einschätzung der Intensität als auch für die Einschätzung der Unangenehmheit zum ersten Messzeitpunkt hochsignifikante Korrelationen mit dem Neurotizismuswert. Eine signifikante Korrelation mit dem Neurotizismuswert fand sich auch für den mittleren Reiz (Stimulation an der Schmerzschwelle). Zum zweiten Messzeitpunkt waren diese Zusammenhänge deutlich weniger stark ausgeprägt. Hier fand sich für den starken Reiz lediglich für die Einschätzung der Intensität eine signifikante Korrelation, die niedriger war als die zum ersten Messzeitpunkt. Der Zusammenhang für die Einschätzung der Unangenehmheit war zum zweiten Messzeitpunkt nicht signifikant und auch die Korrelation zwischen dem Neurotizismuswert und der Intensitätseinschätzung für den mittleren Reiz zeigte sich zum zweiten Messzeitpunkt nur noch als Trend (vergleiche Tabelle 11 und Abbildung 12).

*Tabelle 11: Korrelationen der Bewertungen nach subjektiv definierten Reizen mit dem Neurotizismuswert*

		1. Messzeitpunkt			2. Messzeitpunkt		
		N	R	p	N	R	p
<b>LEICHT</b>	<b>Intensität</b>	11	-.093	.786	12	-.391	.209
	<b>Unangenehmheit</b>	9	-.385	.306	11	-.482	.134
<b>MITTEL</b>	<b>Intensität</b>	12	.626*	<b>.029</b>	13	.526	.065
	<b>Unangenehmheit</b>	13	.152	.619	13	.513	.073
<b>STARK</b>	<b>Intensität</b>	11	.887**	<b>.000</b>	9	.716*	<b>.030</b>
	<b>Unangenehmheit</b>	12	.825**	<b>.001</b>	11	.436	.181

\*  $p < .05$ ; \*\*  $p < .01$ , R: Korrelationskoeffizient nach Pearson, LEICHT: Stimulation an der Wahrnehmungsschwelle, MITTEL: Stimulation an der Schmerzschwelle, STARK: Stimulation an der Toleranzschwelle/Maximaltemperatur

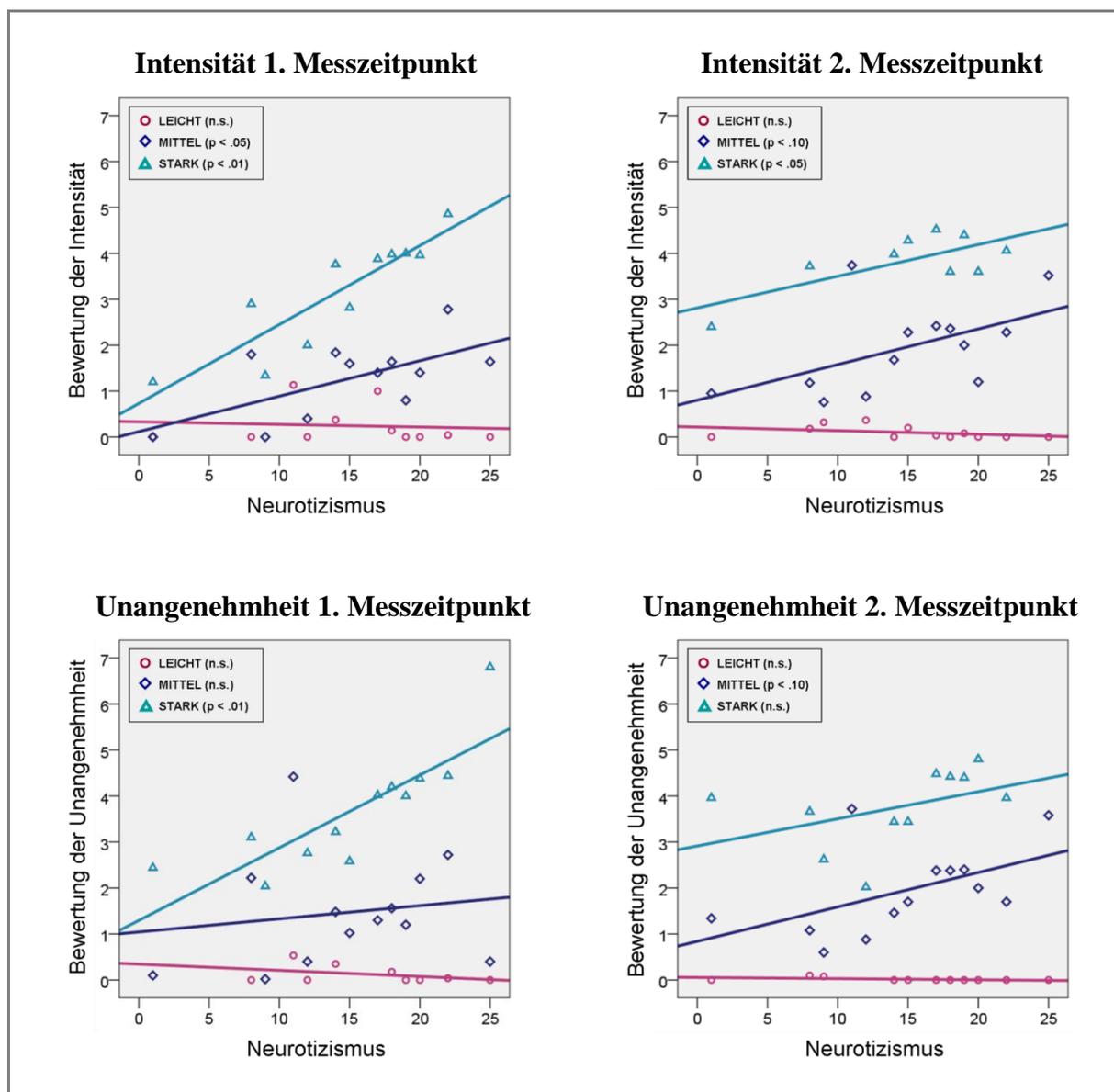


Abbildung 12: Zusammenhang der Bewertungen nach subjektiv definierten Reizen mit dem Persönlichkeitsfaktor Neurotizismus

#### 4.3.6.2. Extraversion

Für den Persönlichkeitsfaktor Extraversion ergaben sich weder zum ersten noch zum zweiten Messzeitpunkt signifikante Korrelationen mit den subjektiven Bewertungen (vergleiche Tabelle 12 und Abbildung 13)

Tabelle 12: Korrelationen der Bewertungen nach subjektiv definierten Reizen mit dem Extraversionswert

		1. Messzeitpunkt			2. Messzeitpunkt		
		N	R	p	N	R	p
<b>LEICHT</b>	<b>Intensität</b>	12	-.202	.530	13	-.395	.181
	<b>Unangenehmheit</b>	10	-.172	.634	12	-.222	.488
<b>MITTEL</b>	<b>Intensität</b>	13	-.115	.709	14	-.017	.954
	<b>Unangenehmheit</b>	14	-.122	.677	14	.195	.504
<b>STARK</b>	<b>Intensität</b>	12	.241	.450	10	.039	.914
	<b>Unangenehmheit</b>	13	.383	.196	12	.275	.387

R: Korrelationskoeffizient nach Pearson, LEICHT: Stimulation an der Wahrnehmungsschwelle, MITTEL: Stimulation an der Schmerzschwelle, STARK: Stimulation an der Toleranzschwelle/Maximaltemperatur

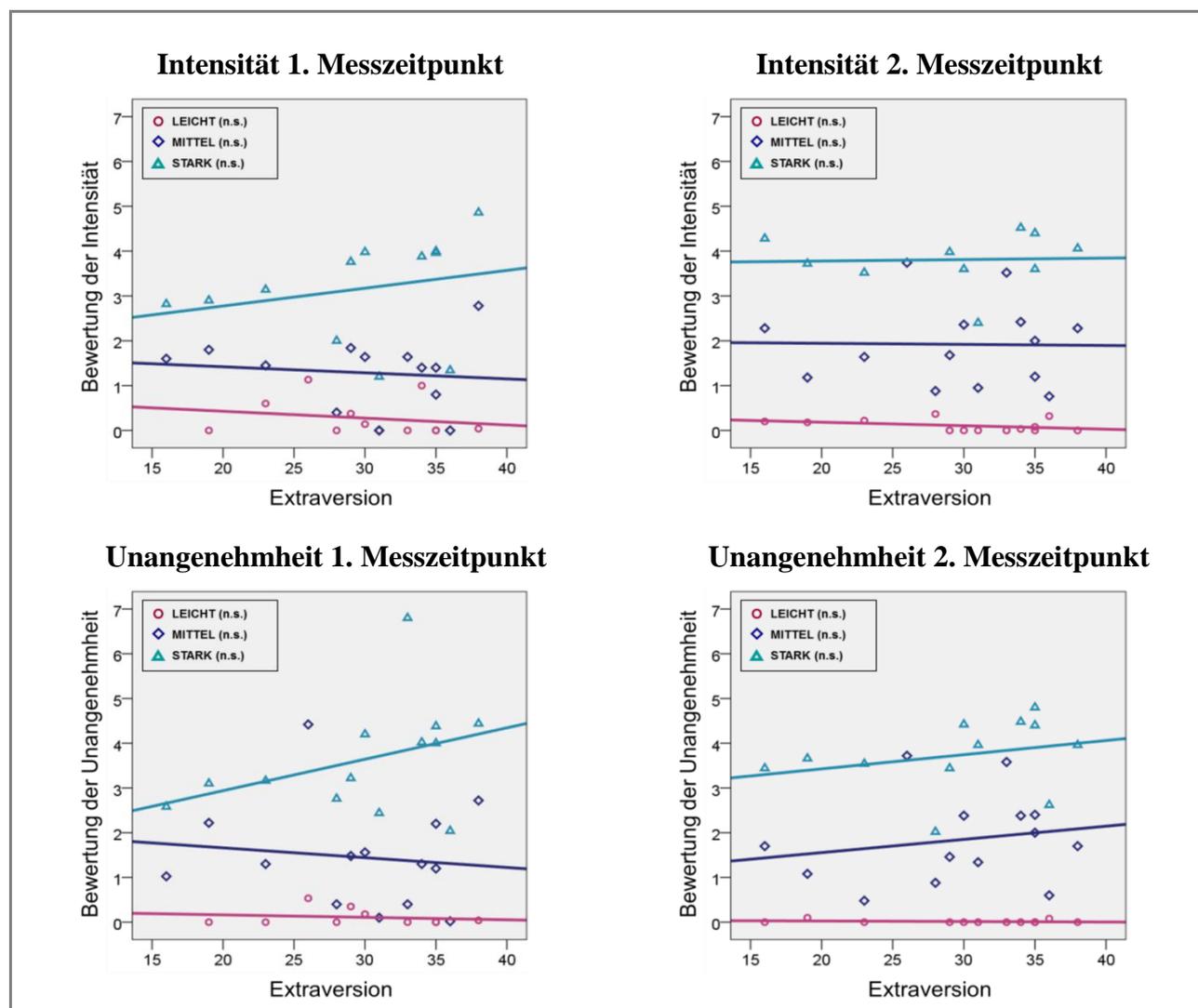


Abbildung 13: Zusammenhang der Bewertungen nach subjektiv definierten Reizen mit dem Persönlichkeitsfaktor Extraversion

## 4.3.7. Analyse der Generatoren der elektrophysiologischen Reaktionen

Abbildung 14 zeigt die maximale elektrische Hirnaktivität für den negativen Peak im Zeitintervall zwischen 320 und 370 ms zum ersten Messzeitpunkt. Eine Auflistung der Talairach-Koordinaten und der entsprechenden Brodmann-Areale der zehn stärksten Aktivierungen findet sich in Tabelle 13.

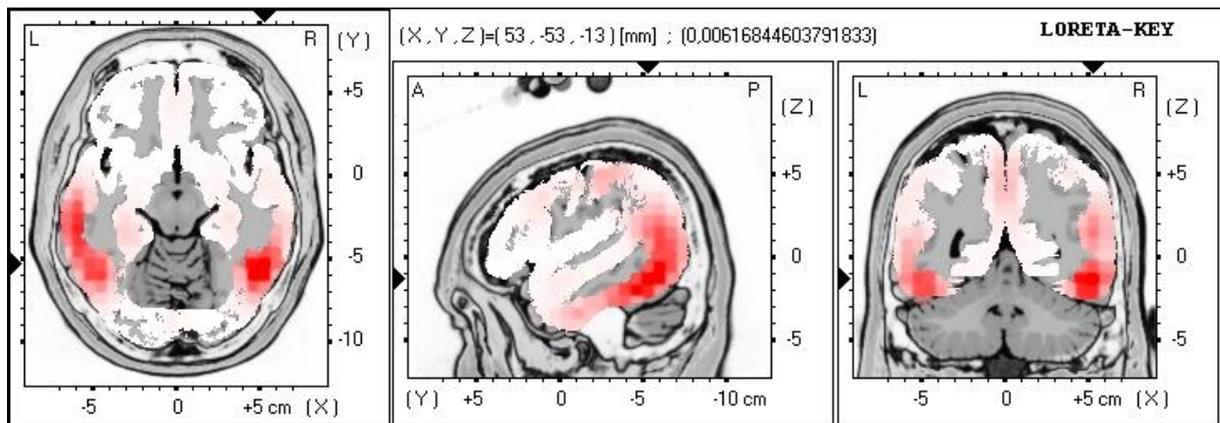


Abbildung 14: Maximale Aktivierung im mittleren Gyrus temporalis rechts zum ersten Messzeitpunkt im Zeitintervall der negativen Komponente

Tabelle 13: Talairach-Koordinaten, Lokalisation und Stromdichtewerte für die zehn stärksten Aktivierungen im Zeitintervall der negativen Komponente (320 bis 370 ms) nach Stimulation mit subjektiv definierten Reizen

Talairach-Koordinaten			Brodmann-Areal	Lokalisation	Stromdichte in $\mu\text{A}/\text{mm}^2$
x	y	z			
-59	-32	-20	20	Gyrus temporalis inferior (links)	$5.85 \times 10^{-3}$
53	-53	-13	37	Gyrus temporalis medius (rechts)	$6.17 \times 10^{-3}$
-52	-67	1	37	Gyrus temporalis medius (links)	$5.18 \times 10^{-3}$
-52	-46	-20	37	Gyrus fusiformis (links)	$5.76 \times 10^{-3}$
-45	-60	-13	37	Gyrus fusiformis (links)	$5.23 \times 10^{-3}$
39	-11	-34	20	Uncus (rechts)	$4.48 \times 10^{-3}$
4	-39	43	31	Gyrus cinguli (rechts)	$4.11 \times 10^{-3}$
-3	-39	43	31	Gyrus cinguli (links)	$4.11 \times 10^{-3}$
46	-32	50	40	Gyrus postcentralis (rechts)	$4.06 \times 10^{-3}$
-52	-39	43	40	Lobus parietalis inferior (links)	$3.89 \times 10^{-3}$

Für die positive Komponente zeigte sich die stärkste Aktivierung im posterioren cingulären Kortex (Zeitintervall: 450 – 500 ms, vergleiche Abbildung 15 und Tabelle 14).

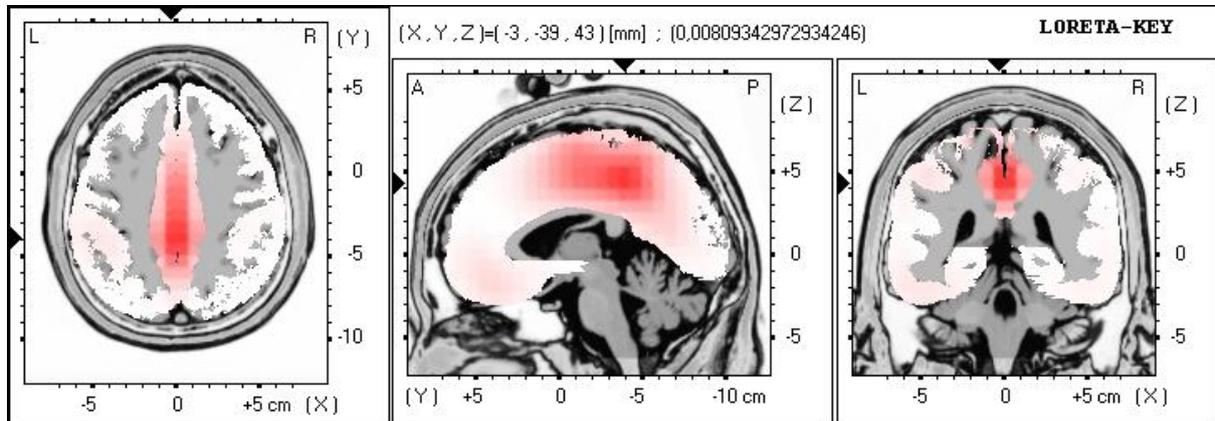


Abbildung 15: Maximale Aktivierung im posterioren cingulären Kortex links zum ersten Messzeitpunkt im Zeitintervall der positiven Komponente

Tabelle 14: Talairach-Koordinaten, Lokalisation und Stromdichtewerte für die zehn stärksten Aktivierungen im Zeitintervall der positiven Komponente (450 bis 500 ms) nach Stimulation mit subjektiv definierten Reizen

Talairach-Koordinaten			Brodmann-Areal	Lokalisation	Stromdichte in $\mu\text{A}/\text{mm}^2$
x	y	z			
-52	-46	-20	37	Gyrus fusiformis (links)	$3.05 \times 10^{-3}$
-45	-60	-13	37	Gyrus fusiformis (links)	$2.76 \times 10^{-3}$
-31	-11	-27	20	Uncus (links)	$2.57 \times 10^{-3}$
25	-4	-27	-	Amygdala (rechts)	$2.29 \times 10^{-3}$
-3	-39	43	31	Gyrus cinguli (links)	$8.09 \times 10^{-3}$
-31	-32	-20	36	Gyrus parahippocampalis (links)	$2.57 \times 10^{-3}$
46	10	1	13	Insula	$2.19 \times 10^{-3}$
25	3	57	6	Gyrus frontalis superior	$2.19 \times 10^{-3}$
-3	38	-20	11	Gyrus frontalis medius (links)	$3.49 \times 10^{-3}$
-45	-39	50	40	Lobus parietalis inferior (links)	$3.05 \times 10^{-3}$

## 4.4. Evozierte Potentiale nach physikalisch definierten Reizen

### 4.4.1. Form und Größe der evozierten Potentiale

Die evozierten Potentiale, welche zum zweiten Messzeitpunkt nach den physikalisch definierten Reizen abgeleitet wurden, sind für die drei Stimulationstemperaturen (47°C, 50°C und 53°C) an Cz in Abbildung 16 dargestellt. Die Verläufe entsprechen im Wesentlichen den Potentialverläufen nach schmerzhaften Reizen aus anderen Studien, in denen CHEPS verwendet wurde.

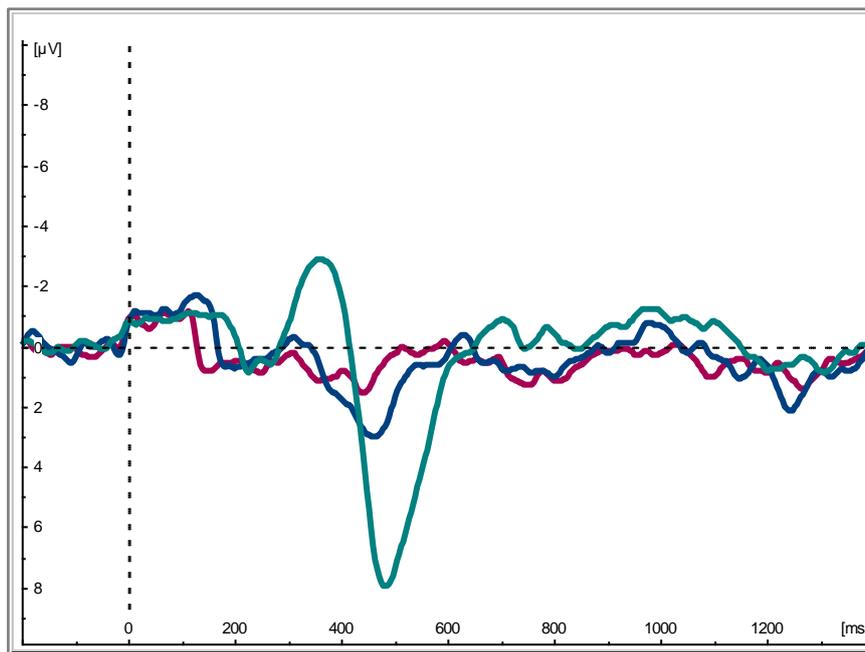


Abbildung 16: Grand Averages der evozierten Potentiale an Cz nach physikalisch definierten Reizen (LEICHT/47 °C (rot), MITTEL/50 °C (blau), STARK/53 °C (grün))

Eine Varianzanalyse mit Messwiederholung mit dem Innersubjektfaktor STÄRKE (47°C, 50°C und 53°C) erwies sich für die Amplituden der negativen und der positiven Komponente als signifikant. Die größten Amplitudenbeträge ergaben sich für die Stimulationstemperatur von 53°C, die niedrigsten für 47°C. Für die negative Komponente ergaben die Post-Hoc-Tests dabei einen signifikanten Unterschied zwischen den Amplituden der höchsten und der niedrigsten Stimulationstemperatur sowie zwischen der höchsten und der mittleren Temperatur. Der Unterschied zwischen der niedrigsten und der mittleren Temperatur war nicht signifikant. Für die positive Komponente ließen sich für alle paarweisen Vergleiche signifikante Ergebnisse nachweisen (vergleiche Tabellen 15 und 16 und Abbildung 17).

*Tabelle 15: Amplituden und Latenzen der ermittelten Peaks nach physikalisch definierten Reizen*

		<b>Amplitude (SD)</b>	<b>Latenz (SD)</b>
<b>N350</b>	<b>LEICHT (47° C)</b>	- .69 $\mu$ V (0.59)	337.4 ms (44.6)
	<b>MITTEL (50° C)</b>	- 1.13 $\mu$ V (1.28)	341.4 ms (49.3)
	<b>STARK (53° C)</b>	- 5.24 $\mu$ V (4.39)	359.7 ms (40.3)
<b>P450</b>	<b>LEICHT (47° C)</b>	2.36 $\mu$ V (1.61)	494.2 ms (73.4)
	<b>MITTEL (50° C)</b>	4.11 $\mu$ V (2.00)	461.8 ms (39.6)
	<b>STARK (53° C)</b>	8.70 $\mu$ V (4.30)	484.2 ms (20.4)

SD: Standardabweichung, LEICHT: Stimulation an der Wahrnehmungsschwelle. MITTEL: Stimulation an der Schmerzschwelle, STARK: Stimulation an der Toleranzschwelle/Maximaltemperatur

Für die Latenzen ergab die Varianzanalyse weder für die negative noch für die positive Komponente einen Unterschied zwischen den Reizstärken (vergleiche Tabelle 16)

*Tabelle 16: Unterschiede zwischen den drei Reizstärken für die Latenzen und Amplituden der positiven und negativen Komponente nach physikalisch definierten Reizen*

	<b>N350</b>		<b>P450</b>	
	<b>F (df1, df2)</b>	<b>p-Wert</b>	<b>F (df1, df2)</b>	<b>p-Wert</b>
<b>Amplitude</b>	15.97 (1.09, 14.11)**	<b>.001</b>	30.17 (1.06, 13.81)**	<b>.000</b>
<b>Latenz</b>	1.02 (2, 26)	.374	1.73 (1.28, 16.62)	.209

\*\* p < .01

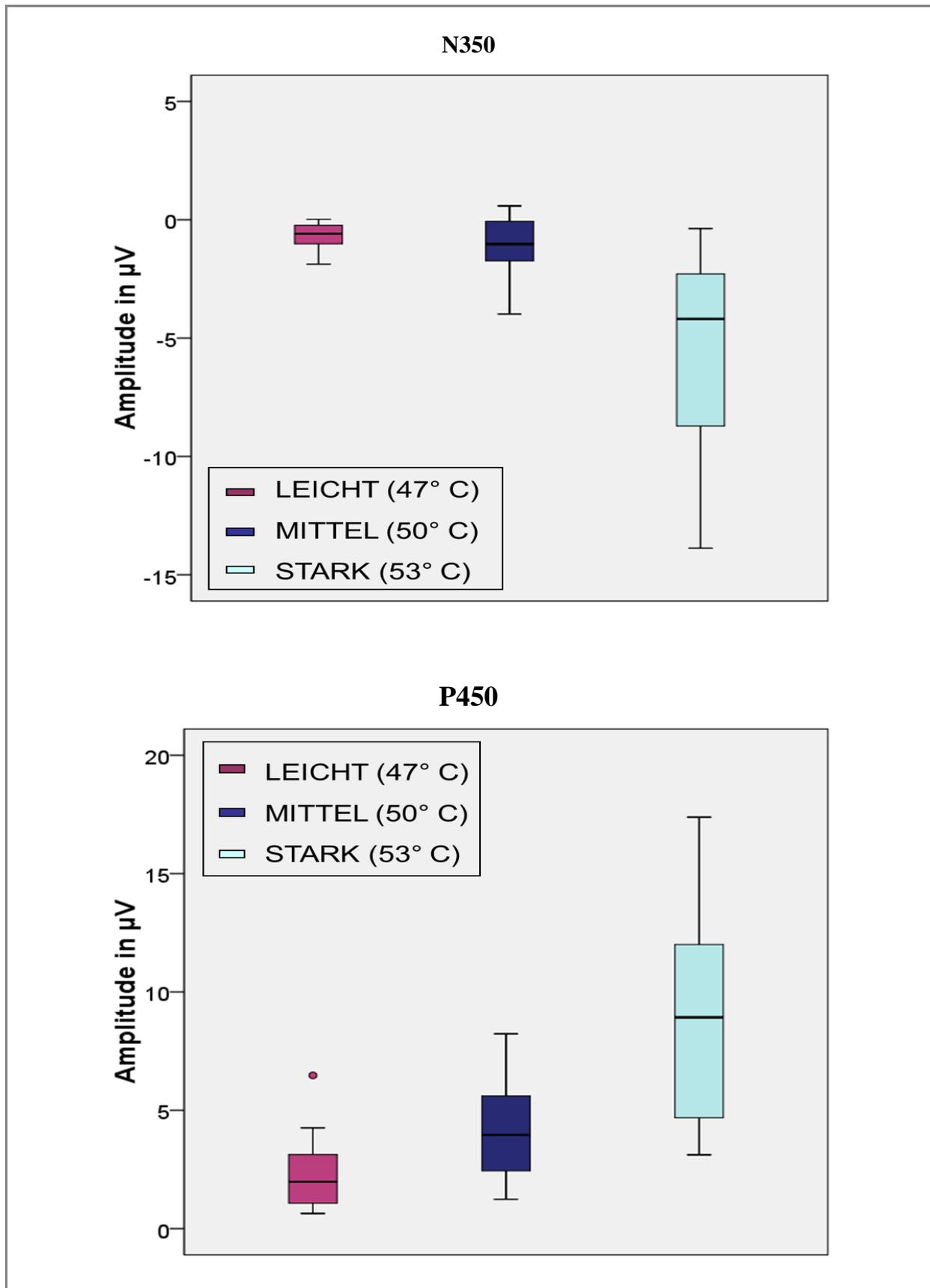


Abbildung 17: Boxplots (Median, Quartile, Range und Extremwerte) der Amplituden für die drei Reizstärken nach physikalisch definierten Reizen

## 4.4.2. Subjektive Einschätzungen

Auch für die subjektiven Bewertungen bezüglich der Intensität und Unangenehmheit der physikalisch definierten Reize fanden sich hoch signifikante Korrelationen der beiden Skalen untereinander (vergleiche Tab 17).

*Tabelle 17: Mittelwerte und Standardabweichungen der Bewertungen nach physikalisch definierten Reizen und ihre Korrelationen untereinander*

	<b>Intensität M (SD)</b>	<b>Unangenehmheit M (SD)</b>	<b>R</b>	<b>p-Wert</b>
<b>LEICHT (47° C)</b>	1.01 (0.947)	1.06 (1.170)	0.971**	<b>.000</b>
<b>MITTEL (50° C)</b>	2.86 (1.199)	2.79 (1.215)	0.784**	<b>.001</b>
<b>STARK (53° C)</b>	4.64 (1.209)	5.32 (1.922)	0.878**	<b>.000</b>

\*\* p < .01, M: Mittelwert, SD: Standardabweichung, R: Korrelationskoeffizient nach Pearson

Betrachtet man die Korrelationen zwischen den Amplituden der evozierten Potentiale und den entsprechenden Schmerzbewertungen, so ergaben sich für den negativen Peak signifikante Zusammenhänge beider Einschätzungen (Intensität und Unangenehmheit) mit den Amplituden nach Stimulation bei 47° C. Für den positiven Peak ließen sich solche Zusammenhänge für die Einschätzung der Unangenehmheit bei 50°C und beide Skalen bei Stimulation mit 53° C nachweisen (vergleiche Tabelle 18).

*Tabelle 18: Zusammenhang der Amplituden mit den Schmerzbewertungen nach physikalisch definierten Reizen*

		<b>Intensität</b>		<b>Unangenehmheit</b>	
		<b>R</b>	<b>p-Wert</b>	<b>R</b>	<b>p-Wert</b>
<b>N350</b>	<b>LEICHT (47° C)</b>	0.626*	<b>.022</b>	0.556*	<b>.049</b>
	<b>MITTEL (50° C)</b>	-0.075	.800	-0.204	.505
	<b>STARK (53° C)</b>	-.404	.171	-0.526	.053
<b>P450</b>	<b>LEICHT (47° C)</b>	0.100	.758	0.043	.893
	<b>MITTEL (50° C)</b>	0.445	.111	0.828**	<b>.000</b>
	<b>STARK (53° C)</b>	0.632*	<b>.021</b>	0.538*	<b>.047</b>

\* p < .05; \*\* p < .01, R: Korrelationskoeffizient nach Pearson

### 4.4.3. Zusammenhang der evozierten Potentiale mit der Persönlichkeit

#### 4.4.3.1. Neurotizismus

**N350:** Bezüglich der negativen Komponente ließ sich bei der niedrigsten Stimulationstemperatur (47°C) eine signifikante negative Korrelation der Amplituden an Cz mit dem Persönlichkeitsfaktor Neurotizismus nachweisen, d.h. höhere Neurotizismuswerte gingen mit einer negativeren (und damit größeren) Amplitude der N350 einher. Für die beiden höheren Stimulationstemperaturen ergab sich dagegen keine signifikante Korrelation mit dieser Persönlichkeitsdimension (vergleiche Tabelle 19 und Abbildung 18).

**P450:** Mit dem positiven Peak ließ sich für keine der drei Stimulationstemperaturen ein Zusammenhang mit dem Neurotizismuswert nachweisen (vergleiche Tabelle 19 und Abbildung 18).

*Tabelle 19: Korrelationen der Amplituden nach Stimulation mit physikalisch definierten Reizen mit dem Neurotizismuswert*

		<b>N</b>	<b>R</b>	<b>p-Wert</b>
<b>N350</b>	<b>LEICHT (47° C)</b>	13	-0.726**	<b>.005</b>
	<b>MITTEL (50° C)</b>	13	-0.295	.328
	<b>STARK (53° C)</b>	13	-0.127	.679
<b>P450</b>	<b>LEICHT (47° C)</b>	12	0.360	.250
	<b>MITTEL (50° C)</b>	13	-0.079	.797
	<b>STARK (53° C)</b>	13	0.240	.429

\*\* p < .01, R: Korrelationskoeffizient nach Pearson

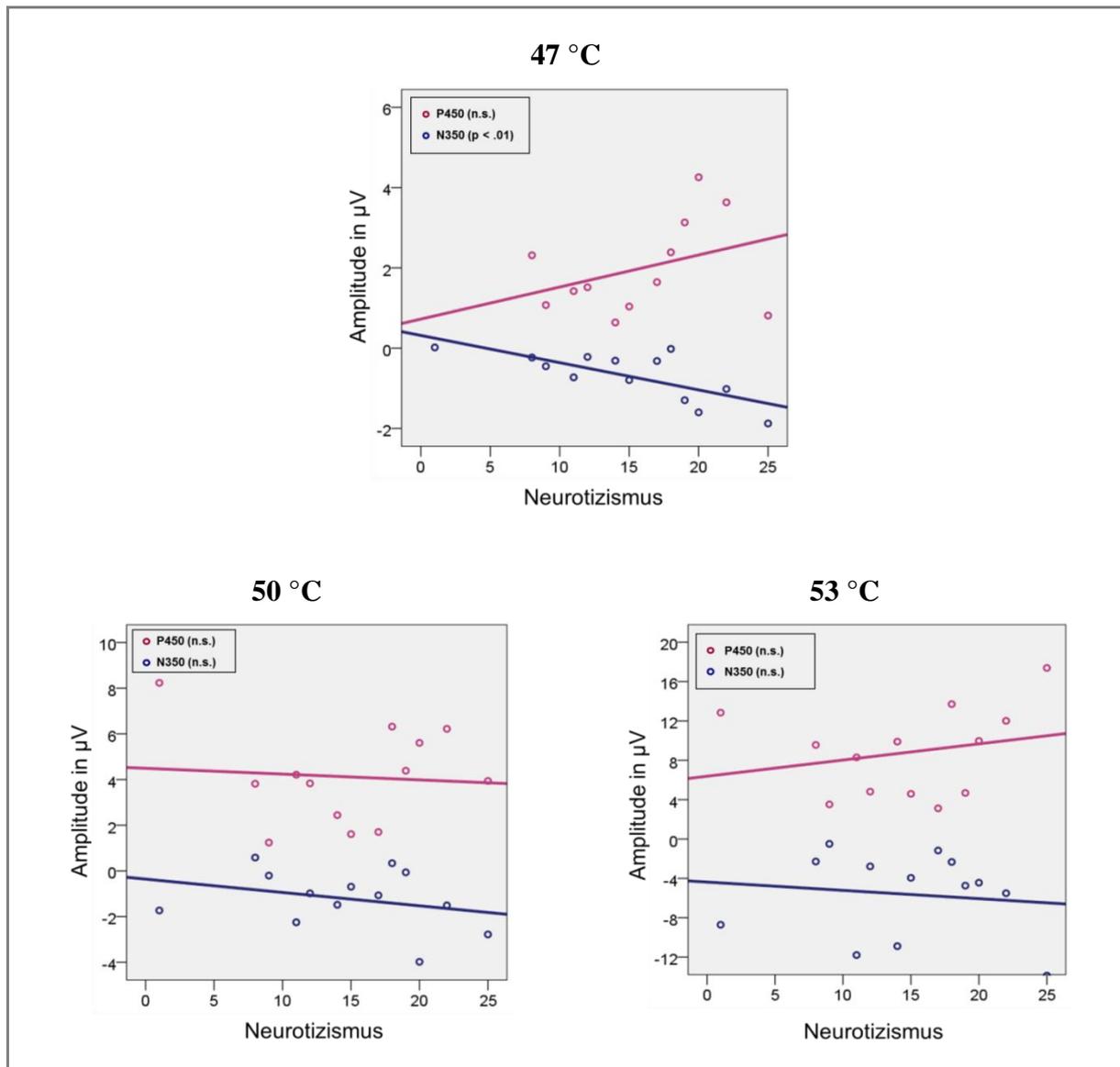


Abbildung 18: Zusammenhang der Amplituden nach Stimulation mit physikalisch definierten Reizen mit dem Persönlichkeitsfaktor Neurotizismus

#### 4.4.3.2. Extraversion

Weder für die negative noch für die positive Komponente ließen sich für die Amplituden nach Stimulation mit physikalisch definierten Reizen an Cz signifikante Korrelationen mit dem Persönlichkeitsfaktor Extraversion nachweisen (vergleiche Tabelle 20 und Abbildung 19).

Tabelle 20: Korrelationen der Amplituden nach Stimulation mit physikalisch definierten Reizen mit dem Extraversionswert

		N	R	p-Wert
<b>N350</b>	<b>LEICHT (47° C)</b>	14	-0.281	.330
	<b>MITTEL (50° C)</b>	14	-0.365	.199
	<b>STARK (53° C)</b>	14	-0.102	.730
<b>P450</b>	<b>LEICHT (47° C)</b>	13	0.322	.283
	<b>MITTEL (50° C)</b>	14	0.255	.379
	<b>STARK (53° C)</b>	14	0.148	.613

R: Korrelationskoeffizient nach Pearson

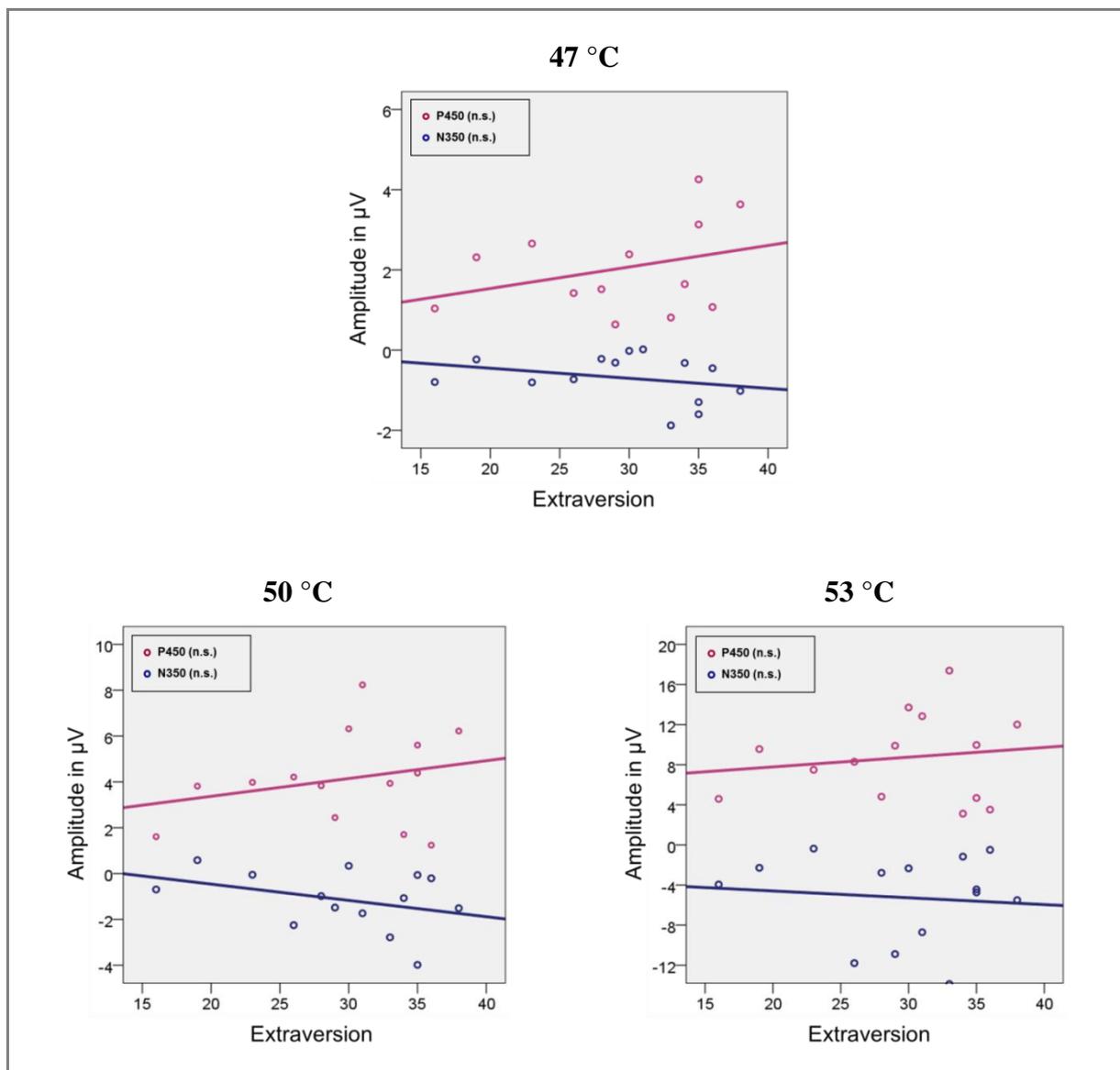


Abbildung 19: Zusammenhang der Amplituden nach Stimulation mit physikalisch definierten Reizen mit dem Persönlichkeitsfaktor Extraversion

## 4.4.4. Zusammenhang der subjektiven Bewertungen mit der Persönlichkeit

## 4.4.4.1. Neurotizismus

Für die physikalisch definierten Reize ergaben sich nur für die niedrigste Stimulationstemperatur von 47 °C signifikante Korrelationen des Neurotizismuswertes mit den subjektiven Bewertungen. Dabei ließ sich sowohl für die Intensität als auch die Unangenehmheit der Reize ein negativer Zusammenhang nachweisen: Je höher der Neurotizismuswert, desto geringer fiel die subjektive Einschätzung sowohl der Intensität als auch der Unangenehmheit der Reize aus. Für die beiden höheren Stimulationstemperaturen ergaben sich keine signifikanten Korrelationen der subjektiven Bewertungen mit dem Neurotizismuswert (vergleiche Tabelle 21 und Abbildung 20).

Tabelle 21: Korrelationen der Bewertungen nach physikalisch definierten Reizen mit dem Neurotizismuswert

	N	R	p-Wert	
<b>LEICHT (47°C)</b>	<b>Intensität</b>	12	-.618*	<b>.032</b>
	<b>Unangenehmheit</b>	12	-.620*	<b>.032</b>
<b>MITTEL (50°C)</b>	<b>Intensität</b>	13	-.148	.630
	<b>Unangenehmheit</b>	12	-.164.	.611
<b>STARK (53°C)</b>	<b>Intensität</b>	12	.102	.753
	<b>Unangenehmheit</b>	13	-.072	.814

\*  $p < .05$ , R: Korrelationskoeffizient nach Pearson

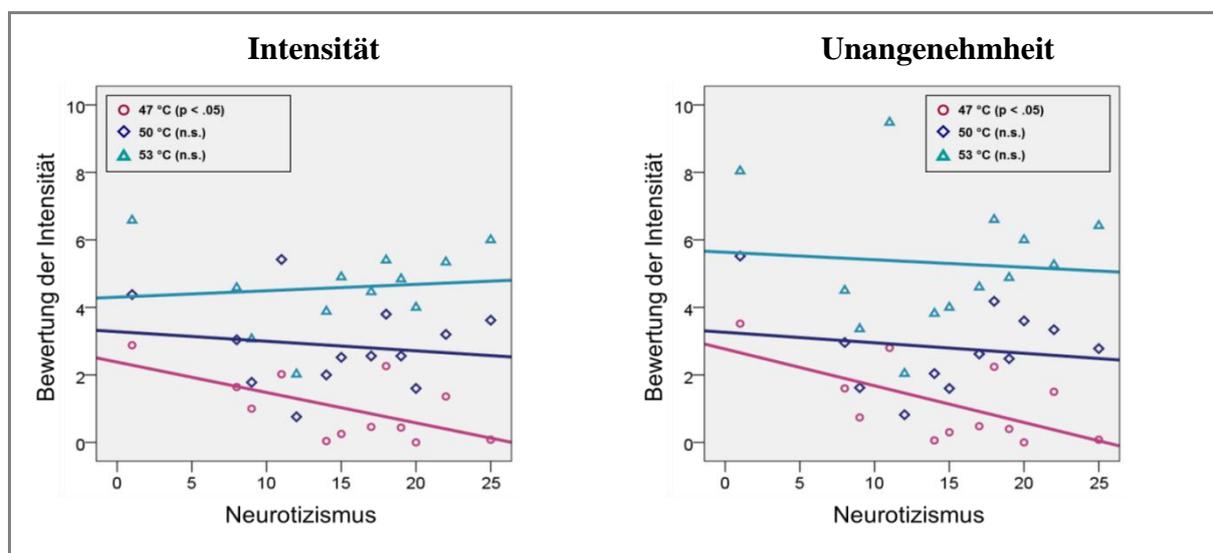


Abbildung 20: Zusammenhang der Bewertungen nach physikalisch definierten Reizen mit dem Persönlichkeitsfaktor Neurotizismus

## 4.4.4.2. Extraversion

Für den Persönlichkeitsfaktor Extraversion ließen sich keine signifikanten Korrelationen mit den subjektiven Bewertungen für die physikalisch definierten Reize nachweisen (vergleiche Tabelle 22, Abbildung 21)

Tabelle 22: Korrelationen der Bewertungen nach physikalisch definierten Reizen mit dem Extraversionswert

		N	R	p-Wert
<b>LEICHT (47°C)</b>	<b>Intensität</b>	13	-.066	.832
	<b>Unangenehmheit</b>	13	-.045	.883
<b>MITTEL (50°C)</b>	<b>Intensität</b>	14	-.104	.722
	<b>Unangenehmheit</b>	13	.220	.471
<b>STARK (53°C)</b>	<b>Intensität</b>	13	-.020	.948
	<b>Unangenehmheit</b>	14	.063	.831

R: Korrelationskoeffizient nach Pearson

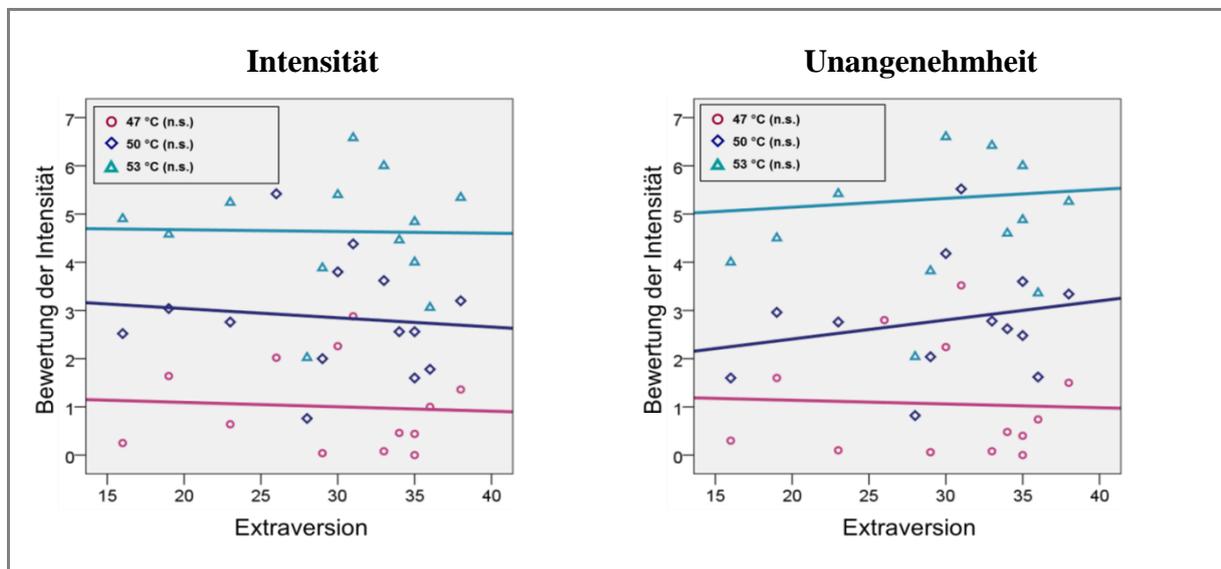


Abbildung 21: Zusammenhang der Bewertungen nach physikalisch definierten Reizen mit dem Persönlichkeitsfaktor Extraversion

## 5. Diskussion

In der vorliegenden Untersuchung wurde der Einfluss der Persönlichkeit auf die Schmerzwahrnehmung untersucht. Mithilfe von Kontakthitzereizen wurden verschiedene Indikatoren für die subjektive Schmerzempfindlichkeit sowie die evozierten Potentiale von 14 gesunden Probanden zu zwei Messzeitpunkten erhoben und der Zusammenhang mit den Ergebnissen aus dem NEO-FFI untersucht. Als Maße für die subjektive Schmerzempfindlichkeit wurden dabei die Schmerz-, Unangenehmheits- und Toleranzschwellen herangezogen und auf einen Zusammenhang mit der Persönlichkeit hin überprüft. Mit dem Ziel einen möglichen Zusammenhang zwischen der Schmerzwahrnehmung und der Persönlichkeit genauer zu spezifizieren, wurden evozierte Potentiale untersucht, da bisher nur sehr wenige Studien vorliegen, die hirnpfysiologische Maße zur Beantwortung dieser Frage hinzuziehen. Eine weitere Besonderheit der vorliegenden Studie ist, dass sowohl die evozierten Potentiale nach subjektiv definierten Reizen als auch die evozierten Potentiale nach physikalisch definierten Reizen untersucht wurden. Da bei der Schmerzwahrnehmung neben den sensorisch-diskriminativen Aspekten u.a. auch affektive Einflussfaktoren eine große Rolle spielen wurde die subjektive Einschätzung der Reize nicht nur in Bezug auf die Intensität, sondern auch in Bezug auf deren Unangenehmheit im Sinne einer affektiven Bewertung erfragt und bezüglich der beschriebenen Fragestellungen ausgewertet. Die Stabilität der Schmerzwahrnehmung wurde zudem durch den Vergleich der Ergebnisse zum ersten und zweiten Messzeitpunkt überprüft.

### 5.1. Schwellenwerte als Maß für die Schmerzempfindlichkeit

Als Maße für die Schmerzempfindlichkeit wurden neben den Schmerzschwellen auch die Schwellen für die Unangenehmheit der Reize und die Toleranzschwellen zu zwei Messzeitpunkten erhoben. Die ermittelten Schmerzschwellen entsprechen ungefähr den Temperaturen, die auch in anderen Studien mit Hitzereizen gefunden wurden (Agostinho et al. 2009, Bingel et al. 2007, Sand et al. 2010, Watson et al. 2005, Übersicht bei Kuhtz-Buschbeck et al. 2010) und liegen oberhalb der von verschiedenen Autoren postulierten Entladungsgrenze für Nozizeptoren von 45°C (siehe Kap. 1.1.2.).

Die Schwellen für die Unangenehmheit der Reize lagen sehr nahe bei den Schmerzschwellen und beide Maße korrelierten hoch signifikant miteinander. Die Messung der Schwellen für die Unangenehmheit der Reize ist in bisher veröffentlichten Studien eher unüblich, sodass hier

die Studienlage sehr rar ist. Eine Unterscheidung in eine Schmerzschwelle und eine Schwelle, ab welcher der Reiz als unangenehm erlebt wird, erscheint jedoch sinnvoll, um einer Unterscheidung zwischen der sensorisch-diskriminativen und der affektiven Komponente gerecht zu werden.

Bei der Bestimmung der Toleranzschwellen für schmerzhafte Hitzereize stellt die maximal zulässige Temperatur des Stimulationsgerätes einen limitierenden Faktor dar, da abgesichert werden muss, dass durch die Stimulation keine Hautschädigungen verursacht werden. In der vorliegenden Studie ergab sich aus diesem Grund ein Deckeneffekt für die Toleranzschwelle: Mit einer Ausnahme tolerierten alle Probanden die maximale Stimulationstemperatur von 53°C. Eine Aussage über die tatsächliche Toleranzschwelle der Probanden ist daher mit diesem Versuchsaufbau nicht möglich.

## **5.2. Form der evozierten Potentiale und Bewertung der Reize**

Die in der vorliegenden Untersuchung gefundenen evozierten Potentiale nach subjektiv bzw. physikalisch definierten Reizen entsprechen ungefähr den Potentialen, die in anderen Studien mit Kontakthitzereizen gefunden wurden (Chen et al. 2006, Granovsky et al. 2008, Greffrath et al. 2007, Roberts et al. 2008).

### **5.2.1. Evozierte Potentiale nach subjektiv definierten Reizen**

Für die subjektiv definierten Reize lässt sich zu beiden Messzeitpunkten im Mittelwert über alle Probanden für den stärksten Reiz (Stimulation an der Toleranzschwelle/Maximaltemperatur) eine klare negative und eine klare positive Komponente erkennen. Für den mittleren (Stimulation an der Schmerzschwelle) und den leichtesten Reiz (Stimulation an der Wahrnehmungsschwelle) ist dagegen die Identifikation dieser Komponenten schwieriger. Dies ist vermutlich darauf zurückzuführen, dass die interindividuelle Variabilität im Vergleich zum interessierenden Potential (das für die leichten und mittleren Reize aufgrund der geringen Reizintensität eher klein sein sollte) sehr groß war. Möglicherweise waren das Signal-Rausch-Verhältnis zu gering und die interindividuelle Variabilität zu hoch um zu einer scharfen Abbildung der betreffenden Komponenten zu führen.

Erwartungsgemäß ergab sich die größte Amplitude für den stärksten Reiz. Die Höhe der Amplituden unterschied sich dabei signifikant von denen für den leichten und mittleren Reiz. Entgegen der Erwartung ließ sich jedoch kein signifikanter Unterschied zwischen dem leichten und dem mittleren Reiz nachweisen. Als Erklärung dafür kann möglicherweise die Betrachtung der subjektiven Bewertungen Aufschluss bringen: Ziel der Ableitung der evozierten Potentiale nach subjektiv definierten Reizen war es, für alle Probanden Reize mit der gleichen subjektiven Reizintensität zu untersuchen. Idealerweise sollten die Versuchspersonen alle für den leichten Reiz eine „gerade wahrnehmbare“, für den mittleren Reiz eine „gerade schmerzhaft“ und für den stärksten Reiz eine gerade noch tolerierbare Empfindung spüren. Betrachtet man die Intensitätseinschätzungen, so lagen die Bewertungen für den leichten und mittleren Reiz jedoch jeweils deutlich unter diesen Zielbewertungen. So ergab sich zum ersten Messzeitpunkt für den leichten Reiz ein mittlerer Skalenwert von 0.27 und für den mittleren Reiz ein Wert von 1.5. Zum zweiten Messzeitpunkt lagen die Einschätzungen im Mittel bei 0.19 (Leichter Reiz) und 1.9 (Mittlerer Reiz). D.h. die eingeschätzte Intensität der Reize lag unter der Schmerzschwelle (Skalenwert Schmerzschwelle = 2). Möglicherweise waren die leichten und mittleren Reize für die Probanden (z.B. aufgrund von Habituationsprozessen) tatsächlich nicht schmerzhaft, sodass ein klar abgrenzbares Schmerzpotential nicht erzielt wurde oder der subjektive Unterschied zwischen den beiden („nicht-schmerzhaften“) Reizstärken war zu gering, um zu einem in den evozierten Potentialen beobachtbaren Verarbeitungsunterschied zu führen. Die starken Reize (Stimulation an der Toleranzschwelle/Maximaltemperatur) wurden dagegen von fast allen Probanden als schmerzhaft eingeschätzt (Mittelwert zum ersten Messzeitpunkt: 3.7, Mittelwert zum zweiten Messzeitpunkt: 3.9), was den signifikanten Unterschied der Amplituden für den starken Reiz im Vergleich zu den beiden Reizen mit der geringeren Intensität plausibel macht.

### 5.2.2. Evozierte Potentiale nach physikalisch definierten Reizen

Bei den über alle Probanden gemittelten evozierten Potentialen nach physikalisch definierten Reizen ließ sich für alle drei Stimulationstemperaturen eine klare negative und positive Komponente im definierten Zeitintervall identifizieren. Die Amplitudenbeträge an Cz stiegen für beide Komponenten erwartungsgemäß mit der Höhe der Stimulationstemperatur. Dabei waren alle Einzelvergleiche signifikant. Auch andere Autoren fanden unter Verwendung von

Kontakthitzereizen größere Amplituden für höhere Stimulationstemperaturen (Granovsky et al. 2008, Greffrath et al. 2007, Warbrick et al. 2009).

Die subjektiven Intensitätseinschätzungen lagen für die leichten Reize (47°C) im Mittel unter der Schmerzschwelle während die beiden stärkeren Reize (50 °C und 53 °C) von den Probanden als schmerzhaft bewertet wurden. Granovsky et al. 2008 konnten im Gegensatz dazu bereits bei einer Stimulationstemperatur von 43° C schmerzhafte Empfindungen bei den Probanden nachweisen. Möglicherweise spielt hierbei die Tatsache eine Rolle, dass die Probanden in unserer Studie zum Zeitpunkt der Ableitung der evozierten Potentiale nach physikalisch gleichen Reizen bereits eine lange Serie von Reizen hinter sich hatten. Verschiedene Autoren konnten Habituationseffekte im Sinne einer Verminderung der Intensitätseinschätzungen (Bingel et al. 2007, Gallez et al. 2005, Quiton & Greenspan 2008, Rodriguez-Raecke et al. 2010) und der evozierten Potentiale (Greffrath et al. 2007) bei anhaltender oder wiederholter Stimulation mit schmerzhaften Kontakthitzereizen nachweisen. Denkbar wäre, dass hier bereits ein deutlicher Habituationseffekt aufgetreten ist und die Probanden die Reize deshalb bei 47° C nicht mehr als schmerzhaft wahrnahmen.

Möglich wäre auch, dass sich durch die zusammengefassten Schmerzbewertungen nach jedem Versuchsdurchgang mit 50 Reizen Schwierigkeiten bei der Einschätzung der Reize ergeben haben. So wäre es vorstellbar, dass die Probanden die Reize mit gleicher Temperatur nicht als exakt gleich schmerzhaft bewerteten und teilweise Reize der mittleren Temperatur zuordneten, die tatsächlich die geringste Temperatur aufwiesen (z.B. Reize bei 47°C die als gerade schmerzhaft wahrgenommen wurden versus Reize die als nicht schmerzhaft eingeschätzt wurden). Insgesamt hätte das die Folge, dass die Schmerzintensität der Reize mit der geringsten Temperatur unterschätzt worden wäre.

Verschiedene Autoren konnten einen positiven Zusammenhang zwischen den Amplituden und den subjektiven Intensitätseinschätzungen nach schmerzhaften Kontakthitzereizen nachweisen (Chao et al. 2007, Moont et al. 2011, Roberts et al. 2008). Während für die subjektiven Reize welche idealerweise von allen Probanden gleich bewertet werden sollten, ein solcher Zusammenhang eher nicht zu erwarten ist, ist die Berechnung dieser Korrelationen für die physikalischen Reize sinnvoller. In der vorliegenden Studie zeigte sich für die negative Komponente nach Stimulation mit 47°C ein negativer Zusammenhang zwischen dem Amplitudenbetrag und den Bewertungen für die Intensität und Unangenehmheit und für die positive Komponente ein positiver Zusammenhang nach Stimulation mit 50 °C

(Unangenehmheit) und 53 °C (Intensität und Unangenehmheit). Auffällig ist dabei, dass sich für die für nahezu alle Versuchspersonen nicht-schmerzhaften Reize bei 47 °C ein Zusammenhang mit der negativen Komponente ergab und zwar so, dass geringere Amplitudenbeträge mit höheren Schmerzbewertungen einhergingen. Bei den für alle Versuchspersonen schmerzhaften Reizen bei 50 °C und 53 °C ergab sich dagegen ein Zusammenhang mit der positiven Komponente, d.h. erwartungsgemäß gingen hier große Amplituden auch mit höheren Bewertungen einher. Möglicherweise geht in die negative Komponente bei den Reizen geringer Intensität ein schmerzmodulierender hemmender Prozess ein, der je stärker er ausfällt, zu umso geringeren Schmerzbewertungen führt und z.B. auch direkt zu einer verringerten Aufmerksamkeit auf den aktuellen Reiz führen könnte. Der schmerzhemmende Prozess könnte z.B. durch eine verstärkte Aktivität des orbitofrontalen Kortex oder anderer (prefrontaler) Regionen vermittelt sein, die eine schmerzmodulierende Funktion aufweisen (Chen 2007, Lorenz et al. 2003, Wiech et al. 2008). Moont et al. 2011 fanden in einer LORETA-Studie mit Kontakthitzereizen im Zeitfenster zwischen 250 und 450 ms unter anderem eine verstärkte Aktivierung des orbitofrontalen Kortex wenn ein konkurrierender schmerzhafter Reiz verabreicht wurde. Eine erhöhte Aktivität im orbitofrontalen Kortex ging dabei mit einer verstärkten Analgesie für die Testreize einher.

