

Aus dem Universitätsklinikum Münster  
Klinik und Poliklinik für Neurologie  
- Direktor: Univ.-Prof. Dr. med. E.-Bernd Ringelstein -

**Untersuchungen zum Einfluss einer  
exogen induzierten repetitiven Schmerzstimulation  
auf die peripheren und trigeminalen Schmerzreizschwellen**

INAUGURAL - DISSERTATION  
zur  
Erlangung des doctor medicinae  
der Medizinischen Fakultät  
der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster

vorgelegt von Dirkwinkel, Monika  
aus Rheda-Wiedenbrück

2008

*Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät  
der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster*

*Dekan:* Herr Univ.-Prof. Dr. V. Arolt

*Referent:* Herr Prof. Dr. med. Dr. phil. Stefan Evers

*Koreferentin:* Frau Priv.-Doz. Dr. med. Dipl.-Psych. Ingrid Galow

*Tag der mündlichen Prüfung:* 28.05.2008

Aus dem Universitätsklinikum Münster

Klinik und Poliklinik für Neurologie

- Direktor: Univ.-Prof. Dr. med. E.-Bernd Ringelstein -

Referent: Prof. Dr. med. Dr. phil. Stefan Evers

Koreferentin: Frau Priv.-Doz. Dr. med. Dipl.-Psych. Ingrid Gralow

### ZUSAMMENFASSUNG

Untersuchungen zum Einfluss einer exogen induzierten repetitiven Schmerzstimulation auf die peripheren und trigeminalen Schmerzreizschwellen

Monika Dirkwinkel

In den letzten Jahren ist die Frage in den Mittelpunkt der Schmerzforschung gerückt, wie sich Schmerzbahnung und Schmerzhemmung gegenseitig beeinflussen und wie diese Phänomene gemessen werden können. Einige asiatische Kampfkunstarten, wie z. B. Kung Fu, arbeiten mit repetitiv durchgeführten antinozizeptiven Übungen zur verminderten Schmerzwahrnehmung. Diese Übungen können ein Modell bilden, um eine exogen erworbene Hypalgesie zu untersuchen. Diese Arbeit stellt die Frage, ob das Trainieren von Analgesie zu veränderten peripheren und trigeminalen Schmerzschwellen und damit zu einer Veränderung von Schmerzreizschwellen führt.

In die experimentelle Untersuchung wurden 30 gesunde Probanden eingeschlossen. Diese wurden in 2 Gruppen unterteilt: die 15 Probanden hatten ein 14-tägiges Abhärtungstraining zu absolvieren, die 15 Kontrollpersonen nicht. Zu Anfang (U1) und nach Ablauf (U2) des Abhärtungstrainings wurden die Personen untersucht. Es wurden die Sensibilitäts- und Schmerzreizschwellen am M. tibialis anterior und am M. masseter gemessen. Beide Schwellen waren sowohl bei den Probanden als auch bei den Kontrollen am M. masseter signifikant niedriger.

Wir fanden einen Trend, dass die Probanden eine im Zeitverlauf durchschnittlich höhere Schmerzreizschwelle als die Kontrollen hatten. Dies könnte bedeuten, dass die Probanden aus der Kung-Fu-Trainingsgruppe besser adaptieren.

Die Ursache könnte in einer Habituation von Transmittersystemen oder einer Ausschüttung von Substance P liegen. Peripher ist eine Erschöpfung des Systems der C-Fasern denkbar. Eine zentrale Habituation ist durch die kortikale Plastizität möglich. Der Vergleich der Messdaten am M. masseter zum Zeitpunkt U1 und U2 bei den Kontrollen zeigt, dass die Schmerzreizschwelle sinkt und die Schmerzstärke sinkt, aber weniger ausgeprägt als bei den Probanden. Dies könnte ein Hinweis darauf sein, dass das Abhärtungstraining auch auf das trigeminale System Einfluss nimmt. Dauernder nozizeptiver (= physiologischer) Schmerzreiz führt möglicherweise auch im Hirnstamm zu einer Habituation.

Tag der mündlichen Prüfung: 28.05.2008

*Für meine Mutter*



## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Grundlagen</b>	<b>5</b>
2.1	Physiologie des nozizeptiven Systems	5
2.2	Methoden der Schmerzmessung	13
2.3	Schmerzbeeinflussung	16
2.4	Schmerz in asiatischen Kampfkünsten	19
<b>3</b>	<b>Methodik</b>	<b>23</b>
3.1	Umfrage	23
3.2	Experimentelle Untersuchungen	25
3.3	Abhärtungstraining	26
3.4	Messung der Nozizeption	27
3.4.1	Benutzte Geräte	27
3.4.2	Messung der Schmerzintensität	27
3.4.3	Untersuchungsablauf	27
3.5	Statistische Methoden	30
<b>4</b>	<b>Ergebnisse</b>	<b>31</b>
4.1	Ergebnisse einer Befragung	31
4.2	Daten der experimentellen Untersuