

Aus der Klinik und Poliklinik für Psychiatrie und Psychotherapie

des Universitätsklinikums Hamburg-Eppendorf

Ärztlicher Direktor: Prof. Dr. Dieter Naber

Der Gesichtsausdruck bei Schmerz – eine EMG-Studie

Dissertation

Zur Erlangung des Grades eines Doktors der Medizin

dem Fachbereich Medizin der Universität Hamburg

vorgelegt von

Kai Barbara Henke

aus Bad Schwalbach

Hamburg 2004

Angenommen vom Fachbereich Medizin

der Universität Hamburg am: 02.07.2008

Veröffentlicht mit Genehmigung des Fachbereichs

Medizin der Universität Hamburg

Prüfungsausschuss, der Vorsitzende: Prof. Dr. D. Naber

Prüfungsausschuss: 2. Gutachter: PD Dr. E. Scharein

Prüfungsausschuss: 3. Gutachter: PD Dr. R. Maß

When Pain occurs in man, „ the mouth may be closely compressed, or more commonly the lips are retracted, with the teeth clenched or ground together... the eyes stare wildly as in horrified astonishment, or the brows are heavily contracted.”

Charles Darwin

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung	1
1.1 Arbeitshypothese und Fragestellung	1
1.2 Stand der Forschung	2
1.2.1 Mimik als Ausdrucksmittel emotionaler Vorgänge	2
1.2.2 Schmerz in der Emotionsforschung	4
1.2.3 Die Bedeutung der Mimik für die Beurteilung von Schmerzen	5
1.2.4 Mimik bei Schmerz	7
1.3 Die Gesichts-EMG-Methode	18
1.4 Fragestellungen und Hypothesen.....	19
2 Methodik	21
2.1 Studienteilnehmer	21
2.2 Messinstrumente und Material	21
2.2.1 Das EMG-Gerät	21
2.2.2 Der Laser	22
2.2.3 Die Schmerzschwellenbestimmung.....	22
2.3 Beschreibung des Versuchs	23
2.4 Interpolation und Bearbeitung der aufgezeichneten Daten	29
2.5 Statistische Auswertung	30
3 Ergebnisse	31
3.1 Ergebnisse der weiblichen Probanden	31
3.1.1 Deskriptive Statistik	31
3.1.2 Wilcoxon-Test	37
3.2 Ergebnisse der männlichen Probanden	40

3.2.1 Deskriptive Statistik	40
4 Diskussion	43
4.1 Diskussion der Ergebnisse der weiblichen Probanden	43
4.2 Methodische Aspekte	46
4.2.1 Die Gesichts-EMG-Methode	46
4.2.2 Schmerzauslösung und Studiendesign.....	48
4.3 Vorschläge für die weitere Forschung auf diesem Gebiet	49
5 Zusammenfassung	51
6 Literaturverzeichnis	53
7 Anhang	60
7.1 Tabellenverzeichnis	60
7.2 Abbildungsverzeichnis	61
7.3 Abkürzungsverzeichnis	62
8 Danksagung	63
9 Lebenslauf	64

1 Einleitung

1.1 Arbeitshypothese und Fragestellung

Dr. med. K. Wolf, Dr. med. Th. Rädler, PD. Dr. phil. R. Maß, Prof. Dr. med. D. Naber und Prof. Dr. med. K. Wiedemann entwickelten ein Studiendesign, mit dem der Gesichtsausdruck bei Schmerz erforscht werden sollte. Dazu wurde nach einer experimentellen Schmerzauslösung durch einen Laser ein EMG über der mimischen Muskulatur abgeleitet. Die Studie wurde am Universitätsklinikum Hamburg-Eppendorf von Mitarbeitern der Arbeitsgruppe „Emotionsforschung“ der psychiatrischen Abteilung in Zusammenarbeit mit Mitarbeitern der physiologischen Abteilung durchgeführt.

Um den mimischen Ausdruck nach einem akuten Schmerzreiz oder unter einer chronischen Schmerzsituation zu beurteilen, wurden bisher Videoaufnahmen von Probanden mit FACS (Facial Action Coding System) analysiert. Für die bisherige Forschung auf diesem Gebiet stellten sich dabei mehrere Probleme:

Zum einen kann zwar mit FACS Mimik verlässlich beurteilt werden, jedoch erfaßt es nur Reaktionen der mimischen Muskulatur, die im sichtbaren Bereich liegen. Zudem nimmt diese Methode viel Zeit in Anspruch.

Zum anderen war für die bisherige Forschungsarbeit die Schmerzauslösung problematisch. Um den charakteristischen Gesichtsausdruck bei Schmerz zu beobachten, erscheint es notwendig, diese Empfindung in einer reinen Form auszulösen, damit es im mimischen Ausdruck nicht zu einer Überlagerung mehrerer Emotionen kommt. In einem Teil der vorangegangenen Arbeiten wurde experimenteller Schmerz entweder durch eine Übersteigerung anderer Empfindungen wie Druck oder Kälte oder durch Elektroschocks ausgelöst. Dabei zeigte sich, dass insbesondere durch akute kurze Reize, wie Elektroschocks, ein charakteristischer, eventuell schmerzspezifischer, Gesichtsausdruck zu beobachten ist. Bei länger andauernden Stimuli kommt es hingegen zu einer Habituation und einer Abschwächung der mimischen Reaktion. Andere Studien befassten sich mit unterschiedlichen Formen von klinischem Schmerz. Dazu wurden bei chronischen Schmerzpatienten durch Bewegungstests Schmerzen provoziert. Alle diese Methoden erzeugen jedoch neben Schmerzen immer auch weitere Empfindungen.

Die in der vorliegenden Studie verwendete Ableitung eines EMGs über der mimischen Muskulatur stellt im Vergleich zu FACS eine weitaus sensitivere Methode dar. Zum einen ist sie nicht von einer subjektiven Bewertung des Gesichtsausdrucks abhängig. Zum anderen können auch Reaktionen erfasst werden, die im nicht sichtbaren Bereich liegen, da bereits die dabei auftretenden Spannungsänderungen in der Muskulatur registriert werden. Neun mimische Muskeln wurden untersucht: M. occipitofrontalis (venter frontalis), M. corrugator supercilii, M. orbicularis oculi, M. levator labii superioris, M. zygomaticus major, M. risorius, M. depressor anguli oris und der M. mentalis.

Aus vorangegangenen Studien wurde deutlich, dass für die experimentelle Schmerzauslösung besonders Reize von akuter Qualität geeignet sind. Der hier verwendete Laser bietet diese Voraussetzung, zudem werden durch diesen Reiz ausschließlich Schmerzrezeptoren erregt, so dass die Auslösung einer reinen Schmerzempfindung möglich sein sollte.

Der bisher vermutete Gesichtsausdruck bei Schmerz besteht in einer Tonussteigerung in den mimischen Muskeln M. corrugator supercilii, M. orbicularis oculi und des M. levator labii superioris. Eine Beteiligung dieser Muskeln konnte in den meisten Studien in Zusammenhang mit dem Gesichtsausdruck bei Schmerz nachgewiesen werden (LeResche 1982, Craig & Patrick 1985, Patrick et al. 1986, LeResche & Dworkin 1988, Prkachin & Mercer 1989, Craig et al. 1991). Prkachin beschreibt, dass im Zusammenspiel dieser Muskeln ein universales Muster des Gesichtsausdrucks bei Schmerz, ein sogenanntes Schmerzpattern, bestehe (Prkachin 1992). Aktivitätssteigerungen in anderen Muskeln wurden seltener gefunden.

Mit der vorliegenden Arbeit soll dieses Ergebnis der bisherigen Forschung mithilfe der neuen Methode überprüft werden.

1.2 Stand der Forschung

1.2.1 Mimik als Ausdrucksmittel emotionaler Vorgänge

Charles Darwin stellte 1872 in seinem klassischen Werk *The expression of emotion in man and animals* die Vermutung auf, dass Emotionen und ihre Ausdrucksformen genetisch festgelegt seien (Darwin 1872). Er vertrat die Auffassung, dass sich mimische Ausdrucksformen primär aus „nützlichen miteinander verbundenen Gewohnheiten“ entwickelt haben. Ähnlich stellt es Tinbergen 1952 dar. Er beschreibt

die Entstehung der Mimik aus sogenannten Absichtsbewegungen. Diese Absichtsbewegungen bestünden aus unvollständigen, vorbereitenden Phasen von Aktivitäten wie Angriff, Fortbewegung, Verteidigung und aus Bewegungen, die mit Atmung oder Sehen verbunden seien. Im Laufe der Evolution habe sich der mimische Ausdruck zu einem System sozialer Kommunikation entwickelt, das Informationen über interne Zustände („Absichten“) liefere und Mitlebewesen in Bezug auf bestimmte Aspekte der Umwelt warne. Zum Beispiel signalisiere ein furchtsames Gesicht Gefahr und die Absicht des Organismus, zu fliehen oder sich zu unterwerfen. Evolutionär habe sich demnach beim Menschen, wie auch bei anderen Primaten, ein hoch differenzierter mimischer Muskelapparat entwickelt, der eine große Variabilität im mimischen Ausdrucksvermögen ermöglicht (Tinbergen 1952).

Auch transkulturelle Studien (Ekman 1973) und Studien an Kindern (Izard 1977) oder nicht-humanen Primaten (Andrew 1963), deuten darauf hin, dass die Grundmuster mimischen Ausdrucksvermögens im Erbgut festgelegt sind (Dimberg 1983, 1988, Öhman & Dimberg 1984). Des Weiteren konnten diese zeigen, dass mimische Äußerungen in diesem Sinne instinktiv sind und reflexartig oder automatisch als Teil des Emotionsprozesses auftreten.

Die dargestellte Theorie der biologischen Determination von Emotionen und des Ausdrucks von Emotionen fand Eingang in einige moderne Emotionstheorien (Ekman 1973, Izard 1977, Tomkins 1962, 1963), die bestimmten Emotionen die Bedeutung von universellen „Grundgefühlen“ zuweisen. Grundgefühle haben eine von Natur aus festgelegte neurale Grundlage, einen charakteristischen mimischen Ausdruck oder ein charakteristisches neuromuskulär-expressives Muster sowie eine eigene subjektive oder phänomenologische Qualität (Izard et al. 1984). Zu diesen Grundgefühlen zählen Interesse-Erregung, Freude, Überraschung, Kummer-Schmerz, Zorn, Ekel, Verachtung, Furcht, Scham und Schuldgefühl (Izard 1994).

Die gegenwärtige Emotionsforschung basiert am ehesten auf dem „psychobiological view“ mit seinem „categorical approach“ (Panksepp 1998). Dieser weithin anerkannten Theorie liegen neurowissenschaftliche Erkenntnisse zu Grunde. Demnach interagieren zentrale emotionale Systeme im Gehirn, zu verstehen als „basic emotions“, mit niedrigen und höheren Gehirnfunktionen. Es bleibt jedoch noch unklar und empirisch unbewiesen, welche Emotionen basic emotions sind. Diese sollen systemgenetisch mit Gesichtsausdrücken verbunden sein, erkennbar als „rapid facial reactions“. (Dimberg

1998). Die nicht-basic-emotions werden als sozial konstruiert und / oder aus basic emotions entstanden verstanden. Die vermutete Anzahl der basic emotions variiert von vier (Panksepp 1998) bis zehn oder mehr (Izard 1977). Vier davon sind Bestandteil aller Theorien: Furcht, Wut, Kummer und Freude.

Obgleich fundamentale Emotionen für angeborene transkulturelle Phänomene gehalten werden, ist anerkannt, dass individuelle und soziokulturelle Faktoren bei der Entscheidung über Bedingungen und Konsequenzen von Emotionsäußerungen eine bedeutende Rolle spielen (Izard 1994). Wie es Ekman ausdrückt, habe jede Kultur ihre eigenen „Äußerungsregeln“, deren Verletzung mehr oder weniger ernsthafte Konsequenzen für das Individuum haben könne. Diese kulturellen Regeln könnten fordern, bestimmte Emotionsäußerungen zu unterdrücken oder zu verhüllen und andere wiederum häufig zu zeigen. Beispielsweise fühlten sich Angehörige oft verpflichtet zu lächeln, während sie Kummer empfinden, und Japaner seien von Kindheit an gezwungen, selbst angesichts von Trauer und Schmerz zu lächeln.

Grundlage hierfür ist die Fähigkeit, Emotionen auch willkürlich zu äußern. Dies dient insbesondere dazu, Mitmenschen mitzuteilen, dass man eine bestimmte Emotion erlebt. Willkürliche Äußerungen können als eine soziale Fertigkeit betrachtet werden, und Menschen unterscheiden sich stark hinsichtlich des Ausmaßes, in welchem sie diese Fertigkeit entwickeln und einsetzen. Durch Lernprozesse und Erfahrung entwickelt sich die Fähigkeit, die Äußerung von Emotionen zu unterdrücken oder abzuwandeln, jeweils unterschiedlich stark.

Nach diesen modernen Erkenntnissen ist das Gesicht das Hauptzentrum für das Senden und Empfangen sozialer Signale. Diese wiederum sind entscheidend für die Entwicklung des Individuums, für zwischenmenschliche Kommunikation und für den Zusammenhalt von Familie und Gesellschaft. Die Mimik eines Menschen liefert unmittelbare und spezifische Informationen in Bezug auf menschliche Emotionen und ist dadurch sowohl im alltäglichen Miteinander als auch als diagnostisches Mittel für die Erforschung von Emotionen von großer Bedeutung.

1.2.2 Schmerz in der Emotionsforschung

Darwin beschrieb 1872 seine Beobachtungen an Menschen und Tieren, die unter Schmerzen litten (Darwin, 1872 S. 79-84). Dabei stellte er die Theorie auf, dass es

durch den Reiz eines Empfindungsnerfs je nach Stärke des Reizes zu einer Erregung des gesamten Nervensystems kommen könne. Diese Theorie untermauerte er mit der Erkenntnis von Physiologen, die beschrieben, dass durch die Erregung des Nervensystems „Nervenkraft“ freigesetzt werde, die sich in einer Aktivierung zahlreicher körperlicher Funktionen äußere. So zum Beispiel in heftigen Empfindungen und Bewegungen, lebendigem Denken und einer vermehrten Tätigkeit der Schweißdrüsen. Dabei würde sich die Erregung zunächst in den am häufigsten gebrauchten Bewegungsbahnen ausbreiten. Es komme dadurch zuerst zu einer Bewegung der Gesichts- und Atmungsmuskeln, danach zu Bewegungen der oberen und unteren Extremitäten und schließlich zu Bewegungen des gesamten Körpers.

Schmerz gehört nach Ekman (Ekman 1992a) nicht zu den Grundgefühlen. Zu diesen zählt er Freude, Trauer, Angst, Ekel/Verachtung, Wut/Ärger und Überraschung. Auch von Izard wurde Schmerz aus der Gruppe der Grundgefühle ausgeschlossen (Izard 1977). Er ist der Ansicht, dass sich Schmerz aus mehreren Emotionen zusammensetzt, bzw. eine spezielle Form der so genannten Arousal-Reaktion darstellt. Tomkins beschreibt Schmerz als ein Reaktionsmuster, das sich zwischen Antriebs- und Affektmechanismen befindet (Tomkins 1982 S.353). Da Schmerz von diesen Emotionsforschern nicht als Grundgefühl verstanden wird, betrieben sie keine weitere Anstrengung, ihn zu erforschen.

Dennoch ist es möglich, dass auch für Schmerz ein Gesichtsausdruck gleichbleibender Qualität, im Sinne eines spezifischen Musters im Zusammenspiel der mimischen Muskeln, ein sogenanntes Pattern, existiert. Des Weiteren erscheint es möglich, dass in dem Gesichtsausdruck bei Schmerz mimische Reaktionen weiterer Emotionen wie Angst oder Wut beinhaltet sein könnten (LeResche 1984). Zudem könnte, auch wenn ein spezifischer Gesichtsausdruck für Schmerz existieren sollte, dieser begleitet oder manchmal sogar überlagert sein von anderen Emotionen (Plutchik 1962). Es besteht auch die Möglichkeit, dass unterschiedliche Qualitäten von Schmerz existieren, die von unterschiedlichen Gesichtsausdrücken begleitet werden (LeResche 1984).

1.2.3 Die Bedeutung der Mimik für die Beurteilung von Schmerzen

Schmerz wird durch die I.A.S.P. (International Association for the Study of Pain) als eine unangenehme sensorische und emotionale Erfahrung im Zusammenhang mit wirklicher oder potentieller Gewebsschädigung definiert (I.A.S.P. 1979). Des Weiteren

wird angenommen, dass Schmerz immer eine subjektive Empfindung sei. Jedes Individuum erlerne die Bedeutung des Wortes Schmerz durch Erfahrungen in Verbindung mit Verletzungen (Merskey 1991).

Dieser Definition zufolge, und um dem subjektiven Empfinden von Schmerz gerecht zu werden, ist für die Erfassung und Beurteilung von Schmerzen eine eigene Beurteilung durch das Individuums unumgänglich. Dies geschieht in der Forschung und in der Klinik mit Hilfe von „Self-Reports“. Dabei ist jedoch Voraussetzung, dass die betroffene Person in der Lage ist, sich zu ihrem Schmerzempfinden zu äußern. Neugeborenen oder Kleinkindern, geistig Behinderten, Komapatienten, Dementen und allen verbal gehandicapten Personen kann man mit dieser Methode nicht gerecht werden (LeResche 1984, Anand & Craig 1996).

Zudem sind Self-Report-Tests von einer Vielzahl äußerer und individueller Bedingungen abhängig und beeinflussbar. Die Beziehung zwischen gefühltem und berichtetem Schmerz ist abhängig von der Person des Untersuchers, dem Messinstrument (Interview oder Schmerzskala), dem Grund der Untersuchung und der individuellen Erwartung von Konsequenzen, die aus der Beschreibung resultieren könnten. Es konnten große Differenzen zwischen berichtetem Schmerz, nonverbal ausgedrücktem Schmerz und tatsächlicher Gewebsschädigung festgestellt werden (Manne et al. 1992, Doherty et al. 1993, Craig et al. 1993). Es gibt Hinweise darauf, dass Self-reports stärker manipulierbar sind als nonverbale Äußerungen von Emotionen (Ekman & Friesen 1969, 1974). Dagegen besteht eine enge Korrelation zwischen dem körperlichen Ausdrucksverhalten eines Menschen (expressive behaviour), zu dem die Mimik gehört, der Intensität des Schmerz auslösenden Stimulus sowie dem berichteten Schmerzempfinden. Beobachter, die den Gesichtsausdruck von Personen nach einem Schmerzreiz beurteilen sollten, konnten zutreffende Rückschlüsse auf die Intensität des Reizes ziehen (Prkachin & Craig 1985).

Dies veranschaulicht die Bedeutung der Mimik als nonverbale Ausdrucksmöglichkeit. Sie ermöglicht auch Personen, die nicht oder nicht mehr zu einer verbalen Äußerung fähig sind, die Möglichkeit sich der Außenwelt mitzuteilen.

1.2.4 Mimik bei Schmerz

Charles Darwin beschrieb 1872, dass Schmerz dazu führe, dass „die Augen wie in fürchterlichem Erstaunen wild heraus starren, oder die Augenbrauen heftig zusammengezogen werden“. Dazu werde „der Mund fest zusammengepreßt, oder gewöhnlicher die Lippen zurückgezogen, während die Zähne zusammen gepreßt sind oder knirschen“. Die Nasenlöcher seien erweitert und erzitterten oft, oder der Atem werde angehalten (Darwin 1872, Hrsg. Ekman 2000, S.79-80).

Die bereits 1872 von Darwin veröffentlichten Beobachtungen bezüglich des Gesichtsausdrucks bei Schmerz fanden in der Forschung über neunzig Jahre keine weitere Beachtung. Erst in den vierziger Jahren des zwanzigsten Jahrhunderts wurde die Forschung auf diesem Gebiet wieder aufgenommen. Schmerzforscher, die bei Probanden kutane Hitze applizierten, berichteten, dass das erste Zeichen einer Abwehrreaktion in einer Muskelkontraktion der Augenmuskeln im lateralen Bereich bestehe. Die Probanden fanden es schwierig, diese Reaktion zu kontrollieren, wenn der Stimulus eine gewisse Stärke erreicht hatte (Chapman & Jones 1944).

In den folgenden Studien zum Gesichtsausdruck bei Schmerz lassen sich zwei Designs unterscheiden. Das eine versucht den bei Schmerz auftretenden Gesichtsausdruck und die ihm zu Grunde liegenden muskulären Komponenten zu analysieren („component studies“), das andere zielt ab auf die durch den Gesichtsausdruck vermittelte Information und somit auf soziale Kommunikation. Diese Studien arbeiten mit ungeschulten Betrachtern, die präsentierte Gesichtsausdrücke auf deren Qualität und Intensität beurteilen sollen („judgement studies“).

Einige Studien, in denen Probanden aufgefordert wurden, die Gesichtsausdrücke von Menschen auf Fotos oder in Videoaufnahmen zu beurteilen, zeigten eine hohe interindividuelle Identifikationssicherheit darüber, welche der präsentierten Menschen wohl einem schmerzhaften Stimulus ausgesetzt waren. In einer dieser Studien differenzierten amerikanische Betrachter Gesichtsausdrücke von Schmerz, Trauer und Angst (Boucher 1969). Dieses Ergebnis wurde repliziert mit brasilianischen Betrachtern. In einer weiteren Studie israelischer Forscher wurden die Gesichter depressiver Patienten und gesunder Probanden durch Betrachter als signifikant schmerzgezeichnet beurteilt, während diese Schmerzen durch eine Kälte-Druck-Apparatur ausgesetzt waren (Ganchrow et al. 1976). Zusammenfassend zeigen die

Ergebnisse dieser Studien, dass Beobachter unterschiedlicher Kulturen in der Lage sind, mimische Muster im Zusammenhang mit Schmerz zu identifizieren. Jedoch werden die Beurteilungen der Beobachter von vielen Faktoren beeinflusst, wie zum Beispiel deren Geschlecht, Beruf oder der Anzahl der bereits betrachteten schmerzverzerrten Gesichter. So erkennen Frauen mit einer höheren Sensibilität den Gesichtsausdruck bei Schmerz als Männer (Prkachin 2004), wohingegen es nach häufiger Präsentation solcher Gesichtsausdrücke (Prkachin 2004), sowie bei im Gesundheitssystem tätigen Personen zu einer Gewöhnung, d.h. zu einer Unterschätzung der dargestellten Schmerzen kommt (Prkachin 2001, Marquié et al. 2003).

Um also den Gesichtsausdruck bei Schmerz und seine einzelnen Komponenten genauer zu analysieren bedarf es eines präziseren Messinstruments. Dieses wurde 1978 mit der Entwicklung von FACS (Facial Action Coding System) gefunden. Mit dieser Methode kann mimischer Ausdruck mit Hilfe von Videoaufnahmen auf der Basis der ihm zugrundeliegenden muskulären Aktion bewertet werden. FACS beurteilt die Bewegungen des Gesichts bzw. dessen Ausdruck durch eine detaillierte Analyse einzelner Bewegungskomponenten. Dafür wird das Gesicht in 44 unterschiedliche Bewegungseinheiten, die sogenannten Action Units (AUs), unterteilt. Durch eine AU wird eine Bewegung des Gesichts beschrieben, die entweder durch einen mimischen Muskel oder eine Gruppe von Muskeln hervorgerufen wird.

Die AUs können durch FACS-trainierte Personen (FACS Coders) identifiziert werden. Der Grad der Muskelexkursion kann auf einer Fünfpunkteskala bewertet werden, wodurch Aussagen über die Intensität der Muskelbewegungen getroffen werden können. Die Ergebnisse von FACS-Analysen weisen eine gute Reproduzierbarkeit auf, das heißt sie sind weitgehend unabhängig von der Person des Coders.

Die Tabelle auf der folgenden Seite gibt eine Übersicht über die Action Units, die am Gesichtsausdruck bei Schmerz beteiligt sind, deren englische Bezeichnung und Funktion.

Zum besseren Verständnis soll im folgenden Text die englische Bezeichnung der Action Units verwendet werden.

Tab. 1: Am Gesichtsausdruck bei Schmerz beteiligte Action Units und deren Funktion nach FACS.

Action Unit	Bezeichnung	Funktion
2	Outer brow raise	Die innere Kannte der Augenbraue wird nach oben gezogen, das Augenlid gedehnt.
4	Brow lowerer	Die Augenbrauen werden herunter und zusammengezogen. Das Lid wird nach unten gezogen.
6	Cheek raise	Die Haut der Schläfen und Wangen wird zu den Augen hin gezogen, was den Augenspalt verschmälert.
7	Lids tight	Die Augenlider werden gespannt, der Augenspalt verschmälert.
9	Nose wrinkle	Die Haut um die Nase wird gerunzelt.
10	Upper lip raise	Die Oberlippe wird nach oben gezogen, mit dem medialen Bereich höher als dem lateralen.
12	Lip corner pull	Die Mundwinkel werden nach hinten und oben gezogen.
17	Chin raise	Kinn und Unterlippe werden nach oben gezogen, so dass die Unterlippe hervorsteht.
20	Lip stretch	Die Lippen werden seitwärts gezogen, so dass der Mund länger aussieht.
25	Lips part	Die Lippen werden leicht geöffnet, der Kiefer bleibt geschlossen.
26	Jaw drop	Die Kiefer gehen auseinander, so dass ein Spalt zwischen den Zähnen sichtbar wird.
43	Eyes close	Die Lider werden geschlossen, ohne dass eine Spannung in den Lidern sichtbar wird.
45	Blink	Die Augen werden schnell geschlossen und wieder geöffnet.

In den folgenden Studien wurde der Gesichtsausdruck mit Hilfe von FACS codiert, oder er wurde von ungeschulten Betrachtern beurteilt („judgement studies“).

Die erste Anwendung in Bezug auf Schmerz fand FACS 1982 durch LeResche. Sie codierte sechzehn Fotografien, die Personen in akuten, schweren Schmerzsituationen, wie z.B. Frauen während einer Geburt, schwer verletzte Menschen oder Patienten bei chirurgischen Eingriffen ohne Anästhesie zeigten. Dabei fand sich ein Pattern, das sich zusammensetzte aus „brow lowering, with skin drawn in tightly around closed eyes“ sowie „horizontally stretched open mouth, sometimes with deepening of the nasolabial furrow“. Diese Ergebnisse wurden mit FACS-Codes von anderen negativen Emotionen wie Angst, Ärger und Trauer verglichen. Dabei stellte sich heraus, dass der für Schmerz vermutete Gesichtsausdruck zwar in Teilen dem der anderen Emotionen ähnelte, jedoch erschien es auch unwahrscheinlich, dass er ausschließlich eine Mischung dieser Emotionen darstellte (LeResche 1982).

Um den in der vorher beschriebenen Studie angenommenen Gesichtsausdruck bei Schmerz zu überprüfen, wurde dieser in unterschiedlich starken Ausprägungen 132

Studenten und Zahnärzten in Form von Dias präsentiert. Damit sollte zudem der soziale Wiedererkennungswert dieses Gesichtsausdrucks getestet werden. In 89% der Fälle, in denen dieser Schmerzausdruck gezeigt wurde, wurde er auch als Schmerz beurteilt.

In folgenden Studien wurden nun Schmerzen experimentell ausgelöst und der Gesichtsausdruck mit FACS codiert. Dazu wurde während des Versuchs das Gesicht der Probanden mit einer Videokamera gefilmt. Um den authentischen Gesichtsausdruck der Probanden festhalten zu können, ist es dabei notwendig, dass sich diese der Aufzeichnung nicht bewusst sind - die Kamera sich also in einem anderen Raum hinter einem nur in eine Richtung durchsichtigen Spiegel befindet - oder aber, sollte dies nicht möglich sein, die Probanden nicht wissen dürfen, dass in ihrem Gesichtsausdruck das Hauptinteresse des Versuchs liegt.

Dazu verwendete Craig 1985 Kälte als Schmerzauslöser (Craig & Patrick 1985). Er konstruierte einen Behälter, der mit Eiswasser gefüllt war und in den die Hand des Probanden bis 16 cm unter den Ellbogen eingetaucht wurde. An dieser Studie nahmen 72 weibliche Studenten der University of British Columbia teil. Die Probanden tauchten ihre Hand solange in den Behälter mit Eiswasser, bis sie dies nicht mehr tolerieren wollten und selbständig ihre Hand herauszogen. Für die Auswertung wurden fünf jeweils 10 Sekunden lange Videosegmente der Aufzeichnung mit FACS codiert.

Die Ergebnisse zeigten eine Zunahme der Häufigkeit folgender Action Units: cheek raise, lids tight, upper lip raise, lip corner puller, lips part, jaw drop, mouth stretch und eyes close, blink. Dabei bestand eine große interindividuelle Variabilität der gezeigten Action Units. Diese Reaktionen waren vor allem direkt nach dem Eintauchen der Hand in das Eiswasser zu beobachten und nahmen, gegen die Erwartung, über die Zeit des Versuchs ab. Dies legt nahe, dass es zu einer Habituation an den Stimulus gekommen war, eventuell sogar bevor es überhaupt zu einem Schmerzempfinden kam. Craig beschreibt die beobachtete Reaktion als nicht unbedingt schmerzspezifisch, da sie besonders am Beginn des Versuchs auftrat, als eigentlich durch die Kälte noch kein Schmerz ausgelöst werden konnte. Er interpretiert, dass sich andere Emotionen mit eingemischt haben könnten oder dass die Ergebnisse auch als Teil einer Orientierungsreaktion bzw. Startlereaktion gewertet werden könnten. Wahrscheinlich handelte es sich um einen Gesichtsausdruck, der aus einer Mischung unterschiedlicher Empfindungen entstanden ist.

Aus der oben beschriebenen Studie konnte die Schlussfolgerung gezogen werden, dass die mimische Reaktion auf einen Schmerzreiz zu Beginn des Reizes besonders ausgeprägt ist und dass diese Reaktion am besten mit einem akuten kurzen Schmerzreiz ausgelöst werden kann. Dazu verwendeten Patrick et al. eine Serie von Elektroschocks (Patrick et al. 1986). Diese Studie soll genauer beschrieben werden, da sie im Studiendesign der vorliegenden Arbeit ähnelt. An dieser Studie nahmen dreißig weibliche Studenten der University of British Columbia teil. Die Elektroschocks wurden über Elektroden auf dem linken Unterarm appliziert. Zuerst wurde eine in der Intensität aszendierende Elektroschockserie zur Bestimmung der persönlichen Schmerzschwelle durchgeführt. Die Probanden bewerteten ihr Schmerzempfinden auf einer 14-Punkte-Ratingskala von nicht wahrnehmbar, über erstmalig schmerzhaft bis unerträglich schmerzhaft. Anschließend wurde eine Elektroschockserie von 15 Schocks durchgeführt, die angepaßt war an die Ergebnisse der aszendierenden Serie. Drei der Schocks hatten zwei Drittel der Intensität des erstmalig als schmerzhaft (painful) beurteilten Schocks, sechs Schocks entsprachen der persönlichen Schmerzgrenze (dem Wert, der erstmals als schmerzhaft bezeichnet wurde), drei Schocks entsprachen einem Drittel der Spanne zwischen der Schmerzgrenze und dem als unerträglich schmerzhaft angegebenen Wert, drei Schocks entsprachen zwei Dritteln dieser Spanne.

Ein zweiter Teil dieser Studie bestand in der Beurteilung der Videobänder, d.h. des Gesichtsausdrucks der Probanden, durch dreißig ungeschulte Betrachter (Observers). Die Betrachter bewerteten das Unbehagen (discomfort) der Probanden auf einer 7-Punkte-Ratingskala (0: subject felt nothing, 6: strong pain). Die gleichen Bildausschnitte, 0,5 s vor Elektroschock und 2,5 s danach, wurden mit FACS codiert. Die Beurteilung der Beobachter korrelierte gut, ja sogar besser, mit der Intensität der Elektroschocks als die von den Probanden angegebene Schmerzhaftigkeit. Die FACS-Codierung ergab eine Zunahme der Häufigkeit in folgenden Action Units: brow lowerer, cheek raise, upper lip raise und blink. Patrick fasst zusammen, dass die Reaktion auf einen kurzen schmerzhaften Stimulus im Wesentlichen in einer Kontraktion der medialen Muskulatur des Gesichts besteht. Er betrachtet diese Ergebnisse als Hinweis auf ein schmerzspezifisches Pattern.

In den folgenden Studien wurde der Gesichtsausdruck bei klinischem Schmerz an Patienten mit unterschiedlichen Formen von chronischen Schmerzsyndromen untersucht.

LeResche provozierte durch eine spezielle Untersuchungstechnik Schmerzen bei Patienten mit einem orofazialen Schmerzsyndrom (TMD) (LeResche & Dworkin 1988). Dabei fand sie eine Zunahme des Auftretens folgender Action Units: cheek raise, lids tight, brow lowering und eyes close, blink. Zwar konnten noch weitere Bewegungen beobachtet werden, doch traten diese jeweils nur in unter 5% der Gesichtsausdrücke auf (AU 10, AU 9, AU 20, AUs 25/26). Diese Ergebnisse entsprechen denen von LeResche 1982 und Patrick et al. 1986 beschriebenen, so dass angenommen wurde, dass der Gesichtsausdruck bei klinischem und experimentell ausgelöstem Schmerz weitgehend übereinstimme, wenn man von den immer wieder beigemischten zusätzlichen Emotionen absehe.

Prkachin und Mercer verglichen Patienten (14 Männer, 10 Frauen), die unter Schulterschmerzen litten mit einer gesunden Kontrollgruppe (Prkachin & Mercer 1989). Es wurde sowohl klinischer Schmerz durch Bewegungstests als auch experimenteller Schmerz durch Druck, z.B. auf die Tibia, ausgelöst.

Im Vergleich zu der Kontrollgruppe konnte bei den Patienten während der Bewegungstests ein Gesichtsausdruck festgestellt werden, der im Wesentlichen aus einer Verschmälerung des Augenspalts durch brow lowering, cheek raise und lids tight bestand. Auch hier konnten weitere, allerdings seltener auftretende Action Units beobachtet werden (AU 9, 12, 20, 25, 26, 27). Diese Ergebnisse stimmen mit früheren Studien überein (LeResche 1982, Craig & Patrick 1985, LeResche & Dworkin 1988). Bei einem Vergleich von klinischem mit experimentellem Schmerz konnte festgestellt werden, dass brow lowering und eye closing in beiden Arten die stärksten Reaktionen darstellten. Klinischer Schmerz zeigte aber zudem eine größere Variabilität der beteiligten Action Units. Angemerkt sei hier, dass sich ein bereits über einen längeren Zeitraum andauernder chronischer klinischer Schmerz stärker im Gesichtsausdruck widerspiegelt als Schmerzen, die erst kurz bestehen (LeResche et al. 1992).

Aus den oben beschriebenen Ergebnissen wurde die Schlußfolgerung gezogen, dass sich der Gesichtsausdruck bei Schmerz abhängig von der Intensität und der Dauer des Schmerzauslösers entwickelt. Danach trete zuerst ein Schließen der Augen, das durch

die Action units eyes close und brow lowering bezeichnet wird, auf. Später kommt es zu einem festen Zusammenkneifen der Augen mit Beteiligung der Action Units cheek raise, eyes close, lids tight. Bei den Reaktionen, die das mittlere Gesicht betreffen, sei die Abfolge upper lip raise, dann nose wrinkling anzunehmen. Als letztes tritt eine Öffnung des Mundes mit Beteiligung der Action units Lips part, jaw drop, auf, gefolgt von einem horizontalen Strecken der Lippen, gekennzeichnet durch die Action Units lip corner pull und lip stretch.

Zusammenfassend beschreiben Prkachin und Mercer den Gesichtsausdruck bei Schmerz als deutlich charakterisiert durch eine Verschmälerung des Augenspalts bzw. durch ein Schließen der Augen, zu dem in komplexer Art und Abfolge weitere Bewegungen hinzutreten.

Eine weitere Studie mit Schmerzpatienten führten Craig et al. 1991 durch. Dabei untersuchten sie 60 männliche und 60 weibliche Probanden mit chronischen Rückenschmerzen im Bereich der Lendenwirbelsäule (Craig et al. 1991). Durch spezielle Bewegungstests wurden Schmerzen ausgelöst sowie die Stärke der akuten und chronischen Schmerzen mit Self-Report-Tests erfasst. Neben dem Gesichtsausdruck bei Schmerz sollte in dieser Studie überprüft werden, ob es den Probanden gelingt, diesen zu unterdrücken (suppressed oder masked pain) oder nachzustellen (faked pain). Dazu wurden sie, nachdem die Bewegungstests durchgeführt worden waren, aufgefordert die Bewegung, die die stärksten Schmerzen auslöste, zu wiederholen und dabei möglichst nicht zu zeigen, dass sie Schmerzen empfinden. Anschließend wiederholten sie eine Bewegung, die zuvor gar keine Schmerzen auslöste, wobei die Probanden aufgefordert wurden so zu tun, als sei diese schmerzhaft. Die Ausschnitte des Videobandes mit dem stärksten, dem unterdrückten und dem gestellten Schmerz wurden mit FACS codiert.

Der Gesichtsausdruck bei dem stärksten ausgelösten Schmerz setzte sich zusammen aus brow lowering, cheek raising, tightening of the eye lids, raising the upper lip, partening of the lips and closing the eyes. Auch in dieser Studie wurde eine große interindividuelle Variabilität der am Gesichtsausdruck bei Schmerz beteiligten Bewegungen festgestellt. Deutlich wird dies in den am häufigsten aufgetretenen Bewegungen brow lowering und eyes close. Nur 45% der Probanden zeigte eine Bewegung in einer oder beiden dieser Action Units.

Die Probanden waren erfolgreich im Unterdrücken und Nachstellen des Gesichtsausdrucks bei Schmerz. Unterdrückten sie ihn, konnten keine Reaktionen festgestellt werden - bis auf eine diskrete Anspannung um die Augen. Stellten sie ihn nach, unterschied er sich qualitativ nicht von dem oben genannten Muster bei den stärksten Schmerzen - bis auf die zusätzliche Bewegung Lip corner pull. Die Intensität hingegen war stärker ausgeprägt. Diese Ergebnisse in Bezug auf echten, nachgestellten und unterdrückten Schmerz konnten in späteren Studien bestätigt werden (Poole & Craig 1992, Prkachin 1992/b, Hadjistavropoulos & Craig 1994, Hill & Craig 2002).

Zudem konnte in dieser Studie ein auffälliger Unterschied in der Expressivität von Männern und Frauen gefunden werden. Doppeltl so viele Frauen wie Männer wurden als sehr expressiv und fünfmal so viele Männer wie Frauen wurden als sehr unexpressiv beurteilt.

Eine Zusammenfassung der mit FACS arbeitenden Studien und der Bewegungen, die am Gesichtsausdruck bei Schmerz beteiligt sind, gibt Tab. 2.

Tab. 2: Action Units, die in früheren Studien signifikante Beziehungen zu Schmerz zeigten. Die häufig beobachteten Action Units sind rot unterlegt.

Action Unit	Funktion der Action Unit	Studien in denen diese AUs beschrieben wurden
AU4	brow lowerer	LeResche (1982) Patrick et al. (1986) LeResche&Dworkin(1988) Prkachin & Mercer (1989) Craig et al. (1991)
AU6	Cheek raise	LeResche (1982) Craig&Patrick (1985) Patrick et al. (1986) LeResche&Dworkin(1988) Prkachin&Mercer(1989) Craig et al. (1991)
AU7	Lids tighten	LeResche (1982) Craig&Patrick (1985) LeResche&Dworkin(1988) Prkachin & Mercer (1989) Craig et al. (1991)
AU9	Nose wrinkle	LeResche&Dworkin(1988) Prkachin & Mercer (1989)
AU10	Upper lip raise	Craig&Patrick (1985) Patrick et al. (1986) LeResche&Dworkin(1988) Prkachin & Mercer (1989) Craig et al. (1991)
AU12	Oblique lip raise	Craig&Patrick (1985) Prkachin & Mercer (1989)
AU20	Lip stretch	LeResche (1982) Prkachin & Mercer (1989)
AU25	Mouth open	Craig&Patrick (1985) Craig et al. (1991)
AU26	Jaw drop	Craig&Patrick (1985)
AU27	Mouth stretch	LeResche (1982) Prkachin & Mercer (1989)
AU43	Eyes close	LeResche (1982) Craig&Patrick (1985) Prkachin & Mercer (1989) Craig et al. (1991)
AU45	Blink	Craig&Patrick (1985) Patrick et al. (1986) LeResche&Dworkin(1988)

Aus den oben genannten Studien wird deutlich, dass eine Vielzahl von Bewegungen am Gesichtsausdruck bei Schmerz beteiligt ist. Einige davon, im Wesentlichen die Augen betreffende - brow lower, cheek raise, lids tighten und eyes close - konnten in den meisten Studien festgestellt werden, andere hingegen wurden nur in wenigen Studien beschrieben (siehe Tabelle).

Prkachin stellte 1992 die Hypothese auf, dass es ein Grundmuster des Gesichtsausdrucks bei Schmerz gäbe, welches unabhängig von der Qualität des auslösenden Reizes sei. Zu diesem Grundmuster könnten andere Bewegungen je nach Reiz, Intensität der Empfindung und Beimischung anderer Emotionen hinzutreten. Um dieses Grundmuster zu identifizieren, führte er eine Studie mit einundvierzig Probanden (20 Männer, 21 Frauen) durch, in der er vier unterschiedliche Schmerzauslöser verwendete: Elektroschocks, Kälte, Druck und Schmerzen, die durch Ischämie ausgelöst werden (Prkachin 1992).

Er fand vier Reaktionen, die bei allen Auslösern zu beobachten waren, d.h. die bei allen Schmerzauslösern häufiger während der schmerzhaften im Vergleich zu den schmerzlosen Perioden auftraten. Dazu gehörten brow lowering, tightening and closing of the eyelids, nose wrinkling und upper lip raise. Ein Zusammenspiel dieser Muskeln beschreibt er als ein jedem Schmerzausdruck zugrunde liegendes Muster (Pattern). Dieses Pattern war am deutlichsten als Reaktion auf die Elektroschocks ausgeprägt. Da es jedoch bei allen vier Auslösern zu beobachten war, zieht er die Schlussfolgerung, dass dieses Pattern den größten Teil der bei Schmerz auftretenden Gesichtsreaktion beinhalte und dass dieses Pattern als ein universaler Ausdruck von Schmerz gelten könne.

Zusätzlich zu dem beschriebenen universalen Pattern fand er Muskelbewegungen, die nur bei einzelnen Auslösern festgestellt werden konnten. So konnte lip corner pull besonders während der Elektroschocks und Kälte beobachtet werden. Bei Druck und Ischämie waren Intensität und Dauer in dieser Aktion Unit geringer als während des schmerzlosen Intervalls. Das Gleiche konnte für das Öffnen des Mundes gefunden werden. Daraus folgert er, dass einige Muskelreaktionen stimuluspezifisch sein könnten.

Der Gesichtsausdruck bei Schmerz sei also zum einen durch das beschriebene universelle Grundmuster charakterisiert, zum anderen seien weitere Bewegungen, die

als stimuluspezifisch angesehen werden könnten, an diesem Gesichtsausdruck beteiligt.

Dieses von Prkachin beschriebene Grundmuster bei Schmerz, bestehend aus brow lowering, tightening the orbital muscles around the eye, upper lip raise / nose wrinkling, wurde in nachfolgenden Judgement Studien als für die mimische Reaktion bei Schmerz charakteristisch angenommen. Diese Studien sollten herausfinden, ob ungeschulte Betrachter (Prkachin 1994) oder Betrachter, die eine 30-minütige Schulung erhielten, in der sie auf das Erkennen der oben genannten Bewegungen trainiert wurden (Solmon et al. 1997), in der Lage sind, die Intensität des empfundenen Schmerzes zutreffend zu beurteilen. Dabei stellte sich heraus, dass die Betrachter aus dem Gesichtsausdruck der Probanden Rückschlüsse auf die Intensität des empfundenen Schmerzes ziehen können, dass aber insgesamt und insbesondere bei hohen Intensitäten das Schmerzempfinden unterschätzt wurde. Die Probanden, die eine Schulung erhielten, konnten geringfügig bessere Beurteilungen treffen.

Ein weiteres Gebiet, auf dem die Analyse der Mimik bei Schmerz eine breite Anwendung findet, besteht bei der Erforschung von Schmerz bei Kindern und Neugeborenen. Hierauf soll in der vorliegenden Arbeit jedoch nicht weiter eingegangen werden.

Faßt man die Ergebnisse der beschriebenen Studien zusammen, besteht das Grundmuster des Gesichtsausdrucks bei Schmerz im Wesentlichen aus einem Schließen bzw. einem Zusammenkneifen der Augen. Bewegungen des Mittelgesichts, die aus einem Rümpfen der Nase und einem Anheben der Oberlippe bestehen, gehören auch zu diesem Grundmuster, sind allerdings weniger stark ausgeprägt. Zusätzlich zu diesem Grundmuster gibt es eine Vielzahl von Bewegungen, die regelmäßig im Zusammenhang mit Schmerz beobachtet werden können. Diese zusätzlichen Bewegungen könnten stimuluspezifisch oder Ausdruck unterschiedlicher Schmerzqualitäten und Schmerzintensitäten sein. Da Schmerz nicht zu den Grundgefühlen gehört, könnte die Reaktion auch als ein allgemeines Warnsignal verstanden werden, bei dem es zu einer Vermischung unterschiedlicher Emotionen (Schmerz, arousal, startle, Angst) und somit auch zu einer Überlagerung unterschiedlicher Gesichtsausdrücke kommt.

Es besteht eine große interindividuelle Variabilität bezüglich der einzelnen Komponenten des mimischen Ausdrucks bei Schmerz. Insbesondere scheinen Frauen eine stärkere Expressivität zu zeigen als Männer. Auch Kinder Neu- und Frühgeborenen reagieren auf Schmerzen mit einer charakteristischen Veränderung des Gesichtsausdrucks. Dies legt nahe, dass die Fähigkeit Schmerzen zu empfinden und auszudrücken von den frühesten Momenten an vorhanden, ja sogar angeboren ist (Craig et al. 1993,1994, Grunau & Craig 1987, Grunau et al. 1990, Johnston et al. 1993,1995). Zudem kann der Gesichtsausdruck bei Schmerz, auch wenn er bei der genaueren Analyse äußerst vielschichtig erscheint, zuverlässig durch nicht geschulte Betrachter identifiziert werden. Diese Fähigkeit unterliegt jedoch einem Entwicklungs- und Lernprozess, der in der späten Kindheit, d.h. ungefähr im Alter von zwölf Jahren weitgehend abgeschlossen ist (Deyo et al. 2004).

Der Gesichtsausdruck bei Schmerz ist also ein zwar komplexes aber dennoch eindeutiges zwischenmenschliches Kommunikationsmittel.

1.3 Die Gesichts-EMG-Methode

Basierend auf der Theorie, dass die mimische Muskulatur in Zusammenhang mit emotionalem Empfinden steht, wurde die Ableitung eines EMGs über der mimischen Muskulatur bereits in einigen Studien verwendet (Übersicht über "facial-EMG" siehe Dimberg 1990a, Fridlund & Izard 1983). Dabei konnte Dimberg in mehreren Studien nachweisen, dass die EMG-Aktivität der mimischen Muskulatur eine allgemeine Komponente der emotionalen Reaktion darstellt. Als Auslöser von Emotionen verwendete er unterschiedliche Stimuli, sowohl akustische und visuelle als auch Imagination (Dimberg 1982, 1986b, 1987a/b, 1988c 1990b/c, Dimberg & Lundquist 1988, 1990, Dimberg & Thell 1988). Des Weiteren konnte festgestellt werden, dass durch positive und negative Stimuli EMG-Aktivitäten hervorgerufen werden können, die sich als positive bzw. negative emotionale Reaktionen interpretieren lassen (Schwarz et al. 1976). Probanden, denen Fotos von Personen mit einem ärgerlichen Gesichtsausdruck gezeigt wurden, reagierten mit einer gesteigerten Aktivität des Musculus corrugator, der die Augenbrauen zusammenzieht, wohingegen Probanden, denen Fotos von Personen mit glücklichem Gesichtsausdruck gezeigt wurden, mit einer spontanen Aktivitätssteigerung des Musculus zygomaticus reagierten. Dieser

Muskel hebt die Mundwinkel an, um ein Lachen zu formen (Dimberg 1982, 1988b, Dimberg & Lundquist 1988, 1990). Daraus wurde abgeleitet, dass eine Aktivitätssteigerung des Musculus corrugator generell mit negativen, eine Aktivitätssteigerung des Musculus zygomaticus generell mit positiven Emotionen in Verbindung steht.

Heute wird es durch EMG-Ableitungen über mehreren mimischen Muskeln möglich, bestimmte komplexe Gesichtsausdrücke bzw. Reaktionsmuster der mimischen Muskulatur wie mit der FACS-Methode zu identifizieren. Auf diese Weise können auch mit der EMG-Methode einzelnen Emotionen spezifische Reaktionsmuster der mimischen Muskeln (Pattern) zugeordnet werden. Jüngste Arbeiten der Arbeitsgruppe um Dr. med. K. Wolf am Universitätsklinikum Hamburg-Eppendorf konnten die Gesichtsmuskelpattern für Ekel, entspannte Freude, erregte Freude / Appetenz und auch für Angst identifizieren (Wolf et al. 2004c). Darüber hinaus gelang es mit Hilfe dieser neuen Methode, charakteristische mimische Veränderungen bei schizophrenen Patienten und deren Beeinflussung durch verschiedene Neuroleptika aufzuzeigen (Wolf et al. 2004a, 2004b, 2004d, 2004e).

1.4 Fragestellungen und Hypothesen der vorliegenden Arbeit

Ziel dieser Arbeit ist es, den Gesichtsausdruck bei Schmerz mit der Gesichts-EMG-Methode zu analysieren. Nach den bisherigen Forschungsergebnissen ist nicht eindeutig klar, ob für den Gesichtsausdruck bei Schmerz ein klassisches Reaktionsmuster der Gesichtsmuskulatur im Sinne eines Patterns besteht und welche Muskeln daran beteiligt sein könnten.

Daraus ergeben sich folgende Fragestellungen und Hypothesen.

Ist die verwendete Gesichts-EMG-Methode ein geeignetes Meßinstrument zur Beurteilung des Gesichtsausdrucks bei Schmerz?

Hypothese1:

Durch die Gesichts-EMG-Methode konnte mittlerweile für viele Emotionen ein charakteristischer Gesichtsausdruck identifiziert werden. Die sensible Meßtechnik erlaubt es bereits kleine Spannungsanstiege in den untersuchten Muskeln zu messen und ist, im Gegensatz zu dem bisher verwendeten FACS, ein objektives Meßverfahren.

Es wird angenommen, dass die Gesichts-EMG-Methode auch für den Gesichtsausdruck bei Schmerz ein geeignetes Meßinstrument darstellt.

Lassen sich durch diese Methode, Muskeln identifizieren, die trotz der hohen interindividuellen Variabilität besonders häufig am Gesichtsausdruck bei Schmerz beteiligt sind?

Hypothese 2:

Die bisherigen Forschungsergebnisse beschreiben eine Vielzahl an Bewegungen der mimischen Muskulatur die am Gesichtsausdruck bei Schmerz beteiligt sein könnten. Besonders häufig konnten Bewegungen im Bereich der Augen beobachtet werden, die mit FACS als Action Units Eyes close (AU43), Lids tighten (AU7) und Brow lowerer (AU4) beschrieben wurden (siehe Tab. 2, S. 15). Diese Bewegungen werden durch den M. orbicularis oculi und den M. corrugator supercilii hervorgerufen, die auch von Prkachin 1992 beschrieben wurden.

Zudem scheinen auch Bewegungen im Bereich des Mundes, bisher häufig beschrieben als Cheek raise (AU6) und Upper lip raise (AU10) sowie diverse andere (siehe Tab. 2, S. 15), am Gesichtsausdruck bei Schmerz beteiligt zu sein. Diese Bewegungen werden durch den M. zygomaticus major und den M. levator labii superioris hervorgerufen. Letzterer wurde auch durch Prkachin 1992 beschrieben.

Es kann also auf Grundlage der bisherigen Forschung vermutet werden, dass am Gesichtsausdruck bei Schmerz insbesondere der M. orbicularis oculi, der M. corrugator supercilii, der M. zygomaticus major und der M. levator labii superioris beteiligt sind.

Verändert sich der Gesichtsausdruck mit zunehmender Intensität des Reizes?

Hypothese 3:

Die große Vielzahl der bisher beschriebenen Bewegungen könnte auch daraus resultieren, dass sich der Gesichtsausdruck bei Schmerz mit zunehmender Intensität des Schmerzreizes verändert. Es scheint möglich, dass ein Grundmuster des Gesichtsausdrucks bei Schmerz existiert, zu dem bei hohen Schmerzintensitäten weitere Muskeln hinzutreten.

2 Methodik

2.1 Studienteilnehmer

Die Studie wurde mit zehn männlichen und dreizehn weiblichen Probanden durchgeführt. Dabei handelte es sich um Mitarbeiter der Psychiatrischen Klinik des Universitätskrankenhauses Hamburg-Eppendorf sowie um Medizinstudenten aus höheren Semestern. Das Durchschnittsalter der weiblichen Probanden lag bei 25 (± 3), das Durchschnittsalter der männlichen Probanden lag bei 32 (± 5) Jahren. Einschlusskriterien waren kaukasische Männer und Frauen zwischen 18 und 40 Jahren. Ausschlusskriterien waren psychiatrische und neurologische Erkrankungen, Alkohol-, Drogen- und Medikamentenabusus sowie Schwangerschaft. Keiner der Probanden hatte innerhalb des letzten Monats Schmerzmittel oder Psychopharmaka zu sich genommen.

2.2 Messinstrumente und Material

2.2.1 Das EMG-Gerät

Das verwendete EMG besteht aus einer Hauptverstärker- und einer Speichereinheit, die dem EMG-Gerät Varioport™ (Becker MEDITEC, Karlsruhe) entstammen, sowie einer 5-Kanal-Vorverstärker- und Biodaten-Wandler-Einheit, die als Prototyp für eine vorangegangene Studie der Forschungsgruppe um Dr. med. K. Wolf entwickelt wurde. Eine Weiterentwicklung von Hardware, Software und Methode als Forschungspaket (Advanced Emotion Finder ®) wird mittlerweile international vertrieben. Durch die hohe Trennschärfe des EMG-Geräts werden „cross-talks“ (Störungen zwischen den dicht nebeneinander liegenden Muskelgruppen) vermieden und so eine ausreichende Unterscheidung der Tonusveränderungen der Muskeln gewährleistet. Die technischen Daten des EMG-Geräts sind Tabelle 3 auf der folgenden Seite zu entnehmen.

Die Elektroden wurden an dem Vorverstärkersystem mit Hochpassfilter von 90 Hz und Tiefpassfilter von 500 Hz angebracht. Die Rohdaten wurden vorerst in dem Vorverstärkersystem integriert und dann digitalisiert über ein Glasfasersystem mit Hilfe von Lichtimpulsen auf den Hauptverstärker (EMG-Gerät Varioport™) übertragen. Die Daten wurden so auf einem elektronischen Speichermedium erfasst und auf das

angeschlossene Macintosh Power Book übertragen. Danach wurden die EMG-Daten mit einer speziellen Software (Variograph[®], Becker MEDITEC[™]) verarbeitet.

Tab. 3: Technische Daten des EMG-Geräts analog den Vorgaben von Advanced Emotion Finder[®]

Verstärkungsfaktor	5000 ($\pm 2\%$)
	umschaltbar
Frequenzgang (-3 dB)	60-500 Hz (Zeitkonstante = 0,0027 s) 90-500 Hz (Zeitkonstante = 0.0018 s)
Gleichtaktunterdrückung	77 dB (bei 50 Hz)
	theoretisch 1 GOhm
Eingangsimpedanz	Bedingt durch Kabelkapazitäten ergeben sich Werte von 100 bis 500 MOhm (bei 50 Hz)
Integrationszeitkonstante	ca. 0,1 s
Messbereich	$\pm 250 \mu\text{V}$
Auflösung A/D-Wandler	12 Bit (= 4096 Stufen)
Auflösung Signal	0,122 μV pro Bit

2.2.2 Der Laser

Der verwendete Thulium-YAG-Laser (Baasel Lasertech, Starnberg, Deutschland) erzeugt computerkontrollierte kurze Schmerzreize auf der Haut der Probanden. Dieser Laser emittiert Licht im nahen infraroten Spektrumbereich (Wellenlänge 1,96 μm , Durchmesser 5 mm, Dauer des Reizes 1 ms) mit einer Eindringtiefe in die menschliche Haut von 360 μm . Der Laserreiz erlaubt eine präzise Beschränkung der emittierten Wärmeenergie auf den Bereich der terminalen Enden der ersten afferenten nozizeptiven Neurone, ohne die Epidermis oder das subkutane Gewebe zu beeinträchtigen (Spiegel et al. 2000). Zudem ist der durch den Laserreiz hervorgerufene Temperaturanstieg in den oberflächlichen Schichten der Haut schnell genug, um eine Erregung dünn myelinisierten A δ - und unmyelinisierten C-Schmerzfasern zu erreichen.

2.2.3 Die Schmerzschwellenbestimmung

Durch die Schmerzschwellenbestimmung sollte diejenige Intensität des Laserreizes bestimmt werden, die gerade als schmerzhaft empfunden wird. Dazu wurden drei Laserreizfolgen in aufsteigender und drei Laserreizfolgen in absteigender Intensität im

Wechsel appliziert (insgesamt ca. 40 Laserreize). Während der Laserreizfolgen bewerteten die Probanden auf einer Skala von 0 bis 8 ihr persönliches Schmerzempfinden, wobei 0 als nicht gefühlt, 4 als gerade schmerzhaft und 8 als nicht tolerabel definiert waren. Die Schmerzschwelle, also die Intensität, die mit dem Wert 4 bezeichnet wurde, lag bei den weiblichen Probanden zwischen 300 und 420 mJ und bei den männlichen Probanden zwischen 300 und 390 mJ.

2.3 Beschreibung des Versuchs

Folgende Muskeln wurden in die Messung einbezogen: M. frontalis medialis, M. corrugator supercilii, M. orbicularis oculi, M. levator labii, M. zygomaticus, M. risorius, M. depressor anguli oris, M. mentalis und das Platysma. Der Verlauf der einzelnen Muskeln ist Abb. 1 zu entnehmen.

Zum Anbringen der Elektroden wurde das Gesicht der Probanden mit 70% klinischem Alkohol gereinigt und die Hautbezirke, auf denen die Elektroden geklebt werden sollten, wurden mit einer speziellen abrasiven Elektrodenpaste (Hellige Epicont) aufgeraut, um eine bessere Leitung der Impulse zu gewährleisten. Die Ag/Ag-Cl-Oberflächenelektroden (innerer Durchmesser: 0,6 cm) wurden mit Synapse conductive electrode cream (Med-Tek) gefüllt und bipolar, mit einem Abstand zwischen den Elektroden von 1,2 cm, über den neun mimischen Muskeln nach den international standardisierten Vorgaben von Fridlund und Cacioppo in der linken Gesichtshälfte der Probanden aufgeklebt (Fridlund & Cacioppo 1986). Die genaue Lage der Elektroden ist den Abbildungen 1 und 2 sowie den Tabellen 4 und 5 zu entnehmen.

Tab. 4: Lage der Elektroden nach Fridlund & Cacioppo 1986.

Muskel	Lage der Elektroden
M. occipitofrontalis (venter frontalis)	Ca. 3-4 cm über der Augenbraue, gedachte Linie mittig der Pupillen, zweite Elektrode vertikal darunter gelegen
M. corrugator supercilii	Augeninnenwinkel, auf der Knochenkante unter der Augenbraue, beide Elektroden liegen dicht beieinander
M. orbicularis oculi	Unter dem Auge, Außenrand der Iris, zweite Elektrode horizontal daneben
M. levator labii superioris	Dicht an den Nasenflügeln, über der Nasolabialfalte, zweite Elektrode dicht darunter gelegen auf der Nasolabialfalte
M. zygomaticus major	Gedachte Linie von der Oberkante des Ohres zum Mundwinkel, jeweils an den Endpunkten des mittleren Drittels
M. risorius	Im Bereich zwischen Ohr und Mundwinkel, 1 cm über der Unterkieferkante
Platysma	Den Muskel anspannen lassen, um ihn besser zu sehen, obere Elektrode direkt unter der Unterkieferkante, zweite Elektrode vertikal darunter
M. depressor anguli oris	Eine Elektrode 1cm lateral und unter dem Mundwinkel, zweite Elektrode vertikal darunter
M. mentalis	Die Elektroden werden 0,5 cm lateral der Mittellinie platziert, erste Elektrode 0,5 cm oberhalb, zweite Elektrode 0,5 cm unterhalb des höchsten Punktes des Kinns
Erde	Auf der Stirn medial, weit oben am Haaransatz

Tab. 5: Zuordnung der EMG-Kanäle zu den mimischen Muskeln.

EMG-Kanal	Muskel
1	M. occipitofrontalis (venter frontalis)
2	M. corrugator supercilii
3	M. orbicularis oculi
4	M. levator labii superioris
5	M. zygomaticus major
6	M. risorius
7	Platysma
8	M. depressor anguli oris
9	M. mentalis

Abbildung 1 stellt auf der linken Gesichtshälfte die Lage der Elektroden und die Zuordnung zu den Kanälen des EMG-Geräts und auf der rechten Gesichtshälfte den Verlauf der Muskeln über denen sie platziert sind graphisch dar. Abbildung 2 zeigt die Lage der Elektroden mit Hilfe eines Fotos.

Abb. 1: Lage der Elektroden und Verlauf der untersuchten mimischen Muskeln.

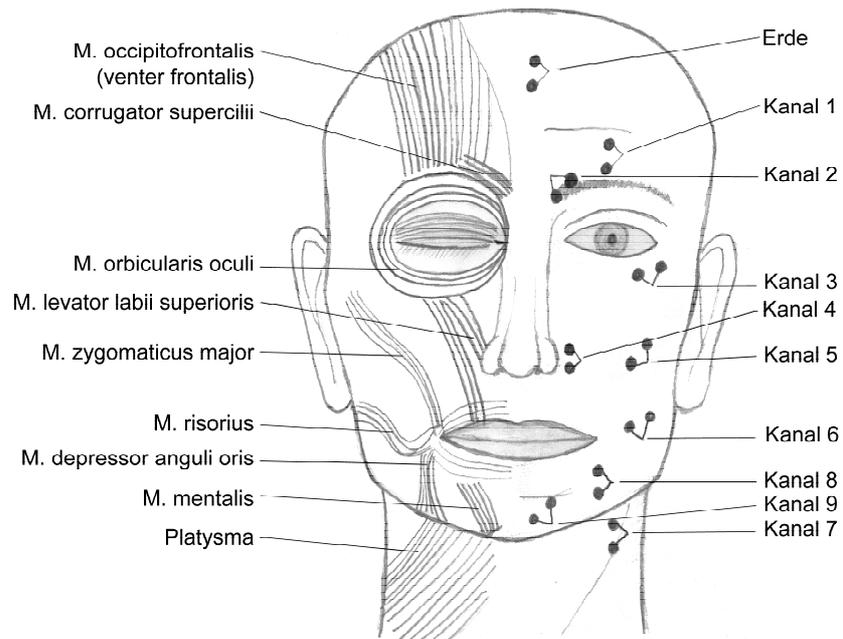
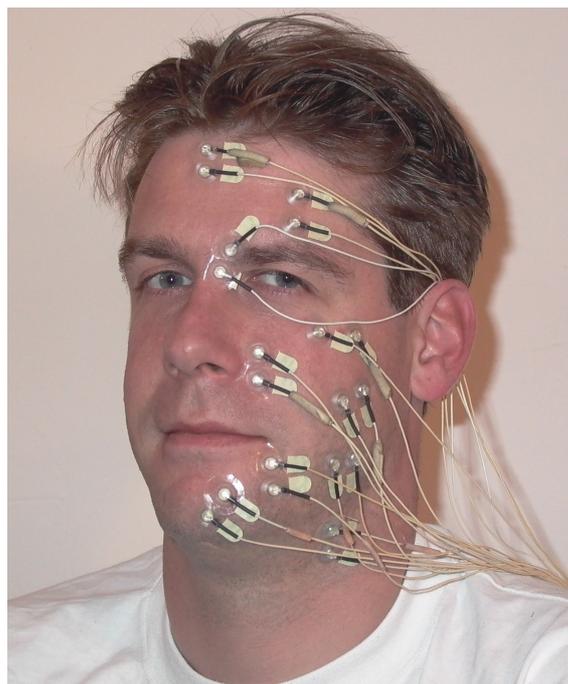


Abb. 2: Foto der Lage der Elektroden.



Nach dem Anbringen der Elektroden wurden die Probanden in den Untersuchungsraum geführt. Als Untersuchungsraum diente der Raum eines Magnetresonanztomographen, der von äußeren elektrischen und akustischen Signalen abgeschirmt ist und somit eine störungsfreie Aufzeichnung durch die sensible Messtechnik ermöglicht.

Im Untersuchungsraum wurden die Elektroden mit dem EMG-Gerät verbunden. Ein Untersucher, der die Laserreize applizierte, saß auf einem Stuhl neben dem Probanden. Der aufzeichnende Computer befand sich mit dem Versuchsleiter in einem Nebenraum.

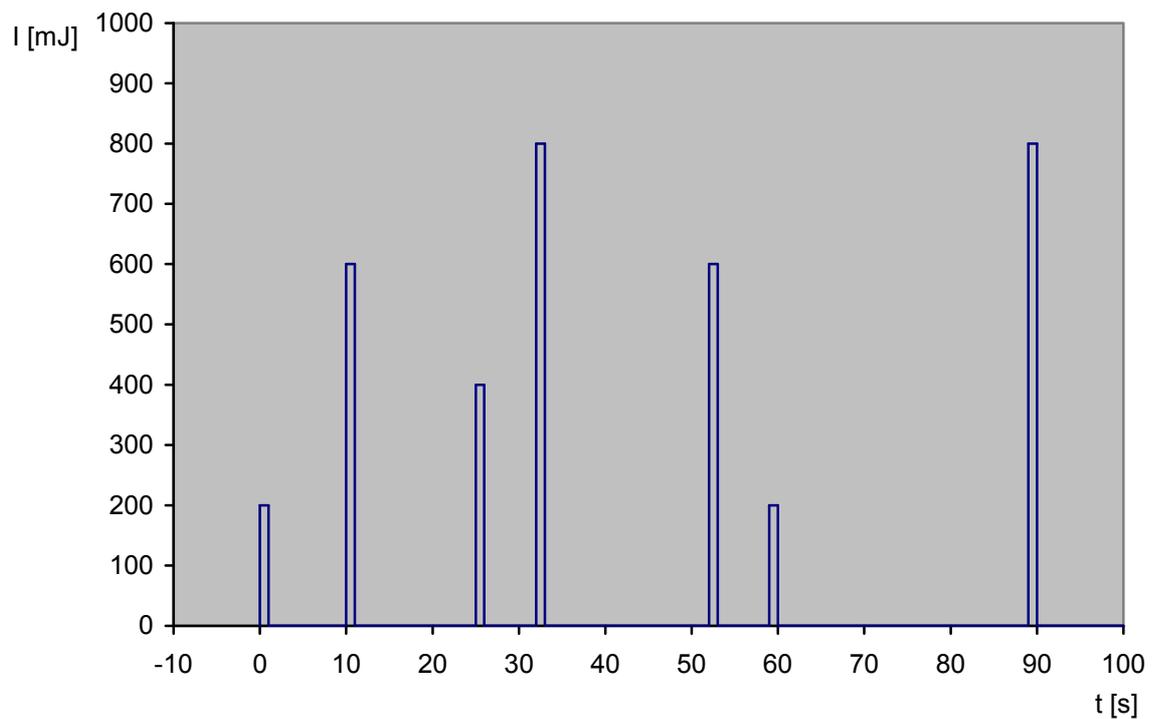
Die Laserreize wurden auf den linken Handrücken appliziert und konnten weder akustisch noch optisch wahrgenommen werden. Dabei wurde das Lasergerät in kreisenden Bewegungen über den Handrücken bewegt.

Die Untersuchung bestand aus zwei unterschiedlichen Laserstimulationsserien. Eine standardisierte Schmerzschwellenbestimmung und eine Testserie wurden durchgeführt. Die Testserie bestand aus sieben Laserreizen unterschiedlicher Intensität. Die Zeitintervalle zwischen den einzelnen Reizen variierten, so dass, der Beginn des folgenden Reizes durch die Probanden nicht antizipiert werden konnte.

Die Abfolge der Laserstimulationsserien bei den weiblichen und bei den männlichen Probanden war unterschiedlich.

Bei den weiblichen Probanden wurde mit der Testserie begonnen und anschließend die Schmerzschwellenbestimmung durchgeführt. Die Intensitäten der Laserreize und die Zeitabstände zwischen den Reizen sind Abbildung 3 zu entnehmen.

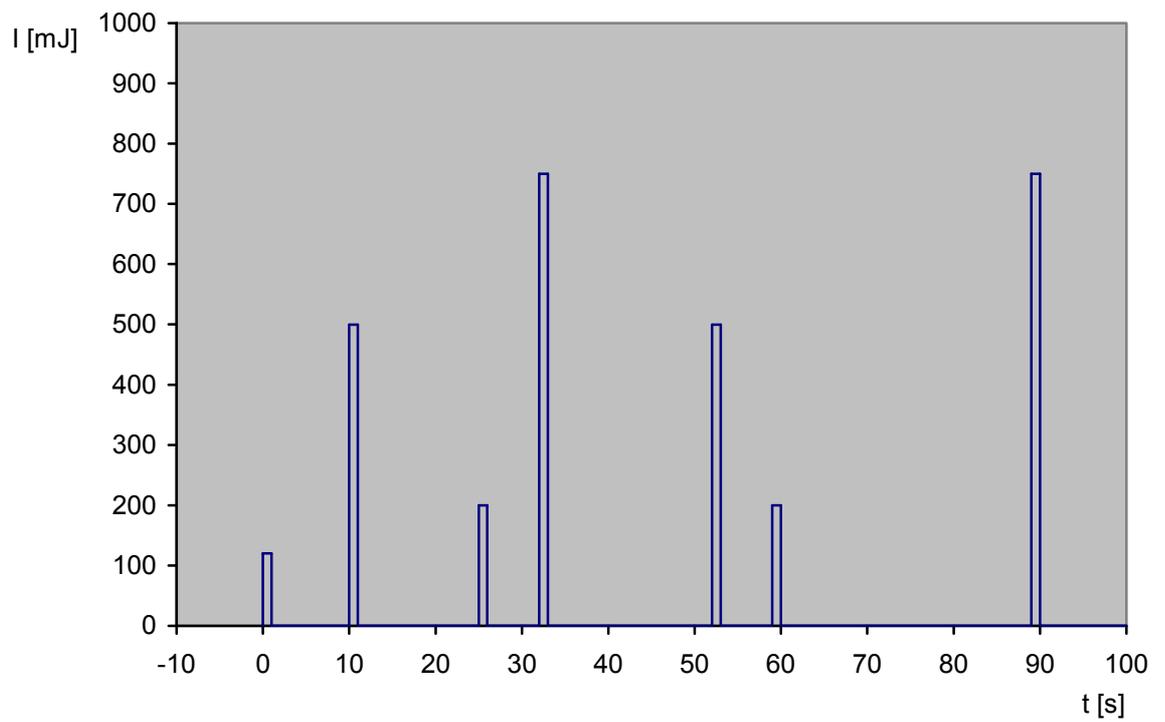
Abb. 3: Testserie weibliche Probanden.



Laserreiz	1	2	3	4	5	6	7
Intensität [mJ]	200	600	400	800	600	200	800
Zeit [s]	0	10	25	32	52	59	89

Bei den männlichen Probanden wurde zuerst die Schmerzschwellenbestimmung durchgeführt. Danach folgte die Testserie, deren Laserintensitäten und Zeitintervalle der Abbildung 4 zu entnehmen sind.

Abb. 4: Testserie männliche Probanden.



Laserreiz	1	2	3	4	5	6	7
Intensität [mJ]	120	500	200	750	500	200	750
Zeit [s]	0	10	25	32	52	59	89

Die Aufzeichnung des EMGs begann zwei Minuten vor dem ersten Laserreiz, um den Probanden die Möglichkeit zu geben, sich an die Testsituation zu gewöhnen und so eine ruhige Baseline im EMG zu erhalten. Nach Beendigung aller Laserstimulationsserien wurden die Elektroden entfernt und die Probanden entlassen. Die Probanden wurden darüber informiert, dass sie jederzeit das Recht hätten, von der Teilnahme an dieser Studie zurückzutreten. Keiner machte davon Gebrauch.

2.4 Interpolation und Bearbeitung der aufgezeichneten Daten

Vor der weiteren statistischen Auswertung wurden die aufgezeichneten EMG-Graphen visuell begutachtet und Blinzelartefakte, die als unwillkürliche Muskelbewegungen nicht Teil der spezifischen mimischen Reaktion sind, manuell interpoliert. Die Probanden wurden vor der Messung gebeten, mehrmals zu blinzeln; so konnte individuell festgestellt werden, wie sich das Blinzeln im Verlauf der EMG-Graphen darstellte. Ein Blinzelartefakt besteht typischerweise aus einer gleichförmigen, parallel verlaufenden kurzen Welle der Kanäle 1-3 (M. occipitofrontalis, M. corrugator supercilii, M. orbicularis oculi). Die Interpolation erfolgte mithilfe der Variograph-Software nach visueller Beurteilung der Kurvenverläufe.

2.5 Statistische Auswertung

Um einen Überblick zu erhalten, welche Muskeln auf den Schmerzreiz mit einer Aktivitätssteigerung reagieren, wurde zunächst eine Extremwertanalyse durchgeführt. Mit Hilfe der deskriptiven Statistik wurde bei jedem einzelnen Probanden untersucht, ob sich als Reaktion auf die Laserreize ein signifikanter Anstieg der Muskelspannung in den untersuchten Muskeln zeigt. Dafür wurde für jeden Laserreiz die mittlere muskuläre Spannung vor dem Laserreiz (Baseline) mit der mittleren muskulären Spannung nach dem Laserreiz (Trial) verglichen.

Als Baseline wurde das Zeitintervall zwei Sekunden vor dem Laserreiz definiert. Die mittlere muskuläre Spannung [mV] in diesem Zeitintervall repräsentiert die Grundaktivität des Muskels. Der Trial beschreibt die mittlere muskuläre Spannung [mV] während eines Zeitintervalls von vier Sekunden direkt nach dem Laserreiz. Als Aktivitätsanstieg in einem Muskel wurde ein Anstieg des Mittelwertes des Trials um mehr als zwei Standardabweichungen des Mittelwertes der Baseline definiert.

Die Berechnung der Mittelwerte und Standardabweichungen erfolgte mit der Variograph-Software.

Diese Analyse zeigt wie viele der Probanden in den einzelnen Muskeln mit einem deutlichen Aktivitätsanstieg auf den Laserreiz reagieren. Da es sich hierbei um eine Extremwertanalyse handelt, werden nur sehr deutliche Aktivitätsanstiege bei den einzelnen Probanden berücksichtigt.

Anschließend wurden mithilfe der Inferenz-Statistik die Mittelwerte der Baseline der gesamten Gruppe mit den Mittelwerten des Trials der gesamten Gruppe verglichen, um herauszufinden, in welchen Muskeln, über die Gruppe gesehen, ein signifikanter Spannungsanstieg stattfindet. Dazu wurde der nonparametrische Wilcoxon-Rangsummentest (Mann-Whitney U-Test) angewandt. Dieser Test wird für zwei unabhängige Stichproben von unterschiedlichem (kleinem) Umfang nicht normal verteilter Daten verwendet (Hüsler, Zimmermann 2001).

Dabei galt, dass eine Irrtumswahrscheinlichkeit von 5% ($p < 0,05$) als signifikant und von 1% ($p < 0,01$) als hochsignifikant angesehen wurde.

Die Berechnung erfolgte mit dem Statistikprogramm SPSS 6.1.1 (Statistical Package for Social Sciences).

3 Ergebnisse

3.1. Ergebnisse der weiblichen Probanden

3.1.1 Deskriptive Statistik

In der folgenden Tabelle 6 ist die Anzahl der Probanden, die eine deutliche Reaktion auf den Laserreiz in den einzelnen Muskeln zeigen - Anstieg des Mittelwertes des Trials um mehr als zwei Standardabweichungen des Mittelwertes der Baseline – dargestellt.

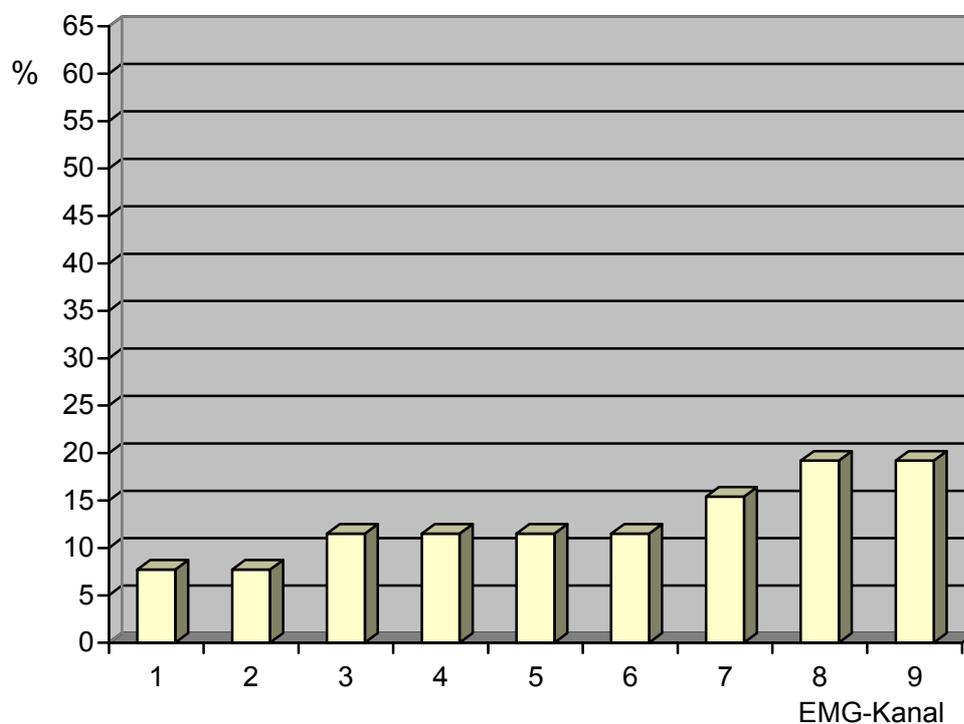
Tab. 6: Anzahl der weiblichen Probanden (n=13), die bei den Laserreizen L1 bis L7 einen deutlichen Anstieg der Muskelaktivität zeigen. Die Intensität des Laserreizes ist jeweils in Klammern angegeben.

EMG	L 1 (200 mJ)	L2 (600 mJ)	L3 (400 mJ)	L4 (800 mJ)	L5 (600 mJ)	L6 (200 mJ)	L7 (800 mJ)
1	1	3	1	3	2	1	3
2	1	8	4	7	3	1	5
3	1	9	7	8	7	2	7
4	1	5	4	7	8	2	8
5	1	7	6	8	6	2	8
6	1	6	5	5	5	2	7
7	2	3	3	4	4	2	8
8	1	9	5	7	5	4	9
9	3	7	4	6	6	2	8

Diese Ergebnisse sollen im Folgenden für die unterschiedlichen Intensitäten der Schmerzreize getrennt betrachtet werden. Dabei werden die Schmerzreize der Testserie der weiblichen Probanden in Reize *niedriger Intensität* (200 mJ) unterhalb der Schmerzschwelle, in Reize *mittlerer* (400 und 600 mJ) und in Reize *hoher Intensität* (800 mJ) unterteilt.

In der Gruppe der Schmerzreize niedriger Intensität unterhalb der Schmerzschwelle werden die Laserreize L1 und L6 (200 mJ) zusammengefasst. Abbildung 5 zeigt, bei wieviel Prozent der Probanden es zu deutlichen Reaktionen in den einzelnen Muskeln kommt.

Abb. 5: Häufigkeit beobachteter Aktivitätsanstiege in den einzelnen Muskeln (EMG 1-9). Schmerzreize *niedriger Intensität* unterhalb der mittleren Schmerzschwelle (L1 und L6, 200mJ). Weibliche Probanden.

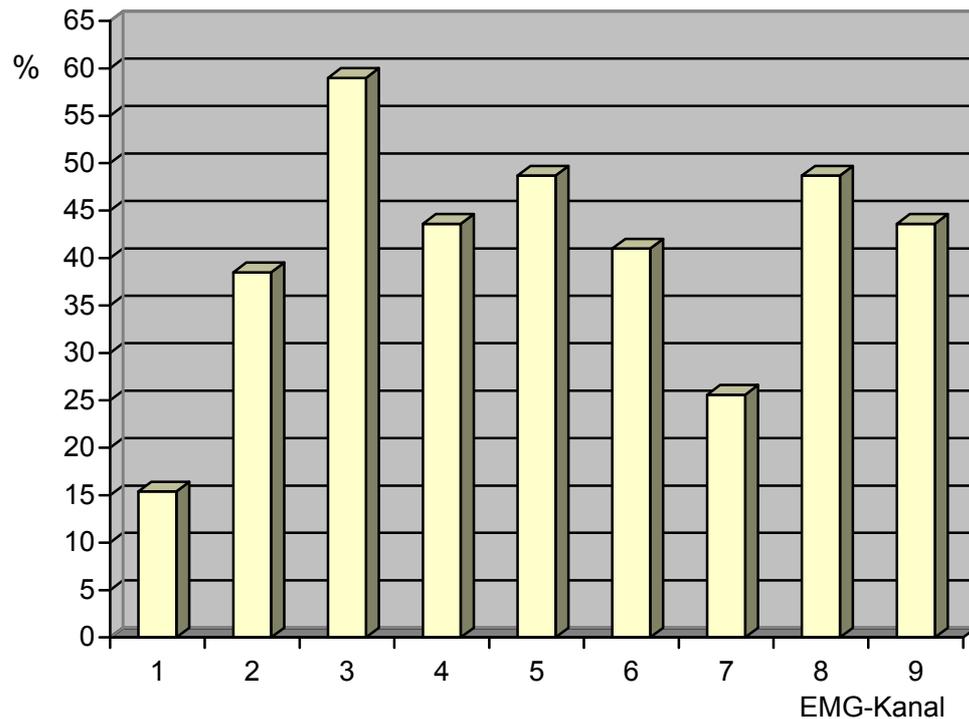


Auch bei Schmerzreizen, die unter der mittleren Schmerzschwelle liegen, kommt es bei einigen Probanden zu deutlichen Aktivitätsanstiegen in den untersuchten Muskeln. Diese Aktivitätsanstiege treten relativ gleichmäßig bei allen untersuchten Muskeln auf. Insgesamt reagieren auf diese Reize nur wenige Probanden, nämlich maximal 18 % mit Aktivitätsanstiegen im M. depressor anguli oris (EMG 8) und im M. mentalis (EMG 9). Die gleichmäßige Verteilung von Aktivitätsanstiegen in allen untersuchten Muskeln stellt kein spezifisches Reaktionsmuster dar und lässt sich keiner Emotion zuordnen. Es handelt sich um eine unspezifische Reaktion auf den Laserreiz.

In der Gruppe der Schmerzreize mittlerer Intensität oberhalb der Schmerzschwelle werden die Laserreize L3 (400 mJ) sowie L2 und L5 (600 mJ) zusammengefasst.

Abbildung 6 zeigt, bei wieviel Prozent der Probanden es zu deutlichen Reaktionen in den einzelnen Muskeln kommt.

Abb. 6: Häufigkeit beobachteter Aktivitätsanstiege in den einzelnen Muskeln (EMG 1-9). Schmerzreize *mittlerer Intensität*, oberhalb der mittleren Schmerzschwelle (L3, 400mJ; sowie L2 und L5, 600mJ). Weibliche Probanden, n=13.



Bei Schmerzreizen mittlerer Intensität oberhalb der mittleren Schmerzschwelle, kommt es besonders häufig zu Aktivitätsanstiegen im M. orbicularis oculi (EMG 3). Fast 60% der Probanden reagieren auf den Schmerzreiz mit einem Anspannen des Ringmuskels um die Augen, was zu einem Schließen oder Zusammenkneifen der Augen führt.

Aktivitätsanstiege im M. zygomaticus (EMG 5) und M. depressor anguli oris (EMG 8) sind bei fast der Hälfte der Probanden zu beobachten. Dabei führt ein Anspannen des M. zygomaticus zu einer Bewegung der Mundwinkel nach lateral oben, wohingegen der M. depressor anguli oris die Mundwinkel nach unten zieht. Daraus ergibt sich eine Bewegung der Mundwinkel nach lateral mit einer Streckung und Verschmälerung der Lippen. Auch der M. risorius (EMG 6), in dem bei 40% der Probanden ein Aktivitätsanstieg stattfindet, ist an dieser Bewegung beteiligt.

Bei 43% der Probanden kommt es zu Aktivitätssteigerungen im M. levator labii superioris (EMG 4) und im M. mentalis (EMG 9). Eine Anspannung des M. levator labii

superioris bewirkt einen Zug auf die Oberlippe und die Nasenflügel und führt so zu einer Vertiefung der nasolabialen Furche. Der M. mentalis bewirkt ein Kräuseln der Haut über dem Kinn.

Im M. corrugator supercilii (EMG 2) zeigen 38 % der Probanden einen Aktivitätsanstieg. Eine Anspannung dieses Muskels führt zu einem Zusammenziehen der medialen Augenbrauen und zu einem Kräuseln der Haut über der Nasenwurzel.

Selten eher im Bereich der Häufigkeit von Aktivitätsanstiegen, wie sie auch bei Reizen unterhalb der Schmerzschwelle zu beobachten sind, finden sich Aktivitätsanstiege im M. occipitofrontalis (EMG 1) und im Platysma (EMG 7).

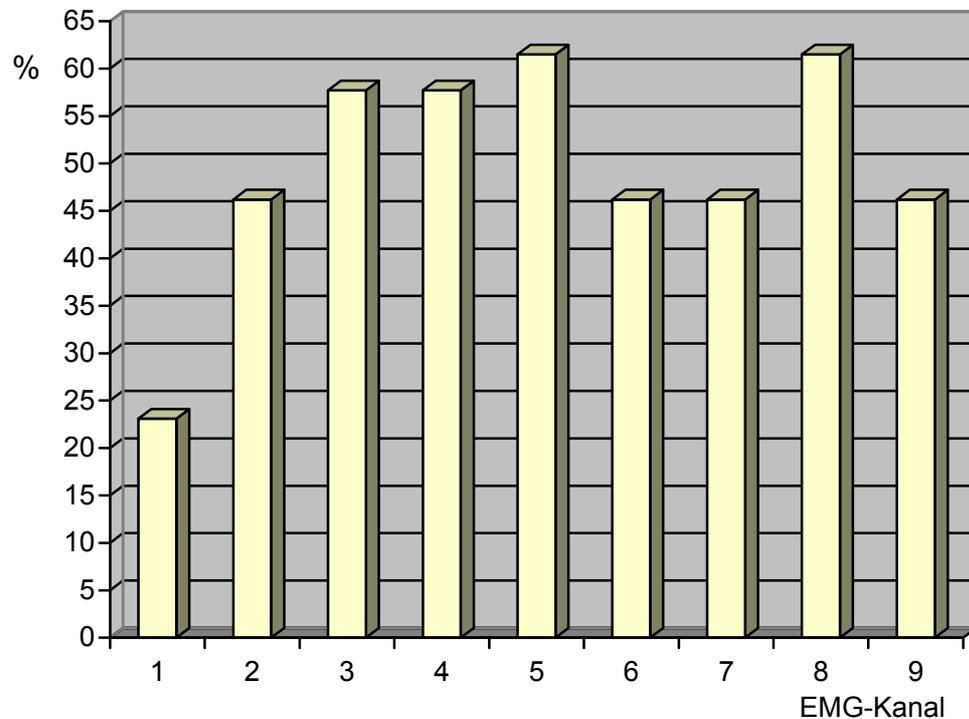
Insgesamt reagieren auf Laserreize mittlerer Intensität oberhalb der Schmerzschwelle deutlich mehr Probanden mit Aktivitätsanstiegen in den einzelnen Muskeln als bei Laserreizen niedriger Intensität. Lediglich im M. occipitofrontalis und im Platysma bleiben Aktivitätsanstiege so häufig wie bei Laserreizen niedriger Intensität.

Faßt man diese Ergebnisse zusammen, würde daraus ein Gesichtsausdruck entstehen, bei dem die Augen geschlossen bzw. zusammengekniffen sind, eventuell mit zusammengezogenen Augenbrauen und gekräuselter Haut über der Nasenwurzel. Die Mundwinkel sind nach lateral gezogen mit verschmälerten Lippen und einer Vertiefung der nasolabialen Furche, sowie einer gekräuselten Haut über dem Kinn.

Bei Schmerzreizen mittlerer Intensität kann also durchaus davon gesprochen werden, dass sich ein spezifischer Gesichtsausdruck ausbildet. Im Vordergrund stehen hierbei die Bewegungen um die Augen, hinzu treten die beschriebenen Bewegungen im Bereich des Mundes.

In der Gruppe der Schmerzreize hoher Intensität oberhalb der Schmerzschwelle werden die Laserreize L4 und L7 (800 mJ) zusammengefaßt. Abbildung 7 zeigt, bei wieviel Prozent der Probanden es zu deutliche Reaktionen in den einzelnen Muskeln kommt.

Abb. 7: Häufigkeit beobachteter Aktivitätsanstiege in den einzelnen Muskeln (EMG 1-9). Schmerzreize *hoher Intensität*, oberhalb der mittleren Schmerzschwelle (L4 und L7, 800 mJ). Weibliche Probanden, n=13.



Insgesamt nimmt die Häufigkeit signifikanter Muskelanstiege in den einzelnen Muskeln weiter zu. Im Vergleich zu Abb. 6 stehen nicht mehr die Bewegungen der Augen, sondern nun die Bewegungen um den Mund im Vordergrund.

Die häufigsten Aktivitätsanstiege finden sich im M. zygomaticus (EMG 5) und im M. depressor anguli oris (EMG 8), bei denen über 60 % der Probanden signifikante Spannungsanstiege zeigen. Deutlich häufiger als bei Schmerzreizen mittlerer Intensität zeigen sich auch Aktivitätsanstiege im M. levator labii superioris (EMG 4). Auch Aktivitätsanstiege im M. risorius (EMG 6) und im M. mentalis (EMG 9) zeigen sich etwas häufiger als bei Schmerzreizen mittlerer Intensität.

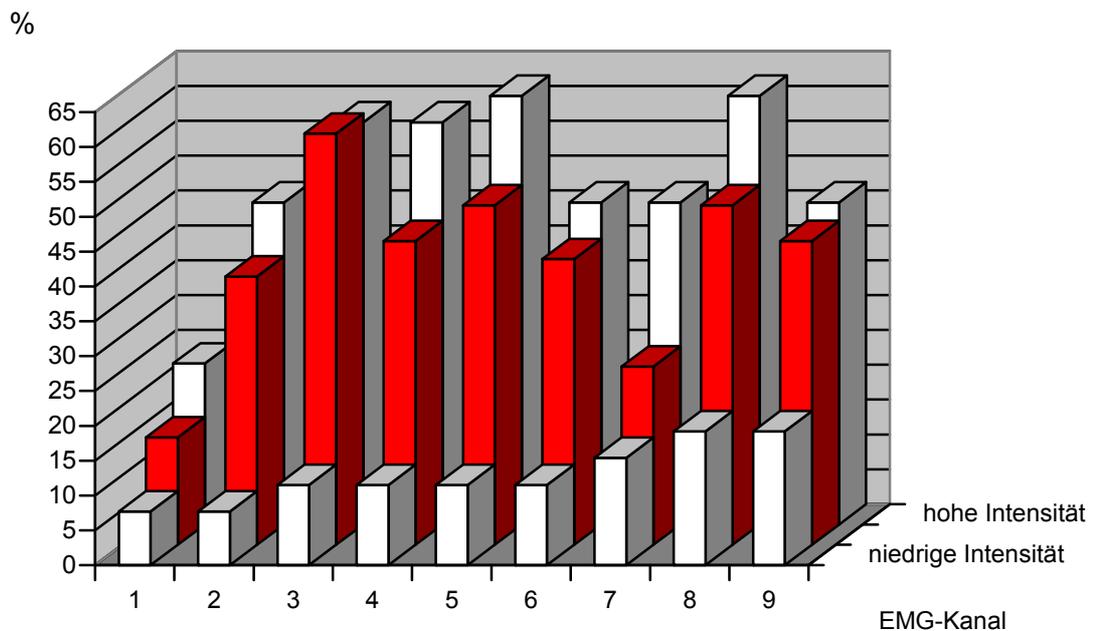
Nahezu unverändert bleibt die Häufigkeit von Aktivitätssteigerungen im M. orbicularis oculi (EMG 3), jedoch steigt sie für den M. corrugator supercilii (EMG 2) weiter an und liegt nun bei 45 %.

Weiterhin selten sind Aktivitätsanstiege im M. occipitofrontalis (EMG 1), jedoch können jetzt auch häufiger Aktivitätssteigerungen im Platysma beobachtet werden, die bisher

eher selten waren.

Die folgende Abbildung stellt Abbildung 5-7 gemeinsam dar, so dass die Entwicklung der Aktivitätsanstiege in den einzelnen Muskeln für unterschiedlichen Intensitäten verglichen werden kann.

Abb. 8: Zusammenfassende Darstellung der Abb. 5-7



Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass sowohl bei Schmerzreizen mittlerer Intensität als auch bei Schmerzreizen hoher Intensität ein Gesichtsausdruck zu beobachten ist, der als schmerzspezifisch angesehen werden könnte: Es finden sich Bewegungen im Bereich der Augen, die in einem Schließen bzw. Zusammenkneifen der Augen sowie in einem Zusammenziehen der medialen Augenbrauen und in einem Kräuseln der Haut über der Nasenwurzel bestehen. Im Bereich des Mundes kommt es

zu einer Bewegung der Mundwinkel nach lateral mit einer Streckung und Verschmälerung der Lippen sowie zu einer Vertiefung der nasolabialen Furche und einer Kräuselung der Haut über dem Kinn. Bei Schmerzreizen mittlerer Intensität kommt es am häufigsten zu Bewegungen im Bereich der Augen, bei Schmerzreizen hoher Intensitäten stehen die Bewegungen im Bereich des Mundes im Vordergrund.

Mit steigender Intensität der Laserreize, nehmen in allen Muskeln Aktivitätsanstiege zu. Bei hoher Intensität des Schmerzreizes, zeigen die Muskeln die auch bei mittlerer Intensität bereits reagierten häufiger Aktivitätsanstiege, aber auch Muskeln, die zuvor selten Aktivitätssteigerungen zeigten (Platysma), sind häufiger an der Reaktion beteiligt.

3.1.2 Wilcoxon-Test

Die Inferenz-Statistik soll nun eine genauere statistische Analyse der Aktivitätsanstiege in den Muskeln ermöglichen. Hierbei werden die Reaktionen aller Probanden mit einbezogen. Dazu werden die Mittelwerte der Baselines aller Probanden mit den Mittelwerten der Trials aller Probanden für jeden Muskel verglichen. Mit Hilfe des Wilcoxon-Tests wird berechnet, ob sich die Werte der Trials signifikant, im Sinne von Aktivitätssteigerungen, von den Werten der Baselines unterscheiden. Tabelle 8 zeigt die Ergebnisse der Wilcoxon-Signifikanz-Analyse für die einzelnen Laserreize. Dabei sind die Laserreize nach steigender Intensität geordnet.

Tab. 7: Wilcoxon-Signifikanz p, weibliche Probanden. Signifikante Aktivitätsanstiege, $p < 0,05$ gelb unterlegt, hochsignifikante Aktivitätsanstiege, $p < 0,01$ rot unterlegt.

EMG	L 1 (200 mJ)	L6 (200 mJ)	L3 (400 mJ)	L5 (600 mJ)	L2 (600 mJ)	L4 (800 mJ)	L7 (800 mJ)
1	0,5525	0,7007	0,1520	0,6496	0,2787	0,1330	0,3824
2	0,2213	0,9165	0,0131	0,4216	0,0015	0,0159	0,0231
3	0,9712	0,8068	0,0042	0,0546	0,0019	0,0088	0,0015
4	0,3109	0,8613	0,1159	0,0037	0,0151	0,0159	0,0058
5	0,7007	0,8068	0,0231	0,0071	0,0071	0,0046	0,0107
6	0,6002	0,1005	0,1005	0,1167	0,0192	0,0046	0,0058
7	0,4216	0,3882	0,1159	0,1520	0,0042	0,0088	0,0088
8	0,6247	0,7007	0,0277	0,0071	0,0015	0,0088	0,0107
9	0,0747	0,9721	0,4216	0,0131	0,4017	0,0330	0,0546

Bei Laserreizen niedriger Intensität (200 mJ) sind die Aktivitätsänderungen nicht signifikant. Dies bestätigt das Ergebnis der deskriptiven Statistik; die dort beobachteten Aktivitätsanstiege sind zufällig.

Bei Laserreizen mittlerer Intensität (400 und 600mJ) sind die Aktivitätsanstiege im M.orbicularis oculi (EMG 3), im M. zygomaticus (EMG 5) und im M. depressor anguli oris (EMG 8) bei allen Reizen signifikant bzw. hochsignifikant. Der M. corrugator supercilii (EMG 2) und der M. levator labii superioris (EMG 4) zeigen bei zwei Laserreizen signifikante bzw. hochsignifikante Aktivitätsanstiege. Der M. risorius (EMG 6), das Platysma (EMG 7) und der M. mentalis (EMG 9) zeigen nur bei einem Laserreiz einen signifikanten Aktivitätsanstieg. Es gibt keine signifikanten Aktivitätsanstiege im M. occipito frontalis (EMG 1).

Vergleicht man dieses Ergebnis mit der deskriptiven Statistik, zeigt sich, dass es bei Laserreizen mittlerer Intensität hauptsächlich zu einer Aktivitätssteigerung im Bereich

der Augen kommt, und zwar mit deutlicher Aktivitätssteigerung im M. orbicularis oculi sowie wahrscheinlicher Aktivitätssteigerung im M. corrugator supercilii. Im Bereich des Mundes kommt es hauptsächlich zur Aktivitätssteigerung im M. zygomaticus und im M. depressor anguli oris, nicht ganz so häufig auch im M. levator labii superioris. Aktivitätsanstiege im M. risorius, im Platysma und im M. mentalis sind eher unwahrscheinlich.

Dies führt zu einem Gesichtsausdruck, bei dem die Augen geschlossen bzw. zusammengekniffen sind, eventuell mit zusammengezogenen Augenbrauen und gekräuselter Haut über der Nasenwurzel. Die Mundwinkel sind nach lateral gezogen mit verschmälerten Lippen, eventuell auch mit einer Vertiefung der nasolabialen Furche. Allerdings scheinen Aktivitätssteigerungen des M. orbicularis oculi, des M. zygomaticus und des M. depressor anguli oris obligater Bestandteil des Reaktionsmusters zu sein. Die anderen Muskeln scheinen nur fakultativ beteiligt zu sein.

Bei Laserreizen hoher Intensität (800 mJ) zeigen fast alle untersuchten Muskeln (EMG 2-8) signifikante Aktivitätsanstiege mit Ausnahme des M. occipito frontalis (EMG 1). Der M. mentalis (EMG 9) zeigt nur einmal einen signifikanten Aktivitätsanstieg. Dies bestätigt das Ergebnis der deskriptiven Statistik, dass es bei hohen Intensitäten zu einer Zunahme der Aktivitätsanstiege im Bereich des Mundes kommt und nun auch der M. corrugator supercilii, der M. levator labii superioris, der M. risorius, sowie eventuell das Platysma und der M. mentalis am Reaktionsmuster beteiligt sein könnten.

Zusammenfassend besteht das Reaktionsmuster auf einen Schmerzreiz bei weiblichen Probanden also in einer Aktivitätssteigerung des M. orbicularis oculi, des M. zygomaticus und des M. depressor anguli oris. Bei Reizen mittlerer Intensität zeigen fakultativ noch der M. corrugator supercilii, der M. levator labii superioris und der M. risorius, sowie eventuell das Platysma und der M. mentalis Aktivitätssteigerungen. Bei starken Schmerzreizen sind in diesen Muskeln regelmäßig Aktivitätsanstiege zu beobachten.

3.2 Ergebnisse der männlichen Probanden

3.2.2 Deskriptive Statistik

In der folgenden Tabelle 7 ist die Anzahl der Probanden, die eine deutliche Reaktion auf den Laserreiz in den einzelnen Muskeln zeigen - Anstieg des Mittelwertes des Trials um mehr als zwei Standardabweichungen des Mittelwertes der Baseline – dargestellt.

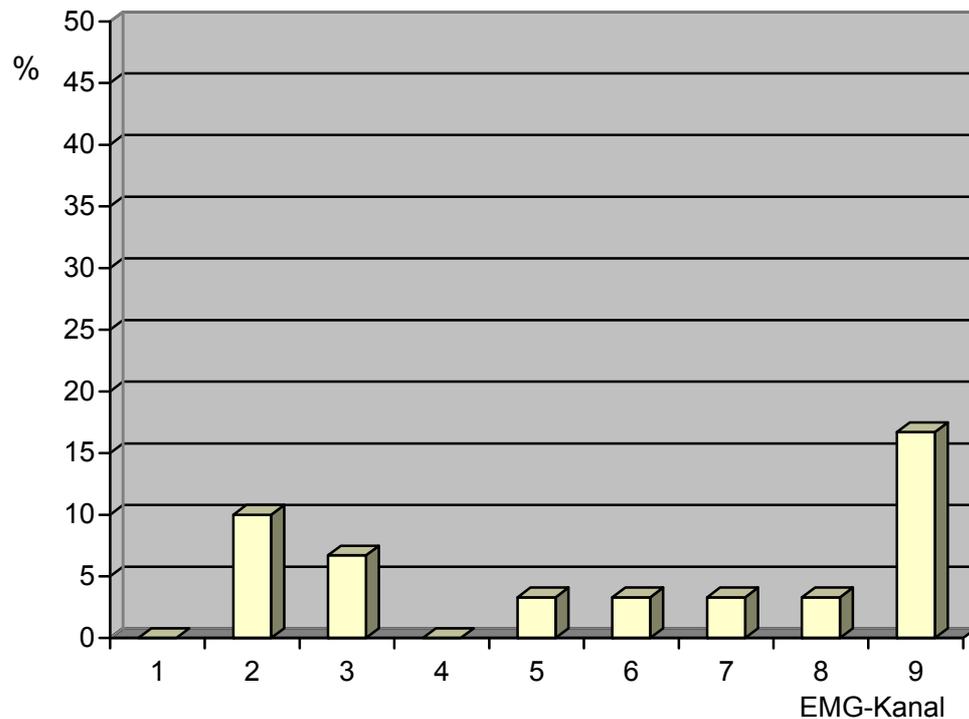
Tab. 8: Anzahl der Probanden, die bei den Laserreizen L1 bis L7 einen deutlichen Anstieg der Muskelaktivität zeigen. Die Intensität des Laserreizes ist jeweils in Klammern angegeben. Männliche Probanden n = 10.

EMG	L 1 (120 mJ)	L2 (500 mJ)	L3 (200 mJ)	L4 (750 mJ)	L5 (500 mJ)	L6 (200 mJ)	L7 (750 mJ)
1	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	1	1	3	1
3	1	1	1	6	1	0	2
4	0	0	0	3	0	0	1
5	0	1	1	3	0	0	1
6	0	0	1	1	1	0	1
7	0	0	1	1	0	0	1
8	0	2	1	2	0	0	1
9	2	1	0	1	0	3	3

Diese Tabelle zeigt, dass bei den männlichen Probanden kaum signifikante Aktivitätsanstiege zu beobachten sind. Die beobachteten Aktivitätsanstiege sind eher zufällig, insbesondere da die meisten bei Reizen auftreten, die unterhalb der mittleren Schmerzschwelle liegen (L 6).

In der Gruppe der Schmerzreize niedriger Intensität unterhalb der Schmerzschwelle, werden die Laserreize L1 (120 mJ) sowie L3 und L6 (200 mJ) zusammengefasst. Abbildung 9 zeigt, wie viel Prozent der Probanden deutliche Reaktionen in den einzelnen Muskeln zeigen.

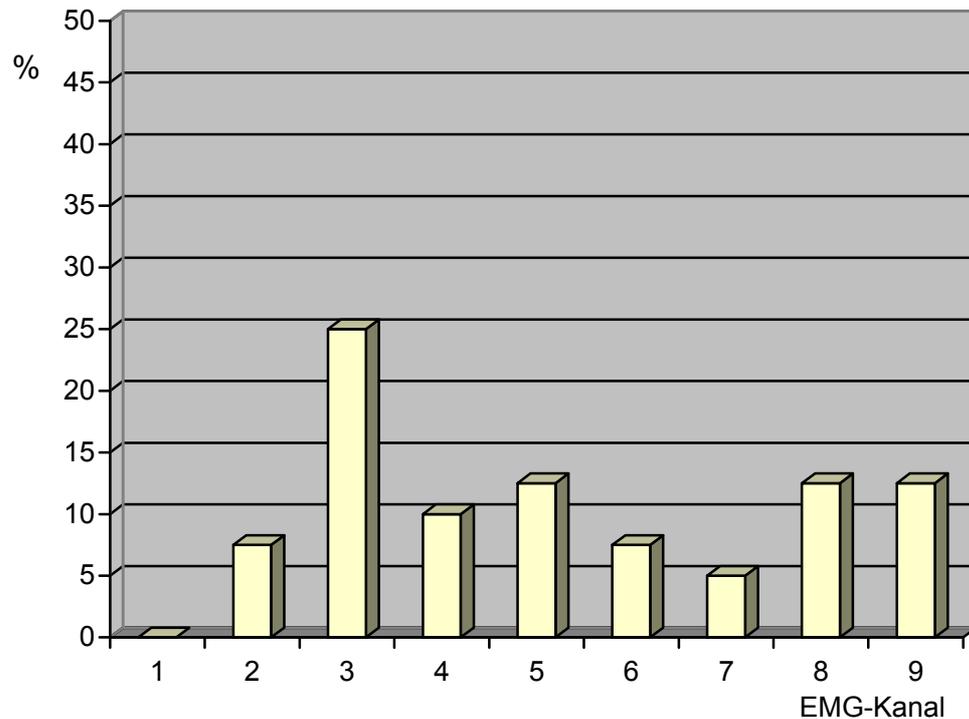
Abb. 9: Häufigkeit beobachteter Aktivitätsanstiege in den einzelnen Muskeln (EMG 1-9). Schmerzreize *geringer Intensität*, unterhalb der mittleren Schmerzschwelle (L1, 120 mJ; sowie L2 und L6, 200 mJ). Männliche Probanden, n=10.



Aktivitätsanstiege zeigen maximal 16 % der Probanden (M. mentalis, EMG 9). Bei so seltenen Aktivitätssteigerungen ist davon auszugehen, dass diese zufällig sind und nicht als spezifische Reaktion auf den Schmerzreiz aufzufassen sind.

In der Gruppe der Schmerzreize mittlerer Intensität oberhalb der Schmerzschwelle werden die Laserreize L2 und L5 (500 mJ) sowie L4 und L7 (750 mJ) zusammengefasst. Abbildung 10 zeigt, wie viel Prozent der Probanden deutliche Reaktionen in den einzelnen Muskeln zeigen.

Abb. 10: Häufigkeit beobachteter Aktivitätsanstiege in den einzelnen Muskeln (EMG 1-9). Schmerzreize mittlerer Intensität oberhalb der mittlere Schmerzschwelle (L2 und L5, 500 mJ; sowie L4 und L7, 750 mJ). Männliche Probanden, n=10.



Bei Schmerzreizen mittlerer Intensität zeigen 25 % der männlichen Probanden Aktivitätsanstiege im M. orbicularis oculi (EMG 3). Bei allen anderen Muskeln handelt es sich um seltene, eher zufällige Aktivitätsanstiege.

Insgesamt sind bei den männlichen Probanden kaum Aktivitätssteigerungen zu beobachten. Wahrscheinlich ist es durch die vorangehende Schmerzschwellenbestimmung zu einer Habituation an den Schmerzreiz gekommen, so dass sie während der Testserie kaum noch reagierten. Deshalb sollen die Ergebnisse der männlichen Probanden hier auch nicht weiter analysiert und diskutiert werden.

4 Diskussion

Diese Studie ist als Pilotstudie zu verstehen. Erstmals wird die Gesichts-EMG-Methode für die Beurteilung des Gesichtsausdrucks bei Schmerz verwendet.

Bei den männlichen Probanden kam es - durch die der Testserie vorangehende Schmerzschwellenbestimmung - zu einer Habituation an den Schmerzreiz. Dadurch konnten keine signifikanten Aktivitätsanstiege in den untersuchten Muskeln mehr festgestellt werden, weshalb auf eine weitere statistische Analyse und Diskussion verzichtet wird.

4.1 Diskussion der Ergebnisse der weiblichen Probanden

Die weiblichen Probanden zeigen Aktivitätssteigerungen in sieben der neun gemessenen Muskeln. Dabei verteilen sich die beobachteten Bewegungen auf zwei Bereiche des Gesichts: dem Bereich um die Augen und dem Bereich um den Mund.

Im Bereich der Augen zeigen sich am häufigsten Aktivitätssteigerungen im M. orbicularis oculi. Dieser Muskel zeigt von allen neun untersuchten Muskeln die häufigsten Aktivitätsanstiege. Dieses Ergebnis stimmt mit allen vorherigen Studien überein und wurde bisher durch die Action Units lids tight und eyes close beschrieben. Ein Schließen bzw. Zusammenkneifen der Augen, hervorgerufen durch den M. orbicularis oculi, scheint ein elementarer Bestandteil der mimischen Reaktion auf einen Schmerzreiz zu sein. Des Weiteren kann im Bereich der Augen eine Aktivitätssteigerung im M. corrugator supercilii festgestellt werden. Dieser Muskel zieht den medialen Teil der Augenbraue nach unten und führt zu einem Kräuseln der Haut über der Nasenwurzel. Auch diese Bewegung, mit FACS beschrieben als brow lowerer, konnte in den meisten vorangegangenen Studien beobachtet werden (LeResche 1982, Patrick et al. 1986, LeResche & Dworkin 1988, Prkachin & Mercer 1989, Craig et al. 1991, Prkachin 1992). Diese Ergebnisse entsprechen insbesondere denjenigen von Prkachin 1992.