Für die stärkeren Reize (50°C und 53°C) könnte der hemmende Prozess aufgrund der höheren (schmerzhaften und „potentiell gewebeschädigenden“) Reizintensität möglicherweise weggefallen sein, sodass ein Zusammenhang zwischen den Bewertungen mit der negativen Komponente für diese Reizstärken nicht nachzuweisen war. Denkbar wäre, dass bei den beiden höheren Reizstärken z.B. schmerzspezifische Aufmerksamkeitsprozesse relevanter waren, die in Übereinstimmung mit anderen Studien zu dem positiven Zusammenhang der positiven Komponente mit den Schmerzbewertungen geführt haben (Chao et al. 2007, Moont et al. 2011, Roberts et al. 2008). Möglich wäre auch, dass bei schmerzhaften Reizen eine stärkere affektive Verarbeitung für Reize mit einer höheren subjektiven Intensität stattfindet, was zu den größeren Amplitudenausprägungen der positiven Komponente beigetragen haben könnte. In EEG-Studien, in denen die Generatoren der evozierten Potentiale nach schmerzhaften (Laser-)Hitzereizen untersucht wurden, konnte sehr konsistent eine Aktivierung im anterioren Gyrus cinguli im Zeitintervall der positiven Komponente nachgewiesen werden (Übersicht bei Garcia-Larrea et al. 2003). Der anteriore Gyrus cinguli scheint als Bestandteil des limbischen Systems vor allem an der affektiven Verarbeitung der

Schmerzinformation beteiligt zu sein (Übersichten bei Garcia-Larrea et al. 2003, Ploner & Schnitzler 2004).

### **5.3. Analyse der Generatoren der evozierten Potentiale nach subjektiv definierten Reizen zum ersten Messzeitpunkt**

Bisher liegen nur wenige Untersuchungen vor, die die evozierten Potentiale nach einfachen Schmerzreizen mithilfe von LORETA untersuchen. Einige dieser Untersuchungen beziehen sich lediglich auf die Unterschiede zwischen verschiedenen Versuchsbedingungen, sodass diese nicht direkt mit den hier vorliegenden Ergebnissen vergleichbar sind (Brown & Jones 2010, Brown et al. 2008, Moont et al. 2011, Nir et al. 2008).

In der meines Wissens nach einzigen publizierten LORETA-Studie, in der die einzelnen Komponenten der evozierten Potentiale getrennt untersucht wurden, um die schmerzrelevanten Regionen zu identifizieren, fanden sich für die N2 nach Laserhitzeereizen beidseitige Aktivierungen im cingulären Kortex, mit einer maximalen Aktivierung im Brodmann Areal 24 sowie beidseitige Aktivierungen im supplementärmotorischen Areal, im präfrontalen Kortex, in der Insula sowie dem sensomotorischen Kortex mit Ausbreitung bis zum Brodmann Areal 40 (Perchet et al. 2008). Aktivierungen im cingulären Kortex sowie im Brodmann-Areal 40 fanden sich auch für das Zeitintervall der negativen Komponente in der hier vorliegenden Untersuchung. Die stärksten Aktivierungen fanden sich allerdings im Temporallappen (Brodmann Areal 37 und 20). Diese beiden Areale wurden bisher in Bildgebungsstudien im Zusammenhang mit Schmerz nur selten identifiziert. Dabei ist zu beachten, dass Untersuchungen mit fMRT und PET zu einer deutlich geringeren zeitlichen Auflösung des Signals führen als die Untersuchung von evozierten Potentialen, sodass kurze Aktivierungen (wie dies für die negative Komponente meist der Fall ist) möglicherweise nicht identifiziert werden. Der inferiore und mittlere Gyrus temporalis und der Gyrus fusiformis wurden als höhere Assoziationskortexe charakterisiert, welche vor allem für die Integration, Klassifikation und Wiedererkennen von visueller Information zuständig sind (Gerlach et al. 2002, Mesulam 1998). Weiterhin hat der linke Temporallappen eine wichtige Funktion bei semantischen Gedächtnisprozessen, wie z.B. dem Benennen von Objekten (Brown et al. 2008, Wiggs et al. 1999). Eventuell spielen in unserer Untersuchung Gedächtnisprozesse zur Einordnung der Reize bezüglich ihrer Intensität und Unangenehmheit eine Rolle für die Aktivierungen im Temporallappen.

Für die positive Komponente fanden Perchet et al. 2008 signifikante bilaterale Aktivierungen im präfrontalen Kortex, im Gyrus cinguli, der Insula, dem supplementär motorischen Areal (Brodmann-Areal 6) und dem sensomotorischen Kortex bis zum Brodmann-Areal 40. Auch in der hier vorliegenden Untersuchung fanden sich Aktivierungen in der Insula, dem supplementär-motorischen Areal (Brodmann-Areal 6) und im inferioren Parietallappen (Brodmann-Areal 40) für das Zeitintervall der positiven Komponente. Diese Areale konnten auch in weiteren Studien mit bildgebenden Verfahren im Zusammenhang mit der Schmerzwahrnehmung nachgewiesen werden (Übersichten bei Chen 2007, Peyron et al. 2000, Rainville 2002). Die stärkste Aktivierung fand sich im posterioren cingulären Kortex (Brodmann-Areal 31). Aktivierungen des posterioren cingulären Kortex im Zusammenhang mit schmerzhaften Reizen wurden auch in anderen Studien nachgewiesen (Bentley et al. 2003, Gelnar et al. 1999, Tracey et al. 2000). Auch Tolle et al. 1999 fanden in einer PET-Studie u.a. einen erhöhten zerebralen Blutfluss im posterioren cingulären Kortex nach schmerzhaften Kontakthitzereizen. Sie konnten eine positive Korrelation zwischen der neuronalen Aktivierung im rechten posterioren cingulären Kortex (Brodmann-Areal 23 und 31) und der wahrgenommenen Schmerzintensität nachweisen. Eine solche Korrelation konnte für die Unangenehmheit der Reize nicht nachgewiesen werden, was für eine eher sensorisch-diskriminative Funktion des posterioren cingulären Kortex bei der Schmerzverarbeitung spricht. Auch andere Autoren unterstützen die Hypothese einer Beteiligung des posterioren cingulären Kortex an der sensorisch-diskriminativen Verarbeitung von Schmerzen (Bromm 2004 und Vogt et al. 1992), wohingegen der anteriore cinguläre Kortex vor allem an der affektiven Verarbeitung von Schmerzen beteiligt ist (Vogt et al. 1992, Xie et al. 2009).

Eine Beteiligung der Amygdala an der Verarbeitung von Schmerzen wurde vielfach nachgewiesen (Bingel et al. 2002, Bornhövd et al. 2002, Schneider et al. 2001). Die hier gefundene Aktivierung im Bereich der Amygdala steht im Einklang mit diesen Studien. Die Amygdala spielt vor allem für die emotionale Schmerzverarbeitung und Vermeidungsreaktionen im Zusammenhang mit Schmerzen eine wichtige Rolle (Bingel et al. 2002, Bornhövd et al. 2002, Neugebauer et al. 2004). Aktivierungen im orbitofrontalen Kortex wie in der hier vorliegenden Untersuchung (Brodmann-Areal 11) finden sich seltener, wurden jedoch auch in einigen anderen Studien beschrieben (Moont et al. 2011, Rolls et al. 2003). Neben den auch im Zeitintervall der negativen Komponenten gefundenen Aktivierungen des Gyrus fusiformis fanden sich in unserer Studie außerdem Aktivierungen in weiteren limbischen Strukturen (Uncus und Gyrus parahippocampalis) welche im

Zusammenhang mit der affektiven Verarbeitung der Schmerzreize zu erklären sind (Roy et al. 2009).

Die Unterschiede in den aktivierten Arealen und der oben beschriebenen Untersuchung von Perchet et al. 2008 sind möglicherweise auf methodische Unterschiede im Vergleich zu der hier vorliegenden Untersuchung zurückzuführen. So verwendeten Perchet et al. 2008 Laserhitzereize, mit einer Intensität knapp über der Schmerzschwelle, während in der hier vorliegenden Studie Kontakthitzereize mit der Maximaltemperatur von 53°C verwendet wurden.

## **5.4. Stabilität der Schmerzwahrnehmung über die Zeit**

### **5.4.1. Schwellenwerte**

In der vorliegenden Untersuchung ergab sich weder für die Wahrnehmungsschwellen, noch für die Schmerzschwellen und die Schwellen für die Unangenehmheit der Reize ein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Messzeitpunkten. Dies spricht für eine hohe Stabilität und Reproduzierbarkeit der untersuchten Schwellenwerte. Die Ergebnisse stehen im Einklang mit anderen Studien in denen keine Unterschiede in den Wahrnehmungs- und Schmerzschwellen für Hitzereize nach 2 Tagen (Agostinho et al. 2009), 7 Tagen (Heldestad et al. 2010) und 2-4 Wochen (Meier et al. 2001) bzw. hohe Korrelationen dieser Schwellenwerte zwischen mehreren Messzeitpunkten (im Abstand von 1 und 3 Wochen) gefunden wurden (Stahl et al. 2006, Wasner & Brock 2008).

### **5.4.2. Evozierte Potentiale nach subjektiv definierten Reizen**

Gegensätzliche Ergebnisse dazu lieferte die Auswertung der evozierten Potentiale in Bezug auf die Stabilität über die Zeit. Hier zeigten sich im Mittel für die positive Komponente signifikant höhere Amplituden zum ersten im Vergleich zum zweiten Messzeitpunkt. Bisher liegen nur wenige publizierte Studien vor, in denen die Stabilität der Amplituden nach Schmerzreizen systematisch untersucht wurde. Roberts et al. 2008 fanden keine Unterschiede in den Amplituden der evozierten Potentiale zu zwei Messzeitpunkten. Auch in einer Studie von Howard et al. 2006 fand sich eine gute Reproduzierbarkeit der evozierten Potentiale. Ebenso fanden Atherton et al. 2007 zu zwei Messzeitpunkten am gleichen Tag keine

Unterschiede in den evozierten Potentialen nach schmerzhaften Reizen. Eine Erklärung für die mit den bisher publizierten Studien nicht konsistenten Ergebnisse könnten die unterschiedlichen zeitlichen Abstände sein, die bei den Studien von Howard et al. 2006 und Roberts et al. 2008 nicht angegeben sind und in der Studie von Atherton et al. 2007 nur zwei Tage betragen im Vergleich zu vier Wochen in der hier vorliegenden Studie. Allerdings fanden auch Kazarians et al. 1995 keine Unterschiede in den Amplituden der evozierten Potentiale im Abstand von 4 Wochen.

Möglich wäre, dass hier ein „publication bias“ eine Rolle spielt, d.h. dass Untersuchungen, die eine Reproduzierbarkeit der Ergebnisse nicht nachweisen auch nicht publiziert wurden. Dafür spricht die unerwartete geringe Anzahl an Studien, die Daten zu diesem Thema publizieren.

Die Stimulationstemperaturen für die Ableitung der evozierten Potentiale nach subjektiv gleichen Reizen wurden so gewählt, dass sie den Schwellenwerten zum ersten Messzeitpunkt entsprachen, um einerseits subjektiv gleich starke Reize für alle Probanden zu verwenden und andererseits eine Vergleichbarkeit zwischen den beiden Messzeitpunkten zu gewährleisten. Diese Methode kann sich dann nachteilig auswirken, wenn sich die Schmerzempfindlichkeit zu beiden Messzeitpunkten unterscheiden und somit die Stimulation mit den Schwellenwerten vom ersten Messzeitpunkt bei der Stimulation zum zweiten Messzeitpunkt nicht mehr zu subjektiv den gleichen Empfindungen führt. In der vorliegenden Untersuchung unterschieden sich zwar die Schwellenwerte nicht signifikant voneinander, es lag jedoch ein Trend in Richtung einer höheren Schmerzschwelle (d.h. einer geringeren Schmerzempfindlichkeit) zum zweiten Messzeitpunkt vor. Geht man davon aus, dass die Amplituden der evozierten Potentiale nach schmerzhafter Stimulation mit der subjektiven Empfindung korrelieren (Chao et al. 2007, Roberts et al. 2008), so läge es nahe, dass die Unterschiede in den Amplituden zu den beiden Messzeitpunkten auf eine eventuell in den Schwellenwerten nicht erkannte, weil zu geringen Unterschied in der Schmerzempfindlichkeit zurückzuführen sind. Zu erwarten wäre dann, dass sich auch die subjektiven Schmerzbewertungen zwischen den beiden Messzeitpunkten unterscheiden. Dies war jedoch nicht der Fall. Weder für die Einschätzung der Schmerzintensität noch für die Einschätzung der Unangenehmheit der Reize ergaben sich signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Messzeitpunkten. Möglich wäre in diesem Fall auch, dass auch der Unterschied in den subjektiven Bewertungen zu klein war, um bei einer so kleinen Stichprobe als signifikanter Unterschied nachgewiesen zu werden. Allerdings ließ sich auch zwischen der Differenz der Amplituden zu beiden Messzeitpunkten und der

Differenz der Bewertungen zu beiden Messzeitpunkten kein signifikanter linearer Zusammenhang nachweisen, d.h. die Variation der Amplituden zwischen den beiden Messzeitpunkten scheint unabhängig von der Variation der Bewertungen aufgetreten zu sein.

Eine mögliche Ursache für die Unterschiede in den Amplituden könnten Habituationseffekte sein. Verschiedene Autoren fanden verringerte evozierte Potentiale im Bereich des N2P2-Komplexes nach wiederholter Stimulation und führen diese auf Habituationsprozesse zurück (de Tommaso et al. 2011, Greffrath et al. 2007). Denkbar wäre, dass sich zum zweiten Messzeitpunkt eine höhere Habituationsrate ergab als zum ersten Messzeitpunkt, denn zu diesem Zeitpunkt sind die Reize den Probanden ja bereits bekannt. Läge zum zweiten Messzeitpunkt eine schnellere Habituationsrate vor, so wäre zu erwarten, dass sich für die über alle Reize gemittelten Amplituden zum zweiten Messzeitpunkt geringere Werte ergeben, als zum ersten Messzeitpunkt, wie dies in der vorliegenden Untersuchung der Fall war. Gegen einen solchen Habituationseffekt spricht allerdings, dass sich die Unterschiede zwischen den Messzeitpunkten in den subjektiven Bewertungen der Probanden nicht nachweisen ließen. Weder für die Unangenehmheit noch für die Intensität der Reize ergab sich ein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Messzeitpunkten. Möglicherweise sind Habituationseffekte zum zweiten Messzeitpunkt nur in den elektrophysiologischen Parametern nachweisbar, weil bei den subjektiven Einschätzungen der Reize weitere Einflussfaktoren (z.B. kognitive Prozesse) relevanter sind. So wäre es zum Beispiel denkbar, dass die Probanden sich an Ihre Intensitätseinschätzungen aus der ersten Messung erinnerten und versuchten, diese zum zweiten Messzeitpunkt ähnlich anzugeben.

Dass sich der Unterschied in den Amplituden nur für die positive Komponente nachweisen ließ, könnte auch für eine stärkere affektive Verarbeitung zum ersten Messzeitpunkt sprechen. Wie bereits oben erwähnt, wurde die positive Komponente in früheren Untersuchungen eng mit der affektiven Verarbeitung der Schmerzinformation in Verbindung gebracht (Garcia-Larrea et al. 2003). Möglicherweise waren die Probanden zum ersten Messzeitpunkt ängstlicher als zum zweiten Messzeitpunkt, da ihnen der Versuchsablauf noch nicht bekannt war und sie keine Information über die Stärke der noch zu erwartenden Schmerzen hatten.

## **5.5. Zusammenhang der Schmerzwahrnehmung mit dem Persönlichkeitsfaktor Neurotizismus**

### 5.5.1. Schwellenwerte

Für die Skala Neurotizismus aus dem NEO-FFI ergab sich zu keinem der beiden Messzeitpunkte eine signifikante Korrelation mit den untersuchten Schwellenwerten. Die Hypothese, dass hohe Werte auf dem Persönlichkeitsfaktor Neurotizismus sowohl mit niedrigen Schmerzschnellen für die Unangenehmheit der Reize als auch mit niedrigen Schmerzschnellen für die Intensität der Reize einhergehen, konnte somit nicht bestätigt werden.

### 5.5.2. Evozierte Potentiale nach subjektiv definierten Reizen

Die Auswertung der evozierten Potentiale nach subjektiv definierten Reizen ergab dagegen zum ersten Messzeitpunkt einen signifikanten Zusammenhang der Amplitude der positiven Komponente an Cz mit dem Neurotizismus bei Stimulation mit der mittleren Reizstärke (Stimulation an der Schmerzschnelle). Personen mit hohen Neurotizismuswerten zeigten damit höhere Amplituden bei Stimulation an der Schmerzschnelle als Personen mit niedrigen Neurotizismuswerten. Diese Ergebnisse stehen im Einklang mit anderen Studien in denen ein Zusammenhang zwischen dem Neurotizismuswert und der Schmerzwahrnehmung gefunden wurde, in denen jedoch keine evozierten Potentiale untersucht wurden (Affleck et al. 1992, Asghari & Nicholas 2006, Goubert et al. 2004, Harkins et al. 1989, Ramirez-Maestre et al. 2004, Raselli & Broderick 2007, Wade et al. 1992). Vossen et al. 2006 fanden (in der bisher einzigen Studie, in der evozierte Potentiale in diesem Zusammenhang untersucht wurden) ebenfalls höhere Amplituden bei höheren Neurotizismuswerten nach Stimulation an der Schmerzschnelle. Zum zweiten Messzeitpunkt waren diese Korrelationen in der hier vorliegenden Untersuchung nicht mehr nachweisbar. Bei der zweiten Messung war der Neurotizismuswert ganz offensichtlich für die Ausprägung der Amplituden der positiven Komponente nicht mehr so relevant.

Wären die höheren Amplituden ein Effekt der unterschiedlichen physikalischen Reizintensität (z.B. aufgrund einer nicht gelungenen Vereinheitlichung der subjektiven Empfindungen) so wäre zu erwarten, dass der Zusammenhang zwischen Neurotizismus und den Amplituden auch zum zweiten Messzeitpunkt nachweisbar ist. Dies ist jedoch nicht der Fall.

Für die Ratings der Versuchspersonen nach Stimulation mit subjektiv definierten Reizen zeigte sich im Gegensatz zu der Untersuchung von Vossen et al. 2006 in der hier vorliegenden Untersuchung zum ersten Messzeitpunkt ein deutlicher Zusammenhang mit dem Neurotizismus: Versuchspersonen mit hohen Neurotizismuswerten schätzten die stärksten Reize als intensiver und unangenehmer ein als Personen mit niedrigen Neurotizismuswerten. Auch für die mittlere Reizstärke ergab sich ein solcher Zusammenhang für das Intensitätsrating. Während sich ein Zusammenhang der Schmerzwahrnehmung mit dem Neurotizismuswert in den Schwellenwerten nicht nachweisen ließ, erschien dieser für die Schmerzbewertungen besonders prägnant (hochsignifikante Korrelationen für die stärksten Reize). Weiterhin ist auffällig, dass auch dieser Zusammenhang zum zweiten Messzeitpunkt weniger deutlich war. Hier ließ sich lediglich eine signifikante Korrelation des Neurotizismuswertes mit der Intensitätseinschätzung für den stärksten Reiz nachweisen, die jedoch geringer war als zum ersten Messzeitpunkt. Alle anderen Korrelationen des Neurotizismuswertes mit den Ratings zum zweiten Messzeitpunkt waren nicht signifikant. Das heißt, sowohl für die Amplituden als auch für die Intensitätsratings war der Zusammenhang mit dem Neurotizismus zum zweiten Messzeitpunkt weniger deutlich als zum ersten Messzeitpunkt bzw. nicht mehr vorhanden. Definitionsgemäß spiegelt die Persönlichkeitsdimension Neurotizismus Unterschiede in der emotionalen Stabilität insbesondere auch im Zusammenhang mit negativen Emotionen wider (Borkenau & Ostendorf 1993, Costa & McCrae 1989). Personen mit hohen Neurotizismuswerten reagieren stärker auf Stresssituationen. Hier könnte eine Erklärung für die unterschiedlichen Ergebnisse zum ersten und zweiten Messzeitpunkt liegen: Vermutlich war die Untersuchungssituation für die Versuchspersonen zum ersten Messzeitpunkt mit deutlich mehr Stress verbunden als zum zweiten Messzeitpunkt, denn bei der ersten Messung kannten sie die Abläufe noch nicht und auch die Intensität der angekündigten Schmerzreize war noch unbekannt. Eventuell führten diese Unterschiede dazu, dass die Dimension Neurotizismus zum ersten Messzeitpunkt mehr Gewicht hatte als zum zweiten Messzeitpunkt. Dass sich die Unterschiede im Neurotizismus in den Schwellenwerten nicht nachweisen ließen, obwohl sich in den Intensitätsratings Unterschiede ergaben, ist überraschend. Möglicherweise wurde allerdings auch die Schwellenbestimmung (bei der der Versuchsleiter mit im Raum sitzt und die Intensität der Reize langsam zunimmt) von den Probanden als weniger stressig wahrgenommen, als die Ableitung der evozierten Potentiale, bei der der Proband alleine im Zimmer saß und sich Reize hoher Intensität in für den Probanden unvorhersehbarer Reihenfolge mit Reizen niedriger Intensität abwechselten. Dies könnte erklären, warum die Persönlichkeitsdimension

Neurotizismus für die Schwellenwerte nicht relevant war, während sich mit den Amplituden und subjektiven Einschätzungen ein Zusammenhang ergab.

### 5.5.3. Evozierte Potentiale nach physikalisch definierten Reizen

Für die physikalisch definierten Reize ergab sich für die Amplituden lediglich für die negative Komponente bei der niedrigsten Stimulationstemperatur ein Zusammenhang mit dem Neurotizismus. Probanden mit hohem Neurotizismuswert zeigten vom Betrag her eine größere Amplitude als Probanden mit niedrigem Neurotizismuswert. Auch die Berechnung des Zusammenhangs zwischen dem Neurotizismuswert und den subjektiven Bewertungen ergab nur für die niedrigste Stimulationstemperatur eine signifikante Korrelation, allerdings sowohl für die Intensität als auch für die Unangenehmheit der Reize. Auffällig ist, dass hier ein negativer Zusammenhang besteht, d.h. ein hoher Neurotizismuswert ging mit niedrigen Bewertungen der Reize einher und umgekehrt. Personen mit hohen Neurotizismuswerten zeigten damit größere Amplituden der negativen Komponente, berichteten aber eine geringere Reizintensität.

Eine mögliche Erklärung für die unerwarteten Ergebnisse bezüglich des Zusammenhangs zwischen den Amplituden und dem Neurotizismuswert nach physikalisch definierten Reizen stellt das oben beschriebene mögliche Problem der Zuordnung der Reize bei der subjektiven Bewertung dar. Geht man davon aus, dass Personen mit hohen Neurotizismuswerten tatsächlich schmerzempfindlicher sind (u.a. Affleck et al. 1992, Goubert et al. 2004, Harkins et al. 1989, Ramirez-Maestre et al. 2004, Wade et al. 1992), so wäre denkbar, dass diese Personen hier auch fälschlicherweise mehr Reize der geringsten Reizstärke als mittlere Reizstärke klassifizierten und damit die Intensität der leichten Reize unterschätzten. Dies könnte zumindest die negative Korrelation der Schmerzbewertungen mit dem Neurotizismuswert erklären. Im Gegensatz dazu steht jedoch der nur bei dieser Reizstärke aufgetretene positive Zusammenhang zwischen dem Neurotizismuswert und den Amplitudenbeträgen der negativen Komponente. Hier werden möglicherweise weitere Forschungsarbeiten mit einer differentiellen Auswertung der Amplituden nach schmerzhaften und nicht-schmerzhaften Reizen und einer für jeden Reiz einzeln geforderten Einschätzung der subjektiven Bewertung sowie die Untersuchung des Einflusses des Persönlichkeitsfaktors Neurotizismus auf die subjektive Bewertung von Schmerzen mehr Aufschluss bringen.

Geht man andererseits von der oben beschriebenen Hypothese aus, dass ein über den orbitofrontalen Kortex bzw. andere (präfrontale) Regionen vermittelter (schmerz-) hemmender Prozess (Chen 2007, Lorenz et al. 2003, Wiech et al. 2008, Moont et al. 2011) für die höheren Amplituden der negative Komponente im Zusammenhang mit den niedrigeren Bewertungen bei den Reizen mit geringer Intensität verantwortlich ist, so könnte dies bedeuten, dass die Personen mit hohen Neurotizismuswerten bei den leichten Reizen stärkere inhibitorische Prozesse aufwiesen und damit geringere Bewertungen abgaben als Personen mit niedrigen Neurotizismuswerten. Dass sich für die beiden höheren Reizintensitäten kein Zusammenhang mit dem Neurotizismuswert ergab, spricht für die oben beschriebene Hypothese, dass Patienten mit hohen Neurotizismuswerten die Schmerzreize insbesondere in neuen Situationen stärker affektiv verarbeiten. Für die physikalisch definierten Reize, welche als letzte Versuchsbedingung zum zweiten Messzeitpunkt erhoben wurden, wäre der Neurotizismuswert für die affektive Verarbeitung damit nicht mehr relevant. Sowohl die Hypothese, dass Reize verschiedener Intensität (nicht bis leicht schmerzhaft versus deutlich schmerzhaft) in Abhängigkeit vom Neurotizismuswert unterschiedlich verarbeitet werden, als auch die Hypothese einer stärkeren affektiven Verarbeitung in neuen Situationen bei Personen mit hohen Neurotizismuswerten könnte zur Erklärung der sehr inkonsistenten bisherigen Studienergebnisse bezüglich des Zusammenhangs zwischen Neurotizismus und Schmerz beitragen.

## **5. 6. Zusammenhang der Schmerzwahrnehmung mit dem Persönlichkeitsfaktor Extraversion**

Für den Persönlichkeitsfaktor Extraversion ergab sich weder mit den Schwellenwerten noch mit den Amplituden in beiden Bedingungen noch mit den Schmerzbewertungen eine signifikante Korrelation. Mit den hier vorliegenden Daten konnte somit der in den Studien von Ramirez-Maestre et al. 2004 und Ferracuti & De Carolis 2005 gefundene Zusammenhang des Persönlichkeitsfaktors Extraversion mit der Schmerzwahrnehmung nicht nachgewiesen werden. Allerdings wurden in der oben genannten Studie von Ramirez-Maestre et al. 2004 chronische Schmerzpatienten untersucht, und nicht wie in der hier vorliegenden Studie gesunde Probanden. Ferracuti & De Carolis 2005 untersuchten im Gegensatz zu den hier vorliegenden Daten die Schmerztoleranz ihrer Probanden, so dass auch diese Ergebnisse nicht direkt mit unseren Ergebnissen vergleichbar sind. Konsistent mit den hier vorliegenden Ergebnissen fanden weder Wade et al. 1992 und Harkins et al. 1989 noch BenDebba et al.

1997 und Asghari & Nicholas 2006 einen Zusammenhang des Persönlichkeitsfaktors Extraversion mit der Schmerzintensität bei chronischen Schmerzen.

### **5.7. Grenzen der Studie**

Eine große Einschränkung der vorliegenden Studie stellt vermutlich die geringe Versuchspersonenzahl dar. Allerdings ist der Versuchsaufbau mit einer Ableitung der evozierten Potentiale und zwei Messzeitpunkten sehr aufwendig. Da bisher nur eine einzige weitere Studie zum Zusammenhang der Persönlichkeit mit den evozierten Potentialen nach schmerzhaften Reizen vorliegt war es sinnvoll, die Versuchsbedingungen vorerst mit einer eher geringen Versuchspersonenzahl auf ihre Machbarkeit und Anwendbarkeit auf die Fragestellung zu überprüfen. Die Studie kann somit als Pilotstudie angesehen werden, deren Ergebnisse in weiteren Forschungsarbeiten überprüft werden sollten. Die geringe Versuchspersonenzahl führte vermutlich auch zu einer eher geringen Power der Untersuchungsergebnisse, was eine Erklärung für die nichtverifizierbaren Hypothesen (z.B. Zusammenhang zwischen Schwellenwerten und Neurotizismus etc.) darstellen könnte. Die geringe Versuchspersonenzahl ist vermutlich auch dafür verantwortlich, dass in vielen Variablen einzelne (oft unterschiedliche) Ausreißer ausgeschlossen werden mussten, was die Vergleichbarkeit der verschiedenen Teilergebnisse untereinander deutlich einschränkt. Ein Ausschluss solcher Extremwerte ist jedoch sinnvoll, um einen zu großen Einfluss einzelner Werte auf die untersuchten korrelativen Zusammenhänge zu vermeiden.

Wie oben beschrieben, ist es möglich, dass die Versuchspersonen bei der subjektiven Bewertung der Reize für die Ableitung der evozierten Potentiale Schwierigkeiten hatten, die Reize den jeweiligen Reizstärken zuzuordnen. Dies könnte zu einer Verzerrung der subjektiven Bewertungen geführt haben. So ist es möglich, dass die Einschätzung der Reize mit der geringsten Intensität zu niedrig ausfiel, weil als stärker schmerzhaft wahrgenommene Reize der gleichen (niedrigsten) Temperatur fälschlicherweise der mittleren Reizstärke zugeordnet wurden. Das Vorgehen einer zusammenfassenden Bewertung wurde gewählt, um eine Störung der Signalaufzeichnung, z.B. durch Bewegungsartefakte beim Ankreuzen oder Ansagen der subjektiven Einschätzung zu vermeiden. Auch auf eine Information der Probanden bezüglich der Höhe der Temperatur bzw. der Reizintensität wurde bewusst verzichtet, um nicht einen Erwartungseffekt zu provozieren. Ein Vergleich der Einschätzungen bei zusammenfassender Bewertung mit denen bei der Bewertung einzelner

Reize in einer separaten Untersuchung könnte vermutlich Aufschluss bringen, ob die beschriebenen Zuordnungsprobleme tatsächlich relevant sind.

Die evozierten Potentiale nach physikalisch gleichen Reizen wurden nur zum zweiten Messzeitpunkt erhoben, um für die Untersuchung der Stabilität der Reize bei den subjektiv gleichen Reizen möglichst gleiche Bedingungen zu schaffen und soweit wie möglich eine Verzerrung der Ergebnisse durch Habituationsprozesse, Lernprozesse o.ä. zu vermeiden. Bei der hier untersuchten Fragestellung ergab sich allerdings ein Unterschied zwischen dem Einfluss des Persönlichkeitsfaktors Neurotizismus auf die Schmerzwahrnehmung zum ersten und zum zweiten Messzeitpunkt. Eine Untersuchung des Zusammenhangs zwischen Neurotizismus und den evozierten Potentialen nach physikalisch gleichen Reizen wenn die Reize noch neu sind, könnte hier weitere interessante Informationen bringen.

Eine Einschränkung der Auswertbarkeit der Ergebnisse aus der vorliegenden Studie stellt auch der aufgetretene Deckeneffekte dar. Da die Maximaltemperatur des Stimulationsgerätes auf eine Temperatur beschränkt ist, bei der kein Risiko für Hautverbrennungen besteht, konnte die Toleranzschwelle bei den meisten Versuchspersonen nicht ermittelt werden. Hier ist eventuell die Verwendung von längeren Reizen sinnvoll, die dann auch bei geringeren Temperaturen zu deutlich schmerzhafteren Empfindungen führen dürfte, als die in unserer Untersuchung verwendeten sehr kurzen Reize.

## 6. Zusammenfassung

Die Schmerzwahrnehmung wird neben den rein physiologischen Reizeigenschaften durch viele weitere Aspekte beeinflusst, u.a. auch durch emotionale, kognitive und psychosoziale Prozesse. Entsprechend könnte auch die Persönlichkeit für die Schmerzverarbeitung eine Rolle spielen. Bisher wurden vor allem die Schmerzschwellen und einfache Intensitätseinschätzungen im Zusammenhang mit den Persönlichkeitsfaktoren Neurotizismus und Extraversion untersucht, die Ergebnisse sind jedoch sehr widersprüchlich. Unklar sind neben der Frage, ob ein solcher Zusammenhang überhaupt besteht auch die Fragen, welche Schmerzkomponente gegebenenfalls betroffen ist und wodurch dieser Zusammenhang zustande kommt.

Es ist davon auszugehen, dass somatosensorisch evozierte Potentiale ein objektiveres Maß für die hirnpfysiologischen Vorgänge darstellen als einfache Intensitätseinschätzungen oder die Schwellenwerte. Somatosensorisch evozierte Potentiale könnten somit weitere Informationen über die Art des Zusammenhangs zwischen der Schmerzwahrnehmung und der Persönlichkeit liefern. Allerdings wurden bisher nur in einer Studie die evozierten Potentiale nach schmerzhaften Reizen im Zusammenhang mit dem Persönlichkeitsfaktor Neurotizismus untersucht.

Ziel der vorliegenden Untersuchung war es, neben den Schwellenwerten und den einfachen Intensitätseinschätzungen auch solche evozierten Potentiale nach schmerzhaften Reizen im Zusammenhang mit den beiden Persönlichkeitsfaktoren Neurotizismus und Extraversion zu untersuchen. Dazu wurden die oben genannten Schmerzmaße für 14 gesunde Versuchspersonen ausgewertet und mit den beiden Persönlichkeitsfaktoren aus dem NEO-Fünf-Faktoren-Inventar in Beziehung gesetzt. In bisherigen Studien zur Schmerzverarbeitung war es üblich, entweder für alle Probanden Reize mit der gleichen subjektiven Intensität oder Reize mit der gleichen physikalischen Intensität zu wählen. In der vorliegenden Untersuchung wurden beide Vorgehensweisen gewählt. Daneben wurde die Reproduzierbarkeit der untersuchten Schmerzmaße nach ca. 4 Wochen überprüft.

Bezüglich der Schwellenwerte und der Schmerzbewertungen ergaben sich keine Unterschiede zwischen den beiden Messzeitpunkten. Für die Amplituden der evozierten Potentiale ergaben sich allerdings entgegen der Erwartung zum zweiten Messzeitpunkt kleinere Werte als zum ersten Messzeitpunkt. Als mögliche Erklärung kommt hier eine stärkere Habituation zum

zweiten Messzeitpunkt oder eine stärkere affektive Verarbeitung aufgrund der unbekanntem Situation zum ersten Messzeitpunkt infrage.

Bei der Untersuchung der Generatoren für die evozierten Potentiale für den stärksten Reiz zum ersten Messzeitpunkt ergab sich die stärkste Aktivierung für die negative Komponente im Temporallappen. Möglicherweise spielen hier Gedächtnisprozesse zur Einordnung der Reize bezüglich ihrer Intensität und Unangenehmheit eine Rolle. Für die positive Komponente wurde die stärkste Aktivierung im posterioren cingulären Kortex identifiziert, welchem vor allem eine Rolle bei der sensorisch-diskriminativen Verarbeitung von Schmerzen zugeordnet wird. Die in der hier vorliegenden Studie gefundenen weiteren Aktivierungen stehen zum großen Teil im Einklang mit den Ergebnissen aus anderen Studien und lassen sich verschiedenen affektiven, sensorisch-diskriminativen und kognitiven Prozessen bei der Schmerzverarbeitung zuordnen.

Für den Persönlichkeitsfaktor Neurotizismus ergab sich entgegen den Erwartungen kein Zusammenhang mit den Schwellenwerten. Dagegen ließen sich mit den Amplituden und den Schmerzbewertungen Zusammenhänge mit dem Neurotizismuswert finden, diese ließen sich allerdings nicht für alle Versuchsbedingungen nachweisen. Konsistent mit den bisherigen Studien ergab sich damit für den Persönlichkeitsfaktor Neurotizismus ein eher uneinheitliches Bild. Bezüglich der evozierten Potentiale und der Schmerzbewertungen fallen dabei zwei Aspekte auf:

1. Die Korrelationen zwischen den Amplituden und Schmerzbewertungen mit dem Neurotizismuswert waren zum zweiten Messzeitpunkt deutlich kleiner als zum ersten Messzeitpunkt oder nicht mehr vorhanden.
2. Wenn sich inkonsistente Ergebnisse zwischen den verschiedenen Reizstärken bei den physikalisch definierten Reizen ergaben, so scheint die Trennung zwischen als schmerzhaft und als nicht-schmerzhaft wahrgenommenen Reizen fast durchgängig als Erklärung infrage zu kommen.

Eine mögliche Begründung könnte eine differentielle Verarbeitung von schmerzhaften versus nicht-schmerzhaften Reizen sein, die zu einem eher inhibitorischen Prozess bei nicht-schmerzhaften Reizen und zu einem eher verstärkenden Prozess bei schmerzhaften Reizen geführt haben könnte (z.B. durch eine stärkere affektive Verarbeitung). Möglich wäre, dass dieser Prozess für Personen mit hohen Neurotizismuswerten in neuen, mit mehr Stress

verbundenen Situationen stärker auftritt als bei Personen mit niedrigen Neurotizismuswerten. Geht man von einem solchen eher komplexen Zusammenhang zwischen dem Persönlichkeitsfaktor Neurotizismus und der Schmerzwahrnehmung aus, so erscheinen auch die in bisherigen Studien gefundenen, sehr inkonsistenten Ergebnisse plausibel.

Die Untersuchung der Schmerzmaße in Verbindung mit dem Persönlichkeitsfaktor Extraversion ergibt dagegen ein sehr einheitliches Bild. Hier konnte in der vorliegenden Untersuchung mit keinem der Schmerzmaße ein Zusammenhang nachgewiesen werden.

Insgesamt stellt die Untersuchung evozierter Potentiale nach schmerzhaften Reizen eine interessante Möglichkeit dar einen potentiellen Zusammenhang mit der Persönlichkeit und insbesondere mit dem Persönlichkeitsfaktor Neurotizismus zu untersuchen. Die vorliegende Untersuchung spricht für einen solchen Zusammenhang und sollte als Pilotstudie und damit als erster Schritt angesehen werden, das komplexe Zusammenspiel zwischen der Schmerzwahrnehmung und der Persönlichkeit genauer zu beleuchten.