Bewegungen im Bereich des Mundes können in dieser Studie hauptsächlich durch Aktivitätssteigerungen im M. zygomaticus major und im M. depressor anguli oris festgestellt werden. Diese beiden Muskeln sind sowohl bei Schmerzreizen mittlerer als

auch hoher Intensität regelmäßig am Reaktionsmuster beteiligt. Es kann angenommen werden, dass auch diese zum Grundmuster des Gesichtsausdrucks bei Schmerz gehören. Der M. zygomaticus major zieht die Mundwinkel nach lateral oben, wohingegen der M. depressor anguli oris die Mundwinkel nach unten zieht. Daraus resultiert eine Bewegung der Mundwinkel nach lateral mit einem Spannen und Verschmälern der Lippen. Aktivitätssteigerungen im M. risorius, der fakultativ bei Reizen mittlerer Intensität und regelmäßig bei Reizen hoher Intensität einen Spannungsanstieg zeigt, verstärken diese Bewegung. Sie entspricht den Action Units lip pull (Prkachin 1992) lip stretch und mouth stretch (LeResche 1982, Prkachin & Mercer 1989) und oblique lip raise (Craig & Patrick 1985, Prkachin & Mercer 1989). Dazu wurden noch weitere Bewegungen beschrieben: mouth open (Craig & Patrick 1985, Craig et al. 1991, Prkachin 1992), sowie jaw drop (Craig & Patrick 1985), die hier nicht bestätigt werden können. Fakultativ bei Reizen mittlerer Intensität und regelmäßig bei Reizen hoher Intensität können Aktivitätssteigerungen im M. levator labii superioris beobachtet werden. Dieser Muskel entspringt aus dem M. orbicularis oculi und setzt an den Nasenflügeln und der Oberlippe an. Eine Anspannung dieses Muskels bewirkt also ein Anheben der Oberlippe und der Nasenflügel und führt zu einer Vertiefung der nasolabialen Furche sowie zu einem Kräuseln der Nase. Diese Bewegungen wurden häufig in vorangehenden Studien beobachtet: upper lip raise (Craig & Patrick 1995, Patrick et al. 1986, LeResche & Dworkin 1988, Prkachin & Mercer 1989, Craig et al. 1991, Prkachin 1992) und nose wrinkle (LeResche & Dworkin 1988, Prkachin & Mercer 1989, Prkachin 1992). Diese beiden Bewegungen, die durch denselben Muskel hervorgerufen werden, scheinen regelmäßig im Zusammenhang mit Schmerz aufzutreten. Welche der Bewegungen auftritt, könnte von der Intensität der Anspannung in diesem Muskel abhängen. Dabei kommt es bei leichterer Anspannung zuerst zu einem Anheben der Oberlippe und erst bei stärkerer Anspannung zu einer Faltenbildung und so zu einer Vertiefung der Nasolabialen Furche. Eine Aktivitätssteigerung in diesem Muskel ist in der vorliegenden Studie abhängig von der Intensität des Schmerzreizes. Er könnte möglicherweise ein Kennmuskel für die Intensität des empfundenen Schmerzes sein. Aktivitätssteigerungen im M. mentalis und Platysma waren selten.

Bewegungen im Bereich des Mundes scheinen also regelmäßig am Gesichtsausdruck bei Schmerz beteiligt zu sein. Dabei treten offenbar eine Vielzahl unterschiedlicher

Bewegungen auf. Möglicherweise besteht eine große interindividuelle Variabilität, oder aber die Aktivitätssteigerungen in den einzelnen Muskeln sind abhängig von der Intensität des Schmerzempfindens.

Die postulierte Beteiligung des *M. orbicularis oculi* und des *M. zygomaticus major* am Gesichtsausdruck bei Schmerz konnte durch die vorliegende Studie bestätigt werden. Eine Beteiligung des *M. corrugator supercilii* und des *M. levator labii superioris* findet sich nur fakultativ, insbesondere bei Reizen hoher Intensität. Hypothese 2 kann zwar bestätigt werden, wird allerdings durch die vorliegenden Ergebnisse differenziert. Zudem tritt mit dem *M. depressor anguli oris* ein weiterer Muskel hinzu, der für den Gesichtsausdruck bei Schmerz eine wichtige Rolle spielt.

In dieser Studie können in drei Muskeln regelmäßig sowohl bei mittleren als auch bei hohen Intensitäten der Schmerzreize Aktivitätsanstiege beobachtet werden: im *M. orbicularis oculi*, im *M. zygomaticus major* und im *M. depressor anguli oris*. Diese drei Muskeln scheinen also das Grundmuster des Gesichtsausdrucks bei Schmerz darzustellen. Hinzu kommen weitere Muskeln, die fakultativ, bzw. erst bei hohen Schmerzintensitäten zu beobachten sind. Dies sind der *M. corrugator supercilii*, der *M. levator labii superioris* und eventuell der *M. risorius*. Hypothese 3 kann also bestätigt werden, das Reaktionsmuster der mimischen Muskulatur unterscheidet sich bei Reizen mittlerer und hoher Intensität. Bei Reizen mittlerer Intensität kann das Grundmuster des Gesichtsausdrucks bei Schmerz in einem Zusammenspiel des *M. orbicularis oculi*, des *M. zygomaticus major* und des *M. depressor anguli oris* beobachtet werden. Es bleibt jedoch unklar, ob es sich bei Reizen hoher Intensität mit dem Hinzutreten des *M. corrugator supercilii* und des *M. levator labii* erst um das Vollbild des Gesichtsausdrucks bei Schmerz, oder um eine übersteigerte Reaktion handelt, so dass nicht mehr von einem Pattern gesprochen werden kann.

Der in dieser Studie bei den weiblichen Probanden beobachtete Gesichtsausdruck besteht also in einem Schließen bzw. Zusammenkneifen der Augen, wobei eventuell der mediale Teil der Augenbrauen nach unten gezogen wird (*M. orbicularis oculi*, *M. corrugator supercilii*), sowie in einer Bewegung der Mundwinkel nach lateral mit einem Spannen und einer Verschmälerung der Lippen (*M. zygomaticus major*, *M. depressor anguli oris*, seltener *M. risorius*), eventuell mit Vertiefung der nasolabialen Furche (*M. levator labii superioris*).

4.2 Methodische Aspekte

4.2.1 Die Gesichts-EMG-Methode

Die hohe Sensitivität des hier verwendeten EMG-Geräts (bis 0,1 μV) ermöglicht, kleinste Spannungsänderungen zu erfassen. Trotzdem kommt es, wie in vorangehenden Studien zu anderen Emotionen bereits beschrieben, nicht zu relevanten Interferenzen zwischen nah nebeneinander gelegenen aktivierten Muskeln. Diese Methode erlaubt eine sensitivere und objektivere Analyse des Gesichtsausdrucks als das bisher verwendete FACS.

Aufgrund der hohen Sensibilität der Methode genügt als Stimulus bereits die Imagination einer emotionsauslösenden Situation. Diese ruft als Reaktion eine Tonussteigerung in der mimischen Muskulatur hervor, die mit bloßem Auge nicht sichtbar ist, wohl aber durch das EMG erfasst werden kann (Cacioppo 1981, Dimberg 1982, 1986, 1987, 1990a/b, Fridlund und Cacioppo 1986). Vor allem die Studien von Dimberg beschreiben die EMG-Methode als messgenau und valide für die Untersuchung und Differenzierung des mimischen Ausdrucks (Dimberg 1982, 1990a/b 1998). Es wird beschrieben, dass das abgeleitete EMG allgemein emotionale Aktivität widerspiegelt. Bisher fand die EMG-Methode Anwendung in der Differenzierung der sechs Grundgefühle (Freude, Trauer, Überraschung, Ärger/Wut, Ekel/Verachtung und Angst). Dabei konnten typische Patterns gefunden werden, die aus einem Zusammenspiel von drei bis vier Muskeln bestehen.

Der Vorteil der hohen Sensitivität der Methode kann darin liegen, auch bei geringen Schmerzintensitäten bereits ein schmerzspezifisches Muster zu identifizieren, oder eventuell später durch das Reaktionsmuster Rückschlüsse auf die Intensität des empfundenen Schmerzes ziehen zu können. Es bleibt jedoch ungeklärt, ob durch sehr hohe Schmerzintensitäten nicht eine so starke mimische Reaktion ausgelöst wird, dass nicht mehr von einem spezifischen Reaktionsmuster gesprochen werden kann. Der Gesichtsausdruck bei Schmerz konnte mit FACS bisher nur im sichtbaren Bereich der Mimik untersucht werden. Mit der EMG-Methode tritt nun auch der nicht sichtbare Bereich hinzu. Allerdings können nur Aussagen über die neun untersuchten Muskeln (M. occipitofrontalis, venter frontalis, M. corrugator supercilii, M. orbicularis oculi, M. levator labii, M. zygomaticus, M. risorius, Platysma, M. depressor anguli oris und

M.mentalis) getroffen werden. Es kann also nicht - wie mit FACS - die gesamte mimische Reaktion erfasst werden. Muskeln, über denen kein EMG abgeleitet wurde, die jedoch eventuell am Gesichtsausdruck bei Schmerz beteiligt sein könnten, können nicht beurteilt werden. Allerdings gelten diese neun Muskeln als die entscheidenden Kernmuskeln für emotionalen Ausdruck.

Der Gesichtsausdruck bei Schmerz scheint äußerst komplex zu sein. Sechs der neun untersuchten Muskeln zeigen Aktivitätssteigerungen, nur einer konnte ausgeschlossen werden (M. occipitofrontalis), zwei reagierten selten (M. mentalis, Platysma). Die bisher für andere Emotionen identifizierten Gesichtsmuskel-Reaktionsmuster (Pattern) bestehen aus einer kleineren Anzahl an Muskeln. Wie bereits beschrieben könnte das Reaktionsmuster bei Schmerz entweder intensitätsabhängig, interindividuell variabel oder aber auch stimulusspezifisch sein. Allerdings ist das hier bei den weiblichen Probanden gefundene Pattern durchaus mit den durch FACS beschriebenen Ergebnissen vergleichbar, wobei diese auch vorwiegend durch Untersuchungen an weiblichen Probanden zustande kamen. Die Ergebnisse der männlichen Probanden konnten hier leider nicht weiter ausgewertet werden, da es durch die vorangehende Schmerzschwellenbestimmung zu einer Habituation gekommen war.

Es scheint jedoch auch im weiteren sinnvoll zu sein, Frauen und Männer getrennt zu untersuchen, da Frauen in der Regel eine ausgeprägtere elektromyographische Reaktion zeigen als Männer, also expressiver sind (Schwartz et al. 1980).

Zudem weisen einige Studien darauf hin, dass auch die Schmerzwahrnehmung und die Schmerzempfindung von Frauen und Männern unterschiedlich sein könnten (für eine Übersicht siehe Dao & LeResche 2000). In Bezug auf experimentell ausgelösten Schmerz stellten Fillingim und Maixner in einer Analyse der bisher mageren Forschung auf diesem Gebiet fest, dass Frauen eine größere Sensibilität zeigen als Männer (Filligin & Maixner 1995). Eine weitere Übersichtsstudie von Berkley fand heraus, dass Frauen eine geringere Schmerzschwelle und Schmerztoleranz aufweisen (Berkley 1997). Diese Ergebnisse zeigten sich nicht in Bezug auf alle experimentellen Schmerzauslöser; für elektrische und mechanische Reize sowie für Kälte waren sie jedoch ausgeprägt. Die Schmerzwahrnehmung und Beurteilung ist dabei von einer Vielzahl von Variablen abhängig, wobei sowohl psychosoziale wie auch biologische Aspekte eine Rolle spielen (Dao & LeResche 2000). Unter den biologischen Aspekten

werden insbesondere hormonelle Faktoren und Interaktionen von Geschlechtshormonen mit Neurotransmittern (Marcus 1995) sowie eine unterschiedliche strukturelle Organisation und Funktion des sympathischen Nervensystems (Ng et al. 1993, Ettinger et al. 1996) diskutiert. Sollte also bereits die Schmerzwahrnehmung der beiden Geschlechter unterschiedlich sein, könnte auch deren Ausdruck in der Mimik ähnlichen geschlechtsspezifischen Mechanismen unterliegen. Unter den psychosozialen Faktoren könnte insbesondere eine Rolle spielen, dass Männer durch Erziehung lernen, den Ausdruck von Schmerzen zu unterdrücken.

Mehrere Studien wiesen bereits darauf hin, dass der Gesichtsausdruck von Schmerz unterdrückbar ist (Craig et al. 1991, Poole & Craig 1992, Prkachin 1992/b, Hadjistavropoulos & Craig 1994, Hill & Craig 2002). Dabei kommt es initial reflexartig zu einer mimischen Reaktion, die jedoch rasch unterdrückt werden kann. Dies läßt vermuten, dass das hier verwendete Zeitintervall des Trials von 4 Sekunden nach dem Schmerzreiz zu lang ist, da hiermit hauptsächlich Reaktionen erfaßt werden, die der willkürlichen Kontrolle unterliegen und somit verfälscht sein könnten. Es scheint sinnvoller, nur ein kurzes Zeitintervall unmittelbar nach dem Schmerzreiz auszuwerten.

Insgesamt scheint die Gesichts-EMG-Methode ein geeignetes Meßinstrument für die Beurteilung des Gesichtsausdrucks bei Schmerz zu sein. Allerdings scheinen an diesem mimischen Reaktionsmuster, insbesondere bei Schmerzreizen hoher Intensität eine Vielzahl an Muskeln beteiligt zu sein. Es ist unklar, ob dann noch von einem Pattern im klassischen Sinne gesprochen werden kann. Die Ergebnisse der vorliegenden Studie sind durchaus mit den durch FACS erzielten vergleichbar, so dass Hypothese 1 bestätigt werden kann.

4.2.2 Schmerzauslösung und Studiendesign

Der Thulium-YAG-Laser ist für die experimentelle Schmerzauslösung ein geeigneter Reiz. Er erfüllt die Anforderungen, die an einen experimentellen Schmerzreiz gestellt werden, indem er eine akute, kurz andauernde Schmerzempfindung auslöst, ohne das Gewebe nachhaltig zu schädigen.

Fraglich bleibt allerdings, ob mit Hilfe des hier verwendeten Studiendesign tatsächlich eine reine Schmerzempfindung hervorgerufen werden konnte. Es erscheint möglich, dass neben der Schmerzempfindung weitere Reaktionen wie insbesondere Erschrecken oder auch Angst erzeugt wurden. Da die Probanden nicht vorhersehen konnten, wann der nächste Laserreiz appliziert werden würde, ist es gut möglich, dass sie sich bei dessen Auftreten erschreckten. Die beobachteten mimischen Reaktionen könnten also eine Mischung aus den oben genannten Emotionen darstellen. Es bleibt unklar, ob der hier festgestellte Gesichtsausdruck als schmerzspezifisch angesehen werden kann.

Ein weiteres Problem liegt im Aufbau der Testserie. Zwar wurde eine Schmerzschwellenbestimmung durchgeführt, die es ermöglicht festzustellen, wo die mittlere Schmerzschwelle der Probanden lag; jedoch wurde die Testserie nicht an die individuellen Ergebnisse der Probanden aus der Schmerzschwellenbestimmung angepasst. Dies führt dazu, dass die einzelnen Probanden bei den Laserreizen wahrscheinlich nicht die gleiche Schmerzintensität empfanden. Das individuelle Schmerzempfinden sollte auch während der Testserie erfaßt werden.

Die Schmerzschwellenbestimmung darf nicht vor der Testserie erfolgen, da es sonst zu einer Habituation kommt und keine Aktivitätsanstiege in den Muskel mehr festgestellt werden können.

Der Thulium-YAG-Laser scheint also geeignet für die Schmerzauslösung, das Studiendesign muß allerdings modifiziert werden.

4.3 Vorschläge für die weitere Forschung auf diesem Gebiet

Die in dieser Arbeit verwendete Methode scheint geeignet, den mimischen Ausdruck bei Schmerz objektiv und differenziert zu beurteilen.

Die EMG-Methode stellt, wie bereits für andere Emotionen beschrieben, auch für den Gesichtsausdruck bei Schmerz ein sensibles und objektives Messinstrument dar.

Der verwendete Thulium-YAG-Laser ist ein geeigneter Auslöser für experimentelle Schmerzen. Die Intensität der Laserreize der Testserie sollte allerdings in folgenden Studien dem individuellen Schmerzempfinden angepasst werden, welches mit Hilfe

einer Schmerzschwellenbestimmung und quantitativen Schmerzskaleten zu ermitteln ist. Um eine möglichst reine Schmerzreaktion zu beobachten, erscheint es sinnvoll, sowohl einen variablen als auch einen festen Zeitabstand zwischen den Laserreizen zu wählen. Bei einem variablen Zeitabstand zwischen den Laserreizen ist wie hier davon auszugehen, dass als zusätzliche Reaktion ein Erschrecken auftreten könnte. Bei einem festen Zeitabstand oder z.B. einer visuellen oder akustischen Ankündigung des Reizes wird zwar das Erschrecken reduziert, aber gleichzeitig die Angst vor dem Reiz verstärkt. Aus einer vergleichenden Betrachtung der Gemeinsamkeiten der Reaktionen könnte dann möglicherweise der reine Schmerzausdruck ermittelt werden. Es bleibt zu untersuchen, ob bei starken Schmerzreizen noch ein schmerzspezifisches Reaktionsmuster festzustellen ist.

Es erscheint auch im Weiteren sinnvoll zu sein, den Gesichtsausdruck von Frauen und Männern getrennt zu analysieren, um zu klären, ob tatsächlich Unterschiede in der Expressivität oder der Qualität des Gesichtsausdrucks bestehen.

Neben den hier verwendeten Messinstrumenten könnten auch psychometrische Testverfahren mit einbezogen werden.

Um bessere statistische Aussagen treffen zu können, ist eine größere Untersuchungsgruppe erforderlich.

Zusammenfassung

Ziel dieser Arbeit war es, den Gesichtsausdruck bei Schmerz zu untersuchen. Dazu wurde mit dem Gesichts-EMG eine neue Methode verwendet, die im Vergleich zu dem bisher gebräuchlichen FACS präzisere und schnellere Ergebnisse liefert.

Die Untersuchungsgruppe bestand aus 13 weiblichen und 10 männlichen Probanden, die sich aus Studenten und Angestellten des Universitätsklinikums Hamburg-Eppendorf zusammensetzte.

Mit einem Gesichts-EMG wurden die Tonusveränderungen von neun mimischen Muskeln (M. occipitofrontalis, venter frontalis, M. corrugator supercilii, M. orbicularis oculi, M. levator labii superioris, M. zygomaticus, M. risorius, Platysma, M. depressor anguli oris und M. mentalis) gemessen.

Die Schmerzauslösung erfolgte durch einen Thulium-YAG-Laser, insgesamt wurden 7 Laserreize unterschiedlicher Intensität appliziert.

Der Gesichtsausdruck bei Schmerz konnte nur bei den weiblichen Probanden beurteilt werden, da es bei den männlichen Probanden durch die vorangehende Schmerzschwellenbestimmung zu einer Habituation gekommen war. Der Gesichtsausdruck bei den weiblichen Probanden besteht in einem Schließen bzw. Zusammenknäufen der Augen, wobei eventuell der mediale Teil der Augenbrauen nach unten gezogen wird (M. orbicularis oculi, M. corrugator), sowie in einer Bewegung der Mundwinkel nach lateral mit einem Spannen und einer Verschmälerung der Lippen (M. zygomaticus major, M. depressor anguli oris, seltener M. risorius), eventuell mit Vertiefung der nasolabialen Furche (M. levator labii superioris).

Das Reaktionsmuster der mimischen Muskulatur auf einen Schmerzreiz ist intensitätsabhängig. Drei Muskeln bilden das Grundmuster des Gesichtsausdrucks bei Schmerz. Dies sind der M. orbicularis oculi, der M. zygomaticus major und der M. depressor anguli oris, die sämtliche bereits bei Schmerzreizen mittlerer Intensität reagieren. Erst bei Reizen hoher Intensität können auch Aktivitätssteigerungen im M. corrugator supercilii und im M. levator labii superioris beobachtet werden.