## 7. Literaturverzeichnis

- Affleck, G., Tennen, H., Urrows, S. & Higgins, P. (1992): Neuroticism and the pain-mood relation in rheumatoid arthritis: insights from a prospective daily study. *J Consult Clin Psychol*, 60 (1): 119-126
- Agostinho, C. M., Scherens, A., Richter, H., Schaub, C., Rolke, R., Treede, R. D. & Maier, C. (2009): Habituation and short-term repeatability of thermal testing in healthy human subjects and patients with chronic non-neuropathic pain. *Eur J Pain*, 13 (8): 779-785
- Amelang, M. & Bartussek, D. (1990): *Differentielle Psychologie und Persönlichkeitsforschung*. 3. Auflage. Stuttgart: Kohlhammer
- Asendorpf, J. (2007): *Psychologie der Persönlichkeit*. 4. Auflage. Heidelberg: Springer
- Asghari, A. & Nicholas, M. K. (2006): Personality and pain-related beliefs/coping strategies: a prospective study. *Clin J Pain*, 22 (1): 10-18
- Atherton, D. D., Facer, P., Roberts, K. M., Misra, V. P., Chizh, B. A., Bountra, C. & Anand, P. (2007): Use of the novel Contact Heat Evoked Potential Stimulator (CHEPS) for the assessment of small fibre neuropathy: correlations with skin flare responses and intra-epidermal nerve fibre counts. *BMC Neurol*, 7 21
- Beck, A. T., Ward, C. H., Mendelson, M., Mock, J. & Erbaugh, J. (1961): An inventory for measuring depression. *Arch Gen Psychiatry*, 4 561-571
- Benarroch, E. E. (2008): Descending monoaminergic pain modulation: bidirectional control and clinical relevance. *Neurology*, 71 (3): 217-221
- BenDebba, M., Torgerson, W. S. & Long, D. M. (1997): Personality traits, pain duration and severity, functional impairment, and psychological distress in patients with persistent low back pain. *Pain*, 72 (1-2): 115-125
- Bentley, D. E., Derbyshire, S. W., Youell, P. D. & Jones, A. K. (2003): Caudal cingulate cortex involvement in pain processing: an inter-individual laser evoked potential source localisation study using realistic head models. *Pain*, 102 (3): 265-271
- Bingel, U., Quante, M., Knab, R., Bromm, B., Weiller, C. & Buchel, C. (2002): Subcortical structures involved in pain processing: evidence from single-trial fMRI. *Pain*, 99 (1-2): 313-321
- Bingel, U., Schoell, E., Herken, W., Buchel, C. & May, A. (2007): Habituation to painful stimulation involves the antinociceptive system. *Pain*, 131 (1-2): 21-30
- Birbaumer, N. & Schmidt, R. F. (2003): *Biologische Psychologie*. Berlin Heidelberg New York: Springer
- Borkenau, P. & Ostendorf, F. (1993): *NEO-Fünf-Faktoren-Inventar (NEO-FFI) nach Costa und McCrae*. Göttingen: Hogrefe
- Bornhövd, K., Quante, M., Glauche, V., Bromm, B., Weiller, C. & Büchel, C. (2002): Painful stimuli evoke different stimulus-response functions in the amygdala, prefrontal, insula and somatosensory cortex: a single-trial fMRI study. *Brain*, 125 1326-1336
- Bromm, B. (2004): The involvement of the posterior cingulate gyrus in phasic pain processing of humans. *Neurosci Lett*, 361 (1-3): 245-249

- Brown, C. A. & Jones, A. K. (2010): Meditation experience predicts less negative appraisal of pain: electrophysiological evidence for the involvement of anticipatory neural responses. *Pain*, 150 (3): 428-438
- Brown, C. A., Seymour, B., Boyle, Y., El-Deredy, W. & Jones, A. K. (2008): Modulation of pain ratings by expectation and uncertainty: Behavioral characteristics and anticipatory neural correlates. *Pain*, 135 (3): 240-250
- Bushnell, M. C., Duncan, G. H., Hofbauer, R. K., Ha, B., Chen, J. I. & Carrier, B. (1999): Pain perception: is there a role for primary somatosensory cortex? *Proc Natl Acad Sci U S A*, 96 (14): 7705-7709
- Byers, M. R. & Bonica, J. J. (2001): Peripheral pain mechanisms and nociceptor plasticity. In: J. D. Loeser, S. H. Butler, C. R. Chapman & D. C. Turk (Hrsg.). *Bonica's Management of Pain* (26-72). Philadelphia: Lippincott
- Campbell, C. M. & Edwards, R. R. (2009): Mind-body interactions in pain: the neurophysiology of anxious and catastrophic pain-related thoughts. *Transl Res*, 153 (3): 97-101
- Chao, C. C., Hsieh, S. T., Chiu, M. J., Tseng, M. T. & Chang, Y. C. (2007): Effects of aging on contact heat-evoked potentials: the physiological assessment of thermal perception. *Muscle Nerve*, 36 (1): 30-38
- Chen, A. C. (2008): Pain perception and its genesis in the human brain. *Sheng Li Xue Bao*, 60 (5): 677-685
- Chen, I. A., Hung, S. W., Chen, Y. H., Lim, S. N., Tsai, Y. T., Hsiao, C. L., Hsieh, H. Y. & Wu, T. (2006): Contact heat evoked potentials in normal subjects. *Acta Neurol Taiwan*, 15 (3): 184-191
- Chen, L. M. (2007): Imaging of pain. *Int Anesthesiol Clin*, 45 (2): 39-57
- Costa, P. T., Jr. & McCrae, R. R. (1980): Somatic complaints in males as a function of age and neuroticism: a longitudinal analysis. *J Behav Med*, 3 (3): 245-257
- Costa, P. T., Jr. & McCrae, R. R. (1985a): Hypochondriasis, neuroticism, and aging. When are somatic complaints unfounded? *Am Psychol*, 40 (1): 19-28
- Costa, P. T., Jr. & McCrae, R. R. (1987): Neuroticism, somatic complaints, and disease: is the bark worse than the bite? *J Pers*, 55 (2): 299-316
- Costa, P. T. & McCrae, R. R. (1985b): *The NEO Personality Inventory Manual*. Odessa: Psychological Assessment Resources
- Costa, P. T. & McCrae, R. R. (1989): *The NEO PI/FFI manual supplement*. Odessa: Psychological Assessment Resources
- Davidson, R. J., Lewis, D. A., Alloy, L. B., Amaral, D. G., Bush, G., Cohen, J. D., Drevets, W. C., Farah, M. J., Kagan, J., McClelland, J. L., Nolen-Hoeksema, S. & Peterson, B. S. (2002): Neural and behavioral substrates of mood and mood regulation. *Biol Psychiatry*, 52 (6): 478-502
- de Tommaso, M., Federici, A., Santostasi, R., Calabrese, R., Vecchio, E., Lapadula, G., Iannone, F., Lamberti, P. & Livrea, P. (2011): Laser-evoked potentials habituation in fibromyalgia. *J Pain*, 12 (1): 116-124
- de Wied, M. & Verbaten, M. N. (2001): Affective pictures processing, attention, and pain tolerance. *Pain*, 90 (1-2): 163-172

- Derogatis (1986): SCL-90-R. Self-Report Symptom Inventory. In: C. I. P. Scalearum (Hrsg.). Internationale Skalen für Psychiatrie Weinheim: Beltz
- Edwards, R. R., Bingham, C. O., 3rd, Bathon, J. & Haythornthwaite, J. A. (2006): Catastrophizing and pain in arthritis, fibromyalgia, and other rheumatic diseases. *Arthritis Rheum*, 55 (2): 325-332
- Ellrich, J., Handwerker, H. O. & Flor, H. (2002): Somatosensorik, Nozizeption und Schmerz. In: T. Elbert & N. Birbaumer (Hrsg.). Enzyklopädie der Psychologie. Themenbereich C, Serie I, Band 6: Biologische Grundlagen der Psychologie (323-368). Göttingen Bern Toronto Seattle: Hogrefe.
- Eysenck, H. J. (1970): The structure of human personality. 3rd ed. London: Methuen
- Ferracuti, S. & De Carolis, A. (2005): Relationships among Eysenck's extraversion, Rorschach's Erlebnistypus, and tolerance of experimental tonic pain (Cold Water Pressor Test). *Percept Mot Skills*, 100 (1): 237-248
- Franke, G. (1995): Die Symptom-Checkliste von Derogatis - Deutsche Version - (SCL-90-R). Manual. Göttingen: Beltz Test GmbH
- Friedman, H. & Schustack, M. (2004): Persönlichkeitspsychologie und Differentielle Psychologie. 2. aktualisierte Auflage. 2. Auflage. München: Pearson Studium
- Gallez, A., Albanese, M. C., Rainville, P. & Duncan, G. H. (2005): Attenuation of sensory and affective responses to heat pain: evidence for contralateral mechanisms. *J Neurophysiol*, 94 (5): 3509-3515
- Garcia-Larrea, L., Frot, M. & Valeriani, M. (2003): Brain generators of laser-evoked potentials: from dipoles to functional significance. *Neurophysiol Clin*, 33 (6): 279-292
- Garcia-Larrea, L., Peyron, R., Laurent, B. & Mauguiere, F. (1997): Association and dissociation between laser-evoked potentials and pain perception. *Neuroreport*, 8 (17): 3785-3789
- Gelnar, P. A., Krauss, B. R., Sheehe, P. R., Szeverenyi, N. M. & Apkarian, A. V. (1999): A comparative fMRI study of cortical representations for thermal painful, vibrotactile, and motor performance tasks. *Neuroimage*, 10 (4): 460-482
- Gerlach, C., Aaside, C. T., Humphreys, G. W., Gade, A., Paulson, O. B. & Law, I. (2002): Brain activity related to integrative processes in visual object recognition: bottom-up integration and the modulatory influence of stored knowledge. *Neuropsychologia*, 40 (8): 1254-1267
- Goubert, L., Crombez, G. & Van Damme, S. (2004): The role of neuroticism, pain catastrophizing and pain-related fear in vigilance to pain: a structural equations approach. *Pain*, 107 (3): 234-241
- Gracely, R. H., Geisser, M. E., Giesecke, T., Grant, M. A., Petzke, F., Williams, D. A. & Clauw, D. J. (2004): Pain catastrophizing and neural responses to pain among persons with fibromyalgia. *Brain*, 127 (Pt 4): 835-843
- Granovsky, Y., Granot, M., Nir, R. R. & Yarnitsky, D. (2008): Objective correlate of subjective pain perception by contact heat-evoked potentials. *Journal of Pain*, 9 (1): 53-63
- Greffrath, W., Baumgartner, U. & Treede, R. D. (2007): Peripheral and central components of habituation of heat pain perception and evoked potentials in humans. *Pain*, 132 (3): 301-311

- Guilford, J. P. (1964): Persönlichkeit. Logik, Methodik und Ergebnisse ihrer quantitativen Erforschung. Weinheim: Beltz
- Handwerker, H. O. (1998): Nozizeption und Schmerz. In: R. F. Schmidt (Hrsg.). Neuro- und Sinnesphysiologie (249-261). Berlin Heidelberg New York: Springer
- Harkins, S. W., Price, D. D. & Braith, J. (1989): Effects of extraversion and neuroticism on experimental pain, clinical pain, and illness behavior. *Pain*, 36 (2): 209-218
- Hautzinger, M., Bailer, M., Worall, H. & Keller, F. (1994): Beck-Depressions-Inventar (BDI). Göttingen: Huber
- Heldestad, V., Linder, J., Sellersjo, L. & Nordh, E. (2010): Reproducibility and influence of test modality order on thermal perception and thermal pain thresholds in quantitative sensory testing. *Clin Neurophysiol*, 121 (11): 1878-1885
- Howard, M., Coen, S., Buchanan, T., Smart, T., Gregory, S., Williams, S., Huggins, J. & Hanna, M. (2006): Test-retest Reproducibility of Cerebral and Subjective Responses to Painful and Non-painful Contact-Heat Evoked Potential Stimulation (CHEPS) [abstract]. *Eur J Pain*, 10 (S1): 82
- Inui, K., Tran, T. D., Qiu, Y., Wang, X., Hoshiyama, M. & Kakigi, R. (2003): A comparative magnetoencephalographic study of cortical activations evoked by noxious and innocuous somatosensory stimulations. *Neuroscience*, 120 (1): 235-248
- Johnson, M. (2003): The vulnerability status of neuroticism: over-reporting or genuine complaints? *Personality and Individual Differences*, 35 877-887
- Kakigi, R., Endo, C., Neshige, R., Kuroda, Y. & Shibasaki, H. (1991): Estimation of conduction velocity of A delta fibers in humans. *Muscle Nerve*, 14 (12): 1193-1196
- Kakigi, R., Inui, K. & Tamura, Y. (2005): Electrophysiological studies on human pain perception. *Clin Neurophysiol*, 116 (4): 743-763
- Kakigi, R., Watanabe, S. & Yamasaki, H. (2000): Pain-Related somatosensory evoked potentials. *J Clin Neurophysiol*, 17 (3): 295-308
- Kazarians, H., Scharein, E. & Bromm, B. (1995): Laser evoked brain potentials in response to painful trigeminal nerve activation. *Int J Neurosci*, 81 (1-2): 111-122
- Keltner, J. R., Furst, A., Fan, C., Redfern, R., Inglis, B. & Fields, H. L. (2006): Isolating the modulatory effect of expectation on pain transmission: a functional magnetic resonance imaging study. *J Neurosci*, 26 (16): 4437-4443
- Kenntner-Mabiala, R., Andreatta, M., Wieser, M. J., Muhlberger, A. & Pauli, P. (2008): Distinct effects of attention and affect on pain perception and somatosensory evoked potentials. *Biol Psychol*, 78 (1): 114-122
- Kong, J., Kaptchuk, T. J., Polich, G., Kirsch, I. & Gollub, R. L. (2007): Placebo analgesia: findings from brain imaging studies and emerging hypotheses. *Rev Neurosci*, 18 (3-4): 173-190
- Koyama, T., McHaffie, J. G., Laurienti, P. J. & Coghill, R. C. (2005): The subjective experience of pain: where expectations become reality. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 102 (36): 12950-12955
- Kuhtz-Buschbeck, J. P., Andresen, W., Gobel, S., Gilster, R. & Stick, C. (2010): Thermoreception and nociception of the skin: a classic paper of Bessou and Perl and analyses of thermal sensitivity during a student laboratory exercise. *Adv Physiol Educ*, 34 (2): 25-34

- Larsen, R. J. & Kasimatis, M. (1991): Day-to-day physical symptoms: individual differences in the occurrence, duration, and emotional concomitants of minor daily illnesses. *J Pers*, 59 (3): 387-423
- Lautenbacher, S., Sernal, J., Schreiber, W. & Krieg, J.-C. (1999): Relationship between clinical pain complaints and pain sensitivity in patients with depression and panic disorder. *Psychosomatic Medicine*, 61 (6): 822-832
- Laux, L., Glanzmann, P., Schaffner, P. & Spielberger, C. D. (1981): Das State-Trait-Angstinventar. Weinheim: Beltz
- Le Pera, D., Valeriani, M., Niddam, D., Chen, A. C. & Arendt-Nielsen, L. (2002): Contact heat evoked potentials to painful and non-painful stimuli: effect of attention towards stimulus properties. *Brain Topogr*, 15 (2): 115-123
- Lee, J. E., Watson, D. & Frey Law, L. A. (2010): Lower-order pain-related constructs are more predictive of cold pressor pain ratings than higher-order personality traits. *J Pain*, 11 (7): 681-691
- Lorenz, J., Minoshima, S. & Casey, K. L. (2003): Keeping pain out of mind: the role of the dorsolateral prefrontal cortex in pain modulation. *Brain*, 126 (Pt 5): 1079-1091
- Loyd, D. R. & Murphy, A. Z. (2009): The role of the periaqueductal gray in the modulation of pain in males and females: are the anatomy and physiology really that different? *Neural Plast*, 2009 462879
- Magerl, W., Ali, Z., Ellrich, J., Meyer, R. A. & Treede, R. D. (1999): C- and A delta-fiber components of heat-evoked cerebral potentials in healthy human subjects. *Pain*, 82 (2): 127-137
- McCrae, R. R. & Costa, P. T., Jr. (1985): Updating Norman's "Adequate Taxonomy": intelligence and personality dimensions in natural language and in questionnaires. *J Pers Soc Psychol*, 49 (3): 710-721
- Meier, P. M., Berde, C. B., DiCanzio, J., Zurakowski, D. & Sethna, N. F. (2001): Quantitative assessment of cutaneous thermal and vibration sensation and thermal pain detection thresholds in healthy children and adolescents. *Muscle Nerve*, 24 (10): 1339-1345
- Melzack, R. (1975): The McGill Pain Questionnaire: major properties and scoring methods. *Pain*, 1 (3): 277-299
- Mesulam, M. M. (1998): From sensation to cognition. *Brain*, 121 ( Pt 6) 1013-1052
- Miltner, W., Johnson, R., Jr., Braun, C. & Larbig, W. (1989): Somatosensory event-related potentials to painful and non-painful stimuli: effects of attention. *Pain*, 38 (3): 303-312
- Miron, D., Duncan, G. H. & Bushnell, M. C. (1989): Effects of attention on the intensity and unpleasantness of thermal pain. *Pain*, 39 (3): 345-352
- Moont, R., Crispel, Y., Lev, R., Pud, D. & Yarnitsky, D. (2011): Temporal changes in cortical activation during conditioned pain modulation (CPM), a LORETA study. *Pain*, 152(7):1469-77
- Neugebauer, V., Li, W., Bird, G. C. & Han, J. S. (2004): The amygdala and persistent pain. *Neuroscientist*, 10 (3): 221-234
- Niddam, D. M., Arendt-Nielsen, L. & Chen, A. C. (2000): Cerebral dynamics of SEPS to non-painful and painful cutaneous electrical stimulation of the thenar and hypothenar. *Brain Topogr*, 13 (2): 105-114

- Nir, R. R., Lev, R., Moont, R., Granovsky, Y., Sprecher, E. & Yarnitsky, D. (2008): Neurophysiology of the cortical pain network: revisiting the role of S1 in subjective pain perception via standardized low-resolution brain electromagnetic tomography (sLORETA). *J Pain*, 9 (11): 1058-1069
- Ohara, S., Crone, N. E., Weiss, N., Treede, R. D. & Lenz, F. A. (2004): Amplitudes of laser evoked potential recorded from primary somatosensory, parasyllian and medial frontal cortex are graded with stimulus intensity. *Pain*, 110 (1-2): 318-328
- Paine, P., Kishor, J., Worthen, S. F., Gregory, L. J. & Aziz, Q. (2009): Exploring relationships for visceral and somatic pain with autonomic control and personality. *Pain*, 144 (3): 236-244
- Pascual-Marqui, R. D. (1999): Review of Methods for Solving the EEG Inverse Problem. *International Journal of Bioelectromagnetism*, 1 (1): 75-86
- Pascual-Marqui, R. D., Esslen, M., Kochi, K. & Lehmann, D. (2002): Functional imaging with low-resolution brain electromagnetic tomography (LORETA): a review. *Methods Find Exp Clin Pharmacol*, 24 Suppl C 91-95
- Pascual-Marqui, R. D., Michel, C. M. & Lehmann, D. (1994): Low resolution electromagnetic tomography: a new method for localizing electrical activity in the brain. *Int J Psychophysiol*, 18 (1): 49-65
- Pazzaglia, C. & Valeriani, M. (2009): Brain-evoked potentials as a tool for diagnosing neuropathic pain. *Expert Rev Neurother*, 9 (5): 759-771
- Perchet, C., Godinho, F., Mazza, S., Frot, M., Legrain, V., Magnin, M. & Garcia-Larrea, L. (2008): Evoked potentials to nociceptive stimuli delivered by CO<sub>2</sub> or Nd:YAP lasers. *Clin Neurophysiol*, 119 (11): 2615-2622
- Peyron, R., Laurent, B. & Garcia-Larrea, L. (2000): Functional imaging of brain responses to pain. A review and meta-analysis (2000). *Neurophysiol Clin*, 30 (5): 263-288
- Ploghaus, A., Narain, C., Beckmann, C. F., Clare, S., Bantick, S., Wise, R., Matthews, P. M., Rawlins, J. N. & Tracey, I. (2001): Exacerbation of pain by anxiety is associated with activity in a hippocampal network. *J Neurosci*, 21 (24): 9896-9903
- Ploner, M. & Schnitzler, A. (2004): [Cortical representation of pain]. *Nervenarzt*, 75 (10): 962-969
- Qiu, Y., Inui, K., Wang, X., Tran, T. D. & Kakigi, R. (2001): Conduction velocity of the spinothalamic tract in humans as assessed by CO<sub>2</sub> laser stimulation of C-fibers. *Neurosci Lett*, 311 (3): 181-184
- Quiton, R. L. & Greenspan, J. D. (2008): Across- and within-session variability of ratings of painful contact heat stimuli. *Pain*, 137 (2): 245-256
- Rainville, P. (2002): Brain mechanisms of pain affect and pain modulation. *Curr Opin Neurobiol*, 12 (2): 195-204
- Ramirez-Maestre, C., Lopez Martinez, A. E. & Zarazaga, R. E. (2004): Personality characteristics as differential variables of the pain experience. *J Behav Med*, 27 (2): 147-165
- Raselli, C. & Broderick, J. E. (2007): The association of depression and neuroticism with pain reports: a comparison of momentary and recalled pain assessment. *J Psychosom Res*, 62 (3): 313-320

- Ray, W. J. (1999): The electrocortical system. In: J. T. Cacioppo & L. G. Tassinary (Hrsg.). *Principles of psychophysiology: Physical, social, and inferential elements* Cambridge: Cambridge University Press
- Reinert, A., Treede, R. & Bromm, B. (2000): The pain inhibiting pain effect: an electrophysiological study in humans. *Brain Res*, 862 (1-2): 103-110
- Roberts, K., Papadaki, A., Goncalves, C., Tighe, M., Atherton, D., Shenoy, R., McRobbie, D. & Anand, P. (2008): Contact heat evoked potentials using simultaneous EEG and fMRI and their correlation with evoked pain. *BMC Anesthesiol*, 8 8
- Rodriguez-Raecke, R., Doganci, B., Breimhorst, M., Stankewitz, A., Buchel, C., Birklein, F. & May, A. (2010): Insular cortex activity is associated with effects of negative expectation on nociceptive long-term habituation. *J Neurosci*, 30 (34): 11363-11368
- Rolls, E. T., O'Doherty, J., Kringelbach, M. L., Francis, S., Bowtell, R. & McGlone, F. (2003): Representations of pleasant and painful touch in the human orbitofrontal and cingulate cortices. *Cereb Cortex*, 13 (3): 308-317
- Roy, M., Piche, M., Chen, J. I., Peretz, I. & Rainville, P. (2009): Cerebral and spinal modulation of pain by emotions. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 106 (49): 20900-20905
- Sand, T., Nilsen, K. B., Hagen, K. & Stovner, L. J. (2010): Repeatability of cold pain and heat pain thresholds: The application of sensory testing in migraine research. *Cephalalgia*, 30 (8): 904-909
- Schanberg, L. E., Sandstrom, M. J., Starr, K., Gil, K. M., Lefebvre, J. C., Keefe, F. J., Affleck, G. & Tennen, H. (2000): The relationship of daily mood and stressful events to symptoms in juvenile rheumatic disease. *Arthritis Care Res*, 13 (1): 33-41
- Schandry, R. (2003): *Biologische Psychologie*. Weinheim Basel Berlin: Beltz
- Schmahl, C., Bohus, M., Esposito, F., Treede, R. D., Di Salle, F., Greffrath, W., Ludaescher, P., Jochims, A., Lieb, K., Scheffler, K., Hennig, J. & Seifritz, E. (2006): Neural correlates of antinociception in borderline personality disorder. *Arch Gen Psychiatry*, 63 (6): 659-667
- Schmidt, J. E., Hooten, W. M. & Carlson, C. R. (2011): Utility of the NEO-FFI in multi-dimensional assessment of orofacial pain conditions. *J Behav Med*, 34 (3): 170-181
- Schneider, F., Habel, U., Holthausen, H., Kessler, C., Posse, S., Muller-Gartner, H. W. & Arndt, J. O. (2001): Subjective ratings of pain correlate with subcortical-limbic blood flow: an fMRI study. *Neuropsychobiology*, 43 (3): 175-185
- Seifert, C. L., Nitzsche, D., Valet, M., Tolle, T. R. & Sprenger, T. (2008): [Contact heat evoked potentials for the evaluation of pain pathways]. *Nervenarzt*, 79 (8): 899, 902-897
- Spielberger, R., Porsuch, R. L. & Lushene, R. H. (1970): *State-Trait Anxiety Inventory*. Palo Alto: Consulting Psychologists Press
- Staahl, C., Reddy, H., Andersen, S. D., Arendt-Nielsen, L. & Drewes, A. M. (2006): Multi-modal and tissue-differentiated experimental pain assessment: reproducibility of a new concept for assessment of analgesics. *Basic Clin Pharmacol Toxicol*, 98 (2): 201-211
- Talairach, J. & Tournoux, P. (1988): *Co-Planar Stereotaxic Atlas of the Human Brain*. Stuttgart: Thieme
- Tolle, T. R., Kaufmann, T., Siessmeier, T., Lautenbacher, S., Berthele, A., Munz, F., Zieglgansberger, W., Willoch, F., Schwaiger, M., Conrad, B. & Bartenstein, P. (1999):

- Region-specific encoding of sensory and affective components of pain in the human brain: a positron emission tomography correlation analysis. *Ann Neurol*, 45 (1): 40-47
- Tracey, I. (2008): Imaging pain. *Br J Anaesth*, 101 (1): 32-39
- Tracey, I., Becerra, L., Chang, I., Breiter, H., Jenkins, L., Borsook, D. & Gonzalez, R. G. (2000): Noxious hot and cold stimulation produce common patterns of brain activation in humans: a functional magnetic resonance imaging study. *Neurosci Lett*, 288 (2): 159-162
- Tran, T. D., Lam, K., Hoshiyama, M. & Kakigi, R. (2001): A new method for measuring the conduction velocities of A-beta-, A-delta- and C-fibers following electric and CO<sub>2</sub> laser stimulation in humans. *Neurosci Lett*, 301 (3): 187-190
- Treede, R. D. (2003): Neurophysiological studies of pain pathways in peripheral and central nervous system disorders. *J Neurol*, 250 (10): 1152-1161
- Treede, R. D., Kenshalo, D. R., Gracely, R. H. & Jones, A. K. (1999): The cortical representation of pain. *Pain*, 79 (2-3): 105-111
- Truini, A., Galeotti, F., Pennisi, E., Casa, F., Biasiotta, A. & Cruccu, G. (2007): Trigeminal small-fibre function assessed with contact heat evoked potentials in humans. *Pain*, 132 (1-2): 102-107
- Villemure, C. & Bushnell, M. C. (2002): Cognitive modulation of pain: how do attention and emotion influence pain processing? *Pain*, 95 (3): 195-199
- Vogt, B. A., Finch, D. M. & Olson, C. R. (1992): Functional heterogeneity in cingulate cortex: the anterior executive and posterior evaluative regions. *Cereb Cortex*, 2 (6): 435-443
- Vossen, H. G., van Os, J., Hermens, H. & Lousberg, R. (2006): Evidence that trait-anxiety and trait-depression differentially moderate cortical processing of pain. *Clin J Pain*, 22 (8): 725-729
- Wade, J. B., Dougherty, L. M., Hart, R. P., Rafii, A. & Price, D. D. (1992): A canonical correlation analysis of the influence of neuroticism and extraversion on chronic pain, suffering, and pain behavior. *Pain*, 51 (1): 67-73
- Warbrick, T., Derbyshire, S. W. & Bagshaw, A. P. (2009): Optimizing the measurement of contact heat evoked potentials. *J Clin Neurophysiol*, 26 (2): 117-122
- Wasner, G. L. & Brock, J. A. (2008): Determinants of thermal pain thresholds in normal subjects. *Clin Neurophysiol*, 119 (10): 2389-2395
- Watson, P. J., Latif, R. K. & Rowbotham, D. J. (2005): Ethnic differences in thermal pain responses: a comparison of South Asian and White British healthy males. *Pain*, 118 (1-2): 194-200
- Weisenberg, M. (1999): Cognitive aspects of pain. In: P. D. Wall & R. Melzack (Hrsg.). *Textbook of pain* (345-357). Edinburgh: Churchill Livingstone
- Weisenberg, M., Raz, T. & Hener, T. (1998): The influence of film-induced mood on pain perception. *Pain*, 76 (3): 365-375
- Weiss, T. & Schaible, H. G. (2004): Strukturen der Nozizeption und der Schmerzverarbeitung. In: F. Van den Berg (Hrsg.). *Angewandte Physiologie. Band 4: Schmerzen verstehen und beeinflussen* (6-32). Stuttgart New York: Thieme
- Wiech, K., Ploner, M. & Tracey, I. (2008): Neurocognitive aspects of pain perception. *Trends Cogn Sci*, 12 (8): 306-313

- Wiggs, C. L., Weisberg, J. & Martin, A. (1999): Neural correlates of semantic and episodic memory retrieval. *Neuropsychologia*, 37 (1): 103-118
- Wise, T. N. & Mann, L. S. (1994): The relationship between somatosensory amplification, alexithymia, and neuroticism. *J Psychosom Res*, 38 (6): 515-521
- Xie, Y. F., Huo, F. Q. & Tang, J. S. (2009): Cerebral cortex modulation of pain. *Acta Pharmacol Sin*, 30 (1): 31-41
- Youell, P. D., Wise, R. G., Bentley, D. E., Dickinson, M. R., King, T. A., Tracey, I. & Jones, A. K. (2004): Lateralisation of nociceptive processing in the human brain: a functional magnetic resonance imaging study. *Neuroimage*, 23 (3): 1068-1077
- Zelman, D. C., Howland, E. W., Nichols, S. N. & Cleeland, C. S. (1991): The effects of induced mood on laboratory pain. *Pain*, 46 (1): 105-111
- Zschoke, S. (2009): *Klinische Elektroenzephalographie*. Berlin: Springer

## 8. Anhang

### Verzeichnis der Tabellen

Tabelle 1:	Ergebnisse aus den allgemeinen Fragebögen .....	34
Tabelle 2:	Deskriptive Daten für die fünf Persönlichkeitsfaktoren aus dem NEO-Fünf-Faktoren-Inventar nach Ausschluss der Ausreißer .....	44
Tabelle 3:	Korrelation der Schwellenwerte mit dem Persönlichkeitsfaktor Neurotizismus	47
Tabelle 4:	Korrelation der Schwellenwerte mit dem Persönlichkeitsfaktor Extraversion ...	47
Tabelle 5:	Amplituden und Latenzen der ermittelten Peaks nach subjektiv definierten Reizen .....	49
Tabelle 6:	Haupteffekte und Interaktionen der zwei Innersubjektvariablen Messzeitpunkt und Stärke des Reizes für die Amplituden nach subjektiv definierten Reizen .....	51
Tabelle 7:	Mittelwerte und Standardabweichungen der Bewertungen nach subjektiv definierten Reizen und ihre Korrelationen untereinander .....	51
Tabelle 8:	Haupteffekte und Interaktionen der zwei Innersubjektvariablen Messzeitpunkt und Stärke für die Bewertungen nach subjektiv definierten Reizen .....	52
Tabelle 9:	Korrelationen der Amplituden nach Stimulation mit subjektiv definierten Reizen mit dem Neurotizismuswert .....	55
Tabelle 10:	Korrelationen der Amplituden nach Stimulation mit subjektiv definierten Reizen mit dem Extraversionswert .....	56
Tabelle 11:	Korrelationen der Bewertungen nach subjektiv definierten Reizen mit dem Neurotizismuswert .....	58
Tabelle 12:	Korrelationen der Bewertungen nach subjektiv definierten Reizen mit dem Extraversionswert .....	60
Tabelle 13:	Talairach-Koordinaten, Lokalisation und Stromdichtewerte für die zehn stärksten Aktivierungen im Zeitintervall der negativen Komponente nach Stimulation mit subjektiv definierten Reizen .....	61
Tabelle 14:	Talairach-Koordinaten, Lokalisation und Stromdichtewerte für die zehn stärksten Aktivierungen im Zeitintervall der positiven Komponente nach Stimulation mit subjektiv definierten Reizen .....	62
Tabelle 15:	Amplituden und Latenzen der ermittelten Peaks nach physikalisch definierten Reizen .....	64

---

Tabelle 16: Unterschiede zwischen den drei Reizstärken für die Latenzen und Amplituden der positiven und negativen Komponente nach physikalisch definierten Reizen.....	64
Tabelle 17: Mittelwerte und Standardabweichungen der Bewertungen nach physikalisch definierten Reizen und ihre Korrelationen untereinander .....	66
Tabelle 18: Zusammenhang der Amplituden mit den Schmerzbewertungen nach physikalisch definierten Reizen.....	66
Tabelle 19: Korrelationen der Amplituden nach Stimulation mit physikalisch definierten Reizen mit dem Neurotizismuswert .....	67
Tabelle 20: Korrelationen der Amplituden nach Stimulation mit physikalisch definierten Reizen mit dem Extraversionswert.....	69
Tabelle 21: Korrelationen der Bewertungen nach physikalisch definierten Reizen mit dem Neurotizismuswert.....	70
Tabelle 22: Korrelationen der Bewertungen nach physikalisch definierten Reizen mit dem Extraversionswert .....	71

## Verzeichnis der Abbildungen

Abbildung 1:	Komponenten der Schmerzwahrnehmung .....	3
Abbildung 2:	Empfindlichkeitskurven der Kalt- und Warmsensoren .....	4
Abbildung 3:	Zentralnervöse Weiterleitung der Somatosensorik .....	6
Abbildung 4:	Ablauf der Studie .....	35
Abbildung 5:	Boxplots für die Schwellenwerte zum ersten und zweiten Messzeitpunkt... 45	
Abbildung 6:	Zusammenhang der Schmerzschwellen und der Schwellen für die Unangenehmheit der Reize zum 1. und 2. Messzeitpunkt.....	46
Abbildung 7:	Grand Averages der evozierten Potentiale an Cz nach subjektiv definierten Reizen .....	48
Abbildung 8:	Boxplots der Amplituden für die drei Reizstärken nach subjektiv definierten Reizen .....	50
Abbildung 9:	Boxplots der Bewertungen für die Intensität und Unangenehmheit nach subjektiv definierten Reizen .....	53
Abbildung 10:	Zusammenhang der Amplituden nach Stimulation an der Schmerzschwelle und an der Toleranzschwelle/Maximaltemperatur mit dem Persönlichkeitsfaktor Neurotizismus .....	55
Abbildung 11:	Zusammenhang der Amplituden nach Stimulation an der Schmerzschwelle und an der Toleranzschwelle/Maximaltemperatur mit dem Persönlichkeitsfaktor Extraversion .....	57
Abbildung 12:	Zusammenhang der Bewertungen nach subjektiv definierten Reizen mit dem Persönlichkeitsfaktor Neurotizismus .....	59
Abbildung 13:	Zusammenhang der Bewertungen nach subjektiv definierten Reizen mit dem Persönlichkeitsfaktor Extraversion .....	60
Abbildung 14:	Maximale Aktivierung im mittleren Gyrus temporalis rechts zum ersten Messzeitpunkt im Zeitintervall der negativen Komponente.....	61
Abbildung 15:	Maximale Aktivierung im posterioren cingulären Kortex links zum ersten Messzeitpunkt im Zeitintervall der positiven Komponente.....	62
Abbildung 16:	Grand Averages der evozierten Potentiale an Cz nach physikalisch definierten Reizen .....	63
Abbildung 17:	Boxplots der Amplituden für die drei Reizstärken nach physikalisch definierten Reizen .....	65
Abbildung 18:	Zusammenhang der Amplituden nach Stimulation mit physikalisch definierten Reizen mit dem Persönlichkeitsfaktor Neurotizismus .....	68

---

Abbildung 19: Zusammenhang der Amplituden nach Stimulation mit physikalisch definierten Reizen mit dem Persönlichkeitsfaktor Extraversion .....	69
Abbildung 20: Zusammenhang der Bewertungen nach physikalisch definierten Reizen mit dem Persönlichkeitsfaktor Neurotizismus .....	70
Abbildung 21: Zusammenhang der Bewertungen nach physikalisch definierten Reizen mit dem Persönlichkeitsfaktor Extraversion .....	71

Tabelle A1: Ergebnisse zu den Einzelskalen der SCL-90-R

	Mittelwert	SD
Somatisierung	0.23	0.23
Zwanghaftigkeit	0.40	0.50
Unsicherheit im Sozialkontakt	0.28	0.45
Depressivität	0.37	0.70
Ängstlichkeit	0.23	0.43
Aggressivität	0.17	0.25
Phobische Angst	0.08	0.13
Paranoides Denken	0.29	0.45
Psychotizismus	0.23	0.39
GSI (Global Severity Index)	0.27	0.36
PST (Positive Symptom Total)	16.21	15.89
PSDI (Positive Symptom Distress Index)	1.34	0.50

SD: Standardabweichung

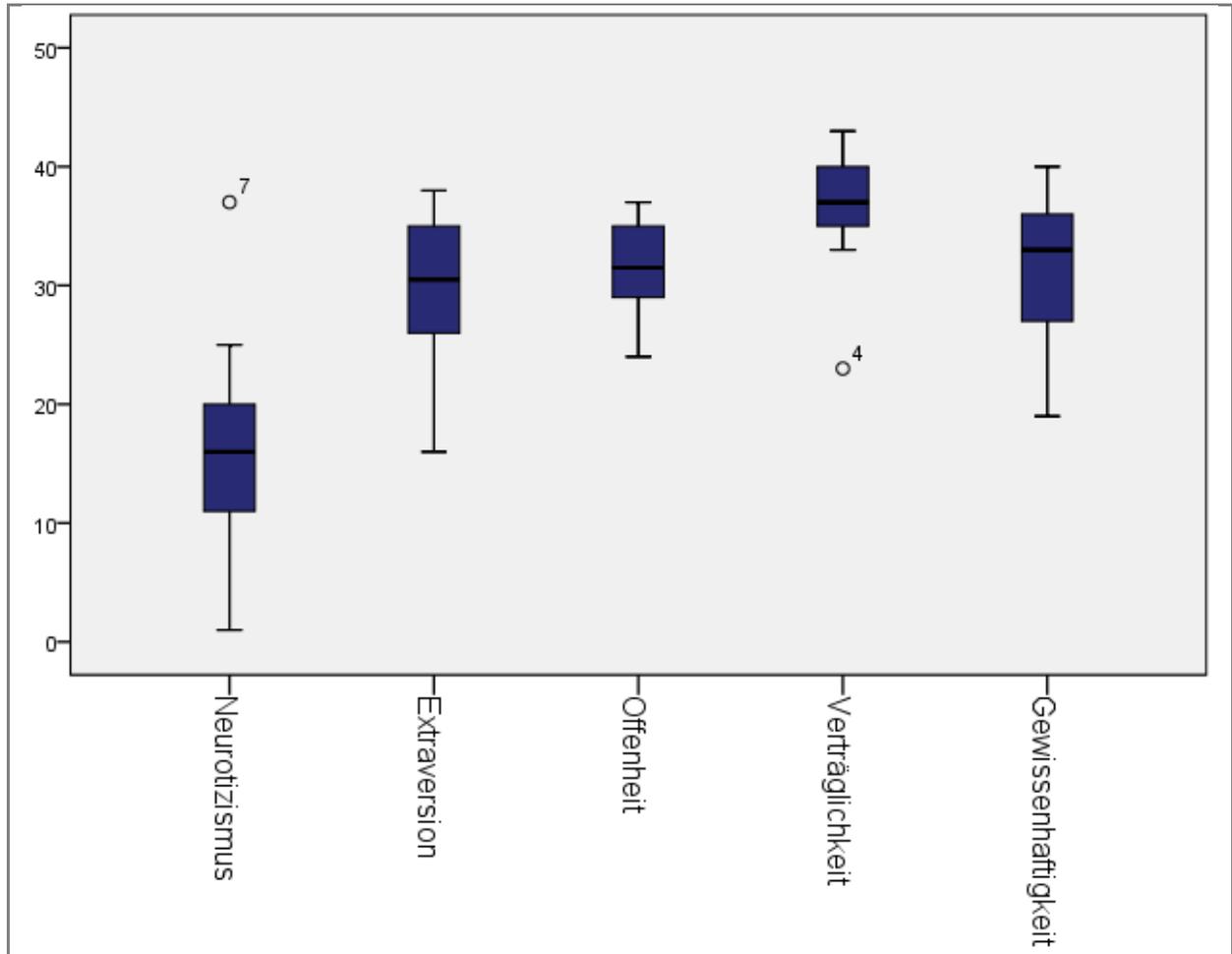


Abbildung A1: Boxplots (Median, Quartile, Range und Ausreißer) der Persönlichkeitsskalen aus dem NEO-FFI



KLINIK UND POLIKLINIK FÜR  
PSYCHIATRIE UND PSYCHOTHERAPIE  
DIREKTOR: PROF. DR. MED. H.-J. MÖLLER



Klinikum der Universität München · Klinik und Poliklinik für Psychiatrie und Psychotherapie · Nussbaumstraße 7 · 80336 München

Telefon +49 (0)89 5160 – 5541  
Telefax +49 (0)89 5160 – 5542

[www.klinikum.uni-muenchen.de](http://www.klinikum.uni-muenchen.de)  
Telefon : (0 89) 51 60-0 (Vermittlung)

Postanschrift:  
Nussbaumstraße 7  
D-80336 München

Ihr Zeichen:

Unser Zeichen:  
(S. Karch)

München, 11.06.2008

## Probandenaufklärung und Einwilligungserklärung

Für die Studie:

*Elektrophysiologische Korrelate der somatosensorischen Wahrnehmung, von Emotionen und kognitiven Funktionen*

### Verantwortliche Studienleiter:

PD Dr. med. Oliver Pogarell  
PD Dr. med. Christoph Mulert  
Abteilung für Neurophysiologie und Funktionelle Bildgebung  
Klinik für Psychiatrie und Psychotherapie der LMU  
Nussbaumstr. 7  
80336 München  
Tel: +49/(0)89/5160/5541  
Fax: +49/(0)89/5160/5542

### Untersuchungsleiter:

Name, Vorname:  
Funktion:

### Studienteilnehmer:

Name, Vorname:  
Geburtsdatum:  
Adresse:

Die Psychiatrische Klinik der LMU ist Collaborating Centre der Weltgesundheitsorganisation (WHO)

Das Klinikum der Universität München ist eine Anstalt des öffentlichen Rechts

Verkehrsverb.: U1, U2, U3, U6, U7, U8, 17, 18, 27, N 17, N 27, 52, 152 o. N 40 bis Haltestelle Sendlinger Tor

Sehr geehrte Damen und Herren,

wir möchten Ihnen die Studie „*Elektrophysiologische Korrelate der somatosensorischen Wahrnehmung, von Emotionen und kognitiven Funktionen*“ vorstellen.

Im Folgenden werden Sie über den Hintergrund der Untersuchung, die verwendete Untersuchungsmethode (EEG), den Ablauf der Untersuchung und die Aufgaben und die Auswirkungen der Untersuchungen auf Ihre Gesundheit informiert.