Die Gesichts-EMG-Methode scheint auch für die Beurteilung des Gesichtsausdrucks bei Schmerz ein geeignetes Meßinstrument darzustellen.

Es ist möglich, dass der hier beobachtete Gesichtsausdruck nicht ausschließlich schmerzspezifisch ist. Durch das hier verwendete Studiendesign könnten sich weitere negative Empfindungen wie Erschrecken oder Angst eingemischt haben.

6 Literaturverzeichnis

- Anand KJS, Craig KD (1996)
New perspectives on the definition of pain.
Pain 67:3-6
- Andrew RJ (1965)
Evolution of facial expression.
Science 142: 1034-1041
- Andrew RJ (1965)
The origins of facial expressions.
Sci Am 213: 88-94
- Berkley KJ, (1997)
Sex differences in pain.
Behav. Brain Sci. 20: 371-380
- Boucher JD (1969)
Facial displays of fear, sadness and pain.
Percept. Motor Skills 28:239
- Cacioppo JT, Petty RE (1981)
Electromyograms as measures of extent and affectivity of information processing.
American Psychologist 36: 441-456
- Chapman WP, Jones CM (1944)
Variations in cutaneous and visceral pain sensitivity in normal subjects.
J. clin. Invest. 23:81
- Craig KD, Prkachin KM (1983)
Nonverbal measures of pain.
In: R. Melzak (Ed.) Pain measurement and assessment (S. 173-179)
New York: Raven Press
- Craig KD, Patrick CJ (1985)
Facial expression during induced pain.
J. Pers. Soc. Psychol. 48: 1080-1091
- Craig KD, Hyde SA, Patrick CJ (1991)
Genuine, suppressed and faked facial behaviour during exacerbation of chronic low back pain.
Pain 46: 153-160
- Craig KD (1993)
The facial expression of pain: better than a thousand words.
APS J. 1:153-162
- Craig KD, Whitfield MF, Grunau RVE, Linton J, Hadjistavropoulos HD (1993)
Pain in the preterm neonate: behavioural and physiological indices.
Pain 52: 287-299

Craig KD, Hadjistavropoulos HD, Grunau RVE, Whitfield MF (1994)
A comparison of two measures of facial activity during pain in the newborn child.
J Pediatr Psychol 19: 305-318

Dao TT, LeResche L (2000)
Gender differences in pain.
J. orofac. Pain 14: 169-184

Darwin CR (1872)
The expression of emotions in man and animals.
Der Ausdruck von Gemütsbewegungen bei Menschen und Tieren.
In: Enzensberger H.H. (Hrsg.) (2000)
Kritische Edition, Einleitung, Nachwort und Kommentar von Paul Ekman
Frankfurt am Main: Eichborn Verlag

Deyo KS, Prkachin KM, Mercer SR (2004)
Development of facial sensitivity to facial expression of pain.
Pain 107: 16-21

Dimberg U (1982)
Facial reactions to facial expressions.
Psychophysiology 19: 643-647

Dimberg U, Öhman A (1983)
The effects of directional facial cues on electrodermal conditioning to facial stimuli.
Psychophysiology 20: 160-167

Dimberg U (1986)
Facial reactions to fear-relevant and fear-irrelevant stimuli.
Biol Psychol 23: 153-161

Dimberg U (1987)
Facial reactions and autonomic activity to auditory stimuli with high and low intensity.
Psychophysiology 24: 586

Dimberg U (1990a)
Facial electromyography and emotional reactions. (Award address for distinguished early career contribution to psychophysiology, 1988).
Psychophysiology 27: 481-494

Dimberg U (1990b)
Facial reactions to auditory stimuli: Sex differences.
Scand J Psychol 39: 228-233

Dimberg U, Lundquist LO (1990)
Gender differences in facial reactions to facial expressions.
Biol Psychol 30: 151-159

Dimberg U, Thunberg M (1998)
Rapid facial reactions to emotional facial expression.
Scand J Psychol 39: 39-45

- Doherty E, Yanni G, Conroy RM, Bresan B (1993)
A comparison of child and parent ratings of disability and pain in juvenile chronic arthritis.
J. Rheumatol. 20:1563-1566
- Ekman P, Friesen WV (1969)
Nonverbal leakage and cues to deception.
Psychiatry 32:88
- Ekman P (1973)
Cross-cultural studies of facial expression.
In: Ekman P. (Ed), Darwin and facial expression.
New York: Academic Press (169-222)
- Ekman P, Friesen W V (1974)
Detecting deception from the body or face.
J. Pers. Soc. Psychol. 29: 288
- Ekman P, Friesen W V (1978)
Facial Action Coding System (FACS): Manual.
Palo Alto: Consulting Psychologists Press
- Ekman P, (1992a)
An argument for basic emotions.
Cognition and Emotions 6: 169-200
- Ettinger SM, Silber DH, Collins BG, Gray KS, Sutliff G, Whisler SK, et al. (1996)
Influences of gender on sympathetic nerve responses to static exercise.
J. Appl. Physiol. 80: 245-251
- Fillingim RB, Maixner W (1995)
Gender differences in the response to noxious stimuli.
Pain Forum 4: 209-221
- Fridlund AJ, Cacioppo JT (1986)
Guidelines for human electromyographic research.
Psychophysiology 23: 567-585
- Ganchrow JR, Steiner JE , Kleiner M, Edelstein ELA (1976)
A multidisciplinary approach to the expression of pain in psychotic depression.
Percept. Motor Skills 47: 379
- Grunau RVE, Johnston CC, Craig KD (1990)
Neonatal facial and cry responses to invasive and non-invasive procedures.
Pain 42: 295-305
- Hadjistavropoulos HD, Craig D (1994)
Acute and chronic low back pain: cognitive, affective, and behavioural dimensions.
Journal of Consulting and Clinical Psychology 62: 341-349
- Hill ML, Craig KD (2002)
Detecting deception in pain expressions: the structure of genuine and deceptive facial displays.
Pain 98: 135-144

Hüsler J, Zimmermann H (2001)
Statistische Prinzipien für medizinische Projekte. (3. Auflage)
Bern, Göttingen, Toronto, Seattle: Huber

IASP, Subcommittee on Taxonomy (1979)
Pain terms: a list with definitions and notes on usage.
Pain 6: 250

Izard CE (1977)
Human Emotions.
Plenum Press, New York

Izard CE (1994)
Die Emotionen des Menschen: Eine Einführung in die Grundlagen der
Emotionspsychologie. (3. Auflage)
Weinheim: Beltz, Psychologie Verlags Union

Johnston CC, Stevens BJ, Craig KD, Grunau RVE (1993)
Developmental changes in pain expression in premature, fullterm, two and four month
old infants.
Pain 52: 201-208

Johnston CC, Stevens BJ, Yang F, Horton L, (1995)
Differential response to pain by very premature neonates.
Pain 61: 471-479

Le Resche L, (1982)
Facial expression in pain: a study of candid Photographs.
J. Nonverb. Behav. 7: 46-56

Le Resche L, Dworkin SF (1988)
Facial expression of pain and emotions in chronic TMD patients.
Pain 35: 71-78

LeResche L, Dworkin SF, Wilson L, Ehrlich KJ (1992)
Effect of temporomandibular disorder pain duration on facial expressions and verbal
report of pain.
Pain 51: 289-295

Manne SL, Jacobson PB, Redd WH (1992)
Assesment of acute pediatric pain: do child self-report, parents ratings and nurse
ratings measure the same phenomenon?
Pain 48: 45-52

Marcus DA (1995)
Interrelationships of neurochemicals, oestrogen, and recurring headache.
Pain 62: 129-139

Marquié L, Raufaste E, Lauque D, Mariné c Ecoiffier M, Sorum P (2003)
Pain rating by patients and physicians: evidence of systematic pain miscalibration.
Pain 102: 289-296

- Merskey H (1991)
The definition of pain.
Eur. J. Psychiatry 6: 153-159
- Ng AV, Callister R, Johnson DG, Seals DR (1993)
Age and gender influence muscle sympathetic nerve activity at rest healthy humans.
Hypertension 21: 498-503
- Panksepp J (1998)
The foundations of human and animal emotions.
Oxford University Press
- Patrick CJ, Craig KD, Prkachin KM (1986)
Observer judgements of acute pain: facial action determinants.
J. Pers. Soc. Psychol. 50: 1291-1298
- Plutchik R (1962)
The emotions: Facts, theories and a new Model.
Random House, New York
- Poole GD, Craig KD (1992)
Judgements of genuine, suppressed, and faked facial expressions of pain.
J. Pers. Soc. Psychol. 63: 797-805
- Prkachin KM, Currie NA, Craig KD (1983)
Judging nonverbal expressions of pain.
Can. J. Behav. Sci. 15: 409-421
- Prkachin KM, Craig KD (1985)
Influencing non-verbal expression of pain: signal detection analyses.
Pain 21: 399-409
- Prkachin KM, (1986)
Pain behavior is not unitary.
Behav. Brain Sci. 9: 754-755
- Prkachin KM, Mercer SR (1989)
Pain expression in patients with shoulder pathology: validity, properties and relationship to sickness impact.
Pain 39: 257-265
- Prkachin KM (1992/a)
The consistency of facial expression of pain: a comparison across modalities.
Pain 51:297-306
- Prkachin KM (1992/b)
Dissociating spontaneous and deliberate expressions of pain: signal detecting analyses.
Pain 51: 57-65
- Prkachin KM, Berzins S, Mercer SR (1994)
Encoding and decoding of pain expressions: a judgement study.
Pain 58: 253-259

- Prkachin KM, Solomon P, Hwang T, Mercer SR (2001)
Does experience affect judgements of pain behavior? Evidence from relatives of pain patients and health-care providers.
Pain 6: 105-112
- Prkachin KM, Mass H, Mercer SR (2004)
Effects of exposure on perception of pain expression.
Pain 111: 8-12
- Schwartz G, Ahern G, Brown S (1980)
Lateralized facial muscle response to positive versus negative emotional stimuli.
Psychophysiology 16: 561-571
- Solomon PE, Prkachin KM, Farewell V (1997)
Enhancing sensitivity to facial expression of pain.
Pain 71: 279- 284
- Spiegel J, Hansen C, Treede R (2000)
Clinical evaluation criteria for the assessment of impaired pain sensitivity by thulium-laser-evoked potentials.
Clin Neurophysiol 111: 725-735
- Tinbergen N (1952)
"Derived" activities: Their causation, biological significans, and emancipation during evolution.
The Quarterly Review of Biology 27: 1-26
- Tomkins SS (1962)
Affect, imagery, consciousness. (Vol. 1): The positive affects.
New York: Springer
- Tomkins SS (1963)
Affect, imagery, consciousness. (Vol. 2): The negative affects.
New York: Springer
- Tomkins SS (1982)
Affect theory.
In: Emotion in the human face (edited by Ekman P.) Second Edition
Cambridge University Press, New York
- Wolf K, Mass R, Kiefer F, Wiedemann K, Naber D (2004a)
Characterization of the facial expression of emotions in schizophrenia: First results with a new EMG method.
In press: Schizophrenia Research
- Wolf K, Mass R, Kiefer F, Wiedemann K, Naber D (2004b)
The influence of olanzapine on facial expression of emotions in schizophrenia – an improved facial EMG study.
German Journal of Psychiatry 7:14-19
- Wolf K, Mass R, Kiefer F, Naber D, Wiedemann K (2004c)
The facial pattern of disgust, appetite, excited joy and relaxed joy – an improved facial EMG study.
In press: Scandinavian Journal of Psychology

Wolf K, Köppel S, Maß R, Naber D (2004d)

Bestätigung des Heimann'schen Konzepts zur mimischen Desintegration
schizophrener Patienten mittels einer neuen Gesichts-EMG Methode.

In press: Nervenarzt

Wolf K, Mass R, Kiefer F, Eckert K, von Stritzky A, Wiedemann K, Naber D (2004e)

The Influence of olanzapine vs. risperidone on facial expression of emotions in
schizophrenia – a facial EMG study.

In press: Journal of Clinical Psychopharmacology

7 Anhang

7.1 Tabellenverzeichnis

Tab.1: Am Gesichtsausdruck bei Schmerz beteiligte Action Units und deren Funktion nach FACS.....	9
Tab.2: Action Units, die in früheren Studien signifikante Beziehungen zu Schmerz zeigten.....	15
Tab.3: Technische Daten des EMG-Geräts analog den Vorgaben von Advanced Emotion Finder ®.....	22
Tab. 4: Lage der Elektroden nach Fridlund & Cacioppo 1986.....	24
Tab. 5: Zuordnung der EMG-Kanäle zu den mimischen Muskeln.....	24
Tab. 6: Tab. 6: Anzahl der weiblichen Probanden (n=13), die bei den Laserreizen L1 bis L7 einen deutlichen Anstieg der Muskelaktivität zeigen. Die Intensität des Laserreizes ist jeweils in Klammern angegeben.....	31
Tab. 7: Wilcoxon-Signifikanz p, weibliche Probanden. Signifikante Aktivitätsanstiege, $p < 0,05$ gelb unterlegt, hochsignifikante Aktivitätsanstiege, $p < 0,01$ rot unterlegt.....	38
Tab. 8: Anzahl der Probanden, die bei den Laserreizen L1 bis L7 einen deutlichen Anstieg der Muskelaktivität zeigen. Die Intensität des Laserreizes ist jeweils in Klammern angegeben. Männliche Probanden n =10.....	40

7.2 Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Lage der Elektroden und Verlauf der untersuchten mimischen Muskeln.....	25
Abb. 2: Foto der Lage der Elektroden.....	25
Abb. 3: Testserie weibliche Probanden.....	27
Abb. 4: Testserie männliche Probanden.....	28
Abb. 5: Häufigkeit beobachteter Aktivitätsanstiege in den einzelnen Muskeln (EMG 1-9). Schmerzreize <i>niedriger Intensität</i> unterhalb der mittleren Schmerzschwelle (L1 und L6, 200mJ). Weibliche Probanden.....	32
Abb. 6: Häufigkeit beobachteter Aktivitätsanstiege in den einzelnen Muskeln (EMG 1-9). Schmerzreize <i>mittlerer Intensität</i> , oberhalb der mittleren Schmerzschwelle (L3, 400mJ; sowie L2 und L5, 600mJ). Weibliche Probanden, n=13.	33
Abb. 7: Häufigkeit beobachteter Aktivitätsanstiege in den einzelnen Muskeln (EMG 1-9). Schmerzreize <i>hoher Intensität</i> , oberhalb der mittleren Schmerzschwelle (L4 und L7, 800 mJ). Weibliche Probanden, n=13.....	35
Abb. 9: Zusammenfassende Darstellung der Abb. 6-8.....	36

7.3 Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
Ag	Silber
AgCl	Silberchlorid
AU	Action Unit (FACS)
dB	Dezibel
EMG	Elektromyographie
et al.	et alter
FACS	Facial Action Coding System
G	Giga
Hz	Herz
L1-L9	Laserreiz 1-9
M	Mega
M.	Musculus
mm	Millimeter
ms	Millisekunden
µm	Mikrometer
µs	Mikrosekunden
n	Stichprobenumfang
s	Sekunde
Tab.	Tabelle

8 Danksagung

Zunächst möchte ich allen Probanden und Probandinnen danken, die sich bereit erklärt haben, an der Studie teilzunehmen.

Herrn Prof. Dr. med. D. Naber danke ich für die Überlassung des Themas und für die Möglichkeit, die Untersuchungen in der Klinik für Psychiatrie und Psychotherapie am Universitätsklinikum Hamburg-Eppendorf durchführen zu können.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Dr. med. K. Wolf für die wissenschaftliche Betreuung. Sein Verständnis für meine Lebenssituation ermöglichten mir eine freie Zeiteinteilung bei der Erfassung und Verarbeitung der Daten und der Niederschrift dieser Arbeit.

Herrn PD Dr. phil. R. Maß danke ich für die Grundlagen der statistischen Bearbeitung der Daten, die er entwickelt hat und mir geduldig vermittelte.

Weiterhin danke ich den Mitarbeitern der Forschungsgruppe um Dr. med. K. Wolf, die bei der Erhebung der Daten behilflich waren, sowie den Mitarbeitern der physiologischen Abteilung des Universitätsklinikums Hamburg-Eppendorf für die Bereitstellung und Bedienung des Lasers.

Allen Freunden, die mich während dieser Zeit begleiteten und mir Lebensinhalt, Zuspruch und Hilfe gaben, sei an dieser Stelle von Herzen gedankt.

Mein besonderer Dank gilt meiner Familie, die mich stets vorbehaltlos unterstützte. Meinen Eltern Heinz-Torsten und Barbara Hertam, die meine eigenen Wünsche förderten und mir so auch das Studium ermöglichten, sowie meinen Schwiegereltern Dr. Dieter und Ursula Henke, deren moralischer Zuspruch viel zum Gelingen dieser Arbeit beitrug.

Für die Lebensbegleitung, sachlich und emotional, bin ich meinem Mann, Dr. jur. Volkmar Henke, zu tiefstem Dank verpflichtet.

9 Lebenslauf

Name: Kai Barbara Henke, geb. Hertam

Wohnort: Amendastr. 52
20357 Hamburg

Geburtsdatum: 09.06.1978

Geburtsort: Bad Schwalbach

Familienstand: verheiratet mit Volkmar Henke
drei Kinder Bent, Helene und Theis Henke
(geb. 2001, 2004 und 2007)

Schulbesuch:

1984 – 1992: Freie Waldorfschule Wiesbaden

1992 – 1995: Gymnasium Graf-Friedrich-Schule Diepholz

1995 – 1997: Allgemeines Gymnasium Lohne

Abschluss: Allgemeine Hochschulreife

Studium:

seit Okt. 1997: Medizinstudium an der Universität Hamburg

Sep. 1999: Ärztliche Vorprüfung

März 2001: Erster Abschnitt der Ärztlichen Prüfung

März 2004: Zweiter Abschnitt der Ärztlichen Prüfung

Okt. 2006: Dritter Abschnitt der Ärztlichen Prüfung

Wissenschaftliche Tätigkeit:

Jan. 2000 – Aug. 2003: Forschungstätigkeit im EMG-Labor der Klinik und Poliklinik für Psychiatrie und Psychotherapie am Universitätsklinikum Hamburg-Eppendorf

Eidesstattliche Versicherung:

Ich versichere ausdrücklich, dass ich die Arbeit selbständig und ohne fremde Hilfe verfasst, andere als die von mir angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und die aus den benutzten Werken wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen einzeln nach Ausgabe (Auflage und Jahr des Erscheinens), Band und Seite des benutzten Werkes kenntlich gemacht habe.

Ferner versichere ich, dass ich die Dissertation bisher nicht einem Fachvertreter an einer anderen Hochschule zur Überprüfung vorgelegt oder mich anderweitig um Zulassung zur Promotion beworben habe.