### **1. Hintergrund des Forschungsvorhabens**

Die Weiterentwicklung der methodischen Möglichkeiten im Bereich der Hirnfunktionsdiagnostik in den letzten Jahren hat zu einem enormen Zuwachs an Wissen hinsichtlich der gesunden Hirnfunktion geführt, eröffnet aber gleichzeitig auch aussichtsreiche Perspektiven hinsichtlich einem besseren Verständnis psychiatrischer Erkrankungen und deren Behandlungsmöglichkeiten. Eine Möglichkeit Hirnfunktionen zu untersuchen ist die Elektroenzephalographie (EEG).

Ziel dieser Studie ist es zu untersuchen, ob bzw. in welcher Weise sich die neuronale Hirnaktivität bei Personen mit psychiatrischen Erkrankungen von der gesunder Probanden unterscheidet während der somatosensorischen Wahrnehmung, der Verarbeitung von Emotionen bzw. der Bearbeitung von kognitiven Aufgaben.

### **2. Die verwendete Untersuchungsmethode (EEG)**

Das EEG ist die älteste Methode, um Hirnfunktionen zu untersuchen. Hierbei werden mittels auf den Kopf geklebter Elektroden feinste Spannungsunterschiede über dem Gehirn abgegriffen. Heute ist man in der Lage, mittels dieser Spannungsunterschiede die elektrische Aktivität des Gehirns zu lokalisieren und zu charakterisieren und Interaktionen zwischen verschiedenen Hirnregionen darzustellen. Das EEG ist nebenwirkungsfrei und risikoarm.

### **3. Ablauf der Untersuchung und Aufgaben**

In der Abteilung für Klinische Neurophysiologie wird zunächst eine EEG-Haube geklebt und der Sitz der Elektroden überprüft. Dann folgen die verschiedenen Untersuchungen im Rahmen der Studie:

- 1 *Routine – EEG*: Zunächst wird ein sogenanntes Routine-EEG durchgeführt, das ca. 10 Minuten dauert. Ihre Aufgabe dabei ist es, die Augen geschlossen zu halten und wach zu bleiben.

- 2 Die *experimentelle Untersuchung* umfasst die Teilnahme an Aufgaben zu kognitiven Funktionen oder der Wahrnehmung von Emotion bzw. somatosensorischen Informationen.
- 2.1 *Kognitive Aufgaben bzw. Verarbeitung von Emotionen*: Während der folgenden ca. 30 Minuten bekommen Sie Aufgaben, die Ihnen im Einzelnen vom Versuchsleiter noch genauer erklärt werden. Es handelt sich dabei um Aufgaben, mit denen die Wahrnehmung und Verarbeitung emotionaler Informationen bzw. verschiedenen kognitive Funktionen wie zum Beispiel Aufmerksamkeit und Gedächtnis untersucht werden. Die Untersuchungen sollen dazu dienen, Hirnstrukturen zu identifizieren, die an der Bearbeitung der Aufgaben beteiligt sind. Dabei werden die Informationen über Kopfhörer (z.B. Töne, Silben, Wörter) oder mit Hilfe eines Bildschirms (z.B. Bilder, Zahlen, Filmausschnitte) präsentiert. Sie haben vorher jeweils Zeit, die Experimente zu üben und Fragen zu stellen.
- 2.2 *Somatosensorische Wahrnehmung*: Zunächst wird die individuelle sensorischen Wahrnehmungs-, Unannehmlichkeits- bzw. Schmerzschwellen bestimmt. Dafür wird eine Kontaktelektroden auf den Arm befestigt. Die Elektroden erwärmen sich jeweils für eine sehr kurze Zeit. Zur Bestimmung Schwellen, wird die Temperatur der Elektroden graduell in kleinen Schritten jeweils für eine sehr kurze Zeit erhöht, bis die Reize als *leicht* schmerzhaft bewertet werden. Sie haben jeweils die Aufgabe die Intensität und Unangenehmheit der Temperatur zu beurteilen. Die Erwärmungen sind ungefährlich, es bleiben keine längerfristigen Folgen (z.B. keine Rötungen der Haut, keine Brandblasen). Während einer EEG-Ableitung erwärmt sich die Elektrode auf dem Arm erneut jeweils für eine sehr kurze Zeit unterschiedlich stark. Sie werden gebeten, die Temperatur zu bewerten hinsichtlich der Intensität und Unangenehmheit. Die Temperatur übersteigt in keinem Fall diejenige der Reize, die Sie vorher als *leicht* schmerzhaft bewertet haben.

In der gesamten Zeit werden Sie von einem Mitarbeiter der Abteilung für Klinische Neurophysiologie und Funktionelle Bildgebung betreut, die stets in Ihrer Nähe sind. Bei Fragen oder Sorgen wenden Sie sich bitte jederzeit an den betreuenden Mitarbeiter. Ein Abbruch der Studie ist jederzeit und ohne Angabe von Gründen möglich. Daraus entstehen für Sie keine Nachteile.

#### 4. Die gesundheitlichen Auswirkungen der Untersuchung

Sämtliche Untersuchungen sind unschädlich und haben nach dem heutigen Wissensstand keine Langzeitfolgen.

#### 5. Versicherungsschutz

Da die Risiken der Untersuchung sehr gering sind, wird vom Gesetzgeber keine verschuldensabhängige Versicherung gefordert.

Sie nehmen freiwillig an der Untersuchung teil und können die Teilnahme an der Untersuchung jederzeit und ohne Angabe von Gründen widerrufen.

#### 6. Einverständniserklärung

Hiermit bestätige ich, dass ich über den Umfang der im Rahmen der Studie „*Elektrophysiologische Korrelate der somatosensorischen Wahrnehmung, von Emotionen und kognitiven Funktionen*“ durchgeführten Untersuchungen von \_\_\_\_\_ mündlich und schriftlich aufgeklärt worden bin und an der Studie freiwillig teilnehme.

Ich bin darüber informiert worden, dass ich meine Einwilligung jederzeit ohne Angabe von Gründen und ohne Nachteile zurückziehen kann.

Mir ist bekannt, dass ich während diese Studie läuft einen Mitarbeiter der Studie informiere, wenn ich darüber hinaus an weiteren Studien teilnehmen möchte.

München, \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
Unterschrift des/der Patienten/in

München, \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
Unterschrift der/des aufklärenden  
Ärztin/Arztes/Untersuchungsleiters

## 7. Datenschutzerklärung und Einwilligung zum Datenschutz

## Datenschutzerklärung

*Elektrophysiologische Korrelate der somatosensorischen Wahrnehmung, von Emotionen und kognitiven Funktionen*

Mir ist bekannt, dass im Rahmen dieser klinischen Prüfung personenbezogene Daten, insbesondere medizinische Befunde, über mich erhoben, gespeichert und ausgewertet werden sollen. Die Verwendung der Angaben über meine Person und meine Gesundheit erfolgt nach gesetzlichen Bestimmungen und setzt vor der Teilnahme an der klinischen Prüfung folgende freiwillig abgegebene Einwilligungserklärung voraus, d.h. ohne die nachfolgende Einwilligung kann ich nicht an der klinischen Prüfung teilnehmen.

## Einwilligungserklärung zum Datenschutz (Arzneimittelgesetz)

1. Ich erkläre mich damit einverstanden, dass im Rahmen dieser klinischen Prüfung erhobene Daten, insbesondere Angaben über meine Person und meine Gesundheit, in Papierform und auf elektronischen Datenträgern in der Klinik für Psychiatrie und Psychotherapie aufgezeichnet und hinreichend gesichert aufbewahrt werden. Soweit erforderlich, dürfen die erhobenen Daten allerdings grundsätzlich nur pseudonymisiert (verschlüsselt) weiter gegeben werden:
  - a) an den Sponsor (Klinik für Psychiatrie und Psychotherapie der LMU) oder eine von diesem beauftragte Stelle zum Zwecke der wissenschaftlichen Auswertung im Rahmen dieser Studie
  - b) im Falle eines Antrags auf Zulassung: an den Antragsteller und die für die Zulassung zuständige Behörde (Bundesinstitut für Arzneimittel und Medizinprodukte)
  - c) im Falle unerwünschter Ereignisse: an den Sponsor (Klinik für Psychiatrie und Psychotherapie der LMU), an die jeweils zuständige Ethik-Kommission und die zuständige Bundesoberbehörde (Bundesinstitut für Arzneimittel und Medizinprodukte) sowie von dieser an die Europäische Datenbank.
2. Außerdem erkläre ich mich damit einverstanden, dass autorisierte und zur Verschwiegenheit verpflichtete Beauftragte des Sponsors (Klinik für Psychiatrie und Psychotherapie) sowie die zuständigen inländischen und ausländischen Überwachungsbehörden in meine beim Prüfarzt vorhandenen personenbezogenen Daten, insbesondere meine Gesundheitsdaten, Einsicht nehmen, soweit dies für die Überprüfung der ordnungsgemäßen Durchführung der Studie notwendig ist. Für diese Maßnahme entbinde ich den Prüfarzt von der ärztlichen Schweigepflicht.

3. Die Einwilligung zur Erhebung und Verarbeitung meiner personenbezogenen Daten, insbesondere der Angaben über meine Gesundheit, ist unwiderruflich. Ich bin bereits darüber aufgeklärt worden, dass ich jederzeit die Teilnahme an der klinischen Prüfung beenden kann. Im Fall eines solchen Widerrufs meiner Einwilligung, an der Studie teilzunehmen, erkläre ich mich damit einverstanden, dass die bis zu diesem Zeitpunkt gespeicherten Daten ohne Namensnennung weiterhin verwendet werden dürfen, soweit dies erforderlich ist, um
- Wirkungen des zu prüfenden Arzneimittels festzustellen,
  - sicherzustellen, dass meine schutzwürdigen Interessen nicht beeinträchtigt werden,
  - der Pflicht zur Vorlage vollständiger Zulassungsunterlagen zu genügen.
4. Ich erkläre mich damit einverstanden, dass meine Daten nach Beendigung oder Abbruch der Prüfung mindestens zehn Jahre aufbewahrt werden, wie es die Vorschriften über die klinische Prüfung von Arzneimitteln bestimmen. Danach werden meine personenbezogenen Daten gelöscht, soweit nicht gesetzliche oder satzungsmäßige Aufbewahrungsfristen entgegenstehen.
5. Ich bin über folgende gesetzliche Regelung informiert: Falls ich meine Einwilligung, an der Studie teilzunehmen, widerrufe, müssen alle Stellen, die meine personenbezogenen Daten, insbesondere Gesundheitsdaten gespeichert haben, unverzüglich prüfen, inwieweit die gespeicherten Daten für die in Nr. 3 a) bis c) genannten Zwecke noch erforderlich sind. Nicht mehr benötigte Daten sind unverzüglich zu löschen.

Name \_\_\_\_\_

Datum \_\_\_\_\_

Unterschrift \_\_\_\_\_

Schmerzhaft		Unangenehm	
1	Nicht wahrnehmbar gar nicht schmerzhaft leicht schmerzhaft deutlich schmerzhaft stark schmerzhaft extrem schmerzhaft unerträglich	1	Nicht wahrnehmbar gar nicht unangenehm leicht unangenehm deutlich unangenehm stark unangenehm extrem unangenehm unerträglich
2	Nicht wahrnehmbar gar nicht schmerzhaft leicht schmerzhaft deutlich schmerzhaft stark schmerzhaft extrem schmerzhaft unerträglich	2	Nicht wahrnehmbar gar nicht unangenehm leicht unangenehm deutlich unangenehm stark unangenehm extrem unangenehm unerträglich
3	Nicht wahrnehmbar gar nicht schmerzhaft leicht schmerzhaft deutlich schmerzhaft stark schmerzhaft extrem schmerzhaft unerträglich	3	Nicht wahrnehmbar gar nicht unangenehm leicht unangenehm deutlich unangenehm stark unangenehm extrem unangenehm unerträglich
4	Nicht wahrnehmbar gar nicht schmerzhaft leicht schmerzhaft deutlich schmerzhaft stark schmerzhaft extrem schmerzhaft unerträglich	4	Nicht wahrnehmbar gar nicht unangenehm leicht unangenehm deutlich unangenehm stark unangenehm extrem unangenehm unerträglich

Schmerzhaft	Unangenehm
<p>Nicht wahrnehmbar   gar nicht schmerzhaft   leicht schmerzhaft   deutlich schmerzhaft   stark schmerzhaft   extrem schmerzhaft   unerträglich</p> <p><b>L</b>  ----- </p>	<p>Nicht wahrnehmbar   gar nicht unangenehm   leicht unangenehm   deutlich unangenehm   stark unangenehm   extrem unangenehm   unerträglich</p> <p><b>L</b>  ----- </p>
<p>Nicht wahrnehmbar   gar nicht schmerzhaft   leicht schmerzhaft   deutlich schmerzhaft   stark schmerzhaft   extrem schmerzhaft   unerträglich</p> <p><b>M</b>  ----- </p>	<p>Nicht wahrnehmbar   gar nicht unangenehm   leicht unangenehm   deutlich unangenehm   stark unangenehm   extrem unangenehm   unerträglich</p> <p><b>M</b>  ----- </p>
<p>Nicht wahrnehmbar   gar nicht schmerzhaft   leicht schmerzhaft   deutlich schmerzhaft   stark schmerzhaft   extrem schmerzhaft   unerträglich</p> <p><b>S</b>  ----- </p>	<p>Nicht wahrnehmbar   gar nicht unangenehm   leicht unangenehm   deutlich unangenehm   stark unangenehm   extrem unangenehm   unerträglich</p> <p><b>S</b>  ----- </p>

## Klinikum der Universität München

Klinik und Poliklinik für Psychiatrie und  
 Psychotherapie – Innenstadt  
 Abteilung für klinische Neurophysiologie  
 Prof. Dr. med. U. Hegerl

\_\_\_\_\_ **LMU**  
 Ludwig \_\_\_\_\_  
 Maximilians \_\_\_\_\_  
 Universität \_\_\_\_\_  
 München \_\_\_\_\_

Datum: \_\_\_\_\_

**FRAGEBOGEN**

Vp-Abkürzung: \_\_\_\_\_

Untersuchungsleiter: \_\_\_\_\_

**Soziodemographische Daten**

- Anzahl der Tage seit der Aufnahme: \_\_\_\_\_
- Geburtsdatum: \_\_\_\_\_ Geschlecht:  m  w
- Muttersprache: \_\_\_\_\_
- Anzahl der Schuljahre: \_\_\_\_\_ Anzahl der Ausbildungs- / Studienjahre: \_\_\_\_\_
- Höchster Schulabschluß:
  - Abitur / Fachabitur
  - Realschule / Mittlere Reife
  - Volks- / Hauptschule
  - Sonderschule
  - kein Schulabschluß
  - in der Schule: \_\_\_\_\_
- Berufsausbildung:
  - Hochschule / Fachhochschule
  - Meister / Fachschule
  - Lehre / Ausbildung
  - keine formale Berufsausbildung
  - in der Ausbildung
  - im Studium
 Berufsbezeichnung: \_\_\_\_\_
- Augenblickliche Tätigkeit: \_\_\_\_\_
- Ausgeübte Berufe: \_\_\_\_\_
- Anzahl der Berufsjahre: \_\_\_\_\_
- Schul-/Berufsausbildung der Eltern:
 

Mutter: <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/></li> <li><input type="checkbox"/></li> <li><input type="checkbox"/></li> <li><input type="checkbox"/></li> </ul>	Vater: <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Hochschule / Fachhochschule</li> <li><input type="checkbox"/> Meister / Fachschule</li> <li><input type="checkbox"/> Lehre / Ausbildung</li> <li><input type="checkbox"/> keine formale Berufsausbildung</li> </ul>
--	--

 Berufsbezeichnung der Mutter: \_\_\_\_\_  
 Berufsbezeichnung des Vaters: \_\_\_\_\_



<b>Medizinische Daten</b>
---------------------------

- Hörbehinderungen / Hörgerät  nein  ja
- Frühere oder aktuelle neurologische Erkrankungen?
  - Schädel-Hirn-Traumata:  nein  ja Datum: \_\_\_\_\_
  - offen \_\_\_\_\_
  - gedeckt (commotio, contusio) \_\_\_\_\_
  - Mit Bewusstlosigkeit → Dauer [Min]: \_\_\_\_\_
  - Mit retrograder Gedächtnisstörung → Dauer [Std]: \_\_\_\_\_
  - Akute cerebrale Insulte: \_\_\_\_\_
  - Migräne mit neurologischen Symptomen \_\_\_\_\_
  - Epilepsien: \_\_\_\_\_
  - Intracranielle Tumore: \_\_\_\_\_
  - Andere: \_\_\_\_\_
- Sonstige schwere / chronische körperliche Erkrankungen?
 

\_\_\_\_\_
- Komplikationen bei der Geburt? Entwicklungsprobleme in der Kindheit?
 

\_\_\_\_\_
- Diagnostizierte Erkrankungen erstgradig Verwandter (Eltern, Geschwister, Kinder)
  - Psychiatrische
    - Substanzmissbrauch / -abhängigkeit: \_\_\_\_\_
    - Schizophrenie: \_\_\_\_\_
    - Affektive Störung: \_\_\_\_\_
    - schwere depressive Episoden: \_\_\_\_\_
    - schwere manische Episoden: \_\_\_\_\_
    - Andere: \_\_\_\_\_
  - Neurologische: \_\_\_\_\_
- Diagnostizierte Erkrankungen zweitgradig Verwandter (Großeltern, Onkel/Tanten, Neffen/Nichten)
  - Psychiatrische
    - Substanzmissbrauch / -abhängigkeit: \_\_\_\_\_
    - Schizophrenie: \_\_\_\_\_
    - Affektive Störung: \_\_\_\_\_
    - schwere depressive Episoden: \_\_\_\_\_
    - schwere manische Episoden: \_\_\_\_\_
    - Andere: \_\_\_\_\_
  - Neurologische: \_\_\_\_\_



<b>Substanzgebrauch</b>
-------------------------

- Aktuell eingenommene Medikamente (Art und Dosierung pro Tag)

Was ?	Tagesdosis	Seit [Datum]

- Tabak:     ja     nein

Wenn ja:

seit wie vielen Jahren: \_\_\_\_\_

	Was ?	Stück / Tag
Letzte 12 Monate		
Letzte 3 Monate		
Letzte 7 Tage		
Heute		

- Sonstige Drogen:     ja     nein

Art der Substanz:

(seit) wie viele(n) Jahre(n): \_\_\_\_\_

	Letzte 7 Tage	Letzte 3 Monate	Letzte 12 Monate
Häufigkeit			

Art der Substanz:

(seit) wie viele(n) Jahre(n): \_\_\_\_\_

	Letzte 7 Tage	Letzte 3 Monate	Letzte 12 Monate
Häufigkeit			

Art der Substanz:

(seit) wie viele(n) Jahre(n): \_\_\_\_\_

	Letzte 7 Tage	Letzte 3 Monate	Letzte 12 Monate
Häufigkeit			



## **Danksagung**

An dieser Stelle möchte ich mich ganz herzlich bei Herrn PD Dr. Oliver Pogarell bedanken, der mir die Möglichkeit zu diesem Promotionsvorhaben gab und durch eine sehr unkomplizierte Betreuung zu einem erfolgreichen Gelingen dieser Arbeit beitrug.

Besonders herzlich bedanken möchte ich mich bei Frau Dr. Dipl.-Psych. Susanne Karch für die sehr engagierte Betreuung und Unterstützung während der Entstehung dieser Arbeit. Ihre Anregungen und die auch immer sehr kurzfristig möglichen Gespräche waren für das Gelingen dieser Arbeit besonders hilfreich.

Mein Dank gilt ebenfalls den technischen Assistentinnen aus der Abteilung für Klinische Neurophysiologie, die mich in die Ableitung von EEGs einwiesen und mir bei Problemen oft mit Rat und Tat zur Hilfe standen.

An dieser Stelle möchte ich mich auch ganz herzlich bei allen Untersuchungsteilnehmern bedanken, die durch ihre Teilnahme diese Studie erst möglich gemacht haben.

Last but not least danke ich meinem Ehemann der mich in vielerlei Hinsicht unterstützt hat und ohne dessen Rückhalt die Erstellung dieser Arbeit nicht möglich gewesen wäre. Danke auch für die fachlichen Ratschläge bei der Behebung der physikalischen Probleme zu Beginn der Untersuchung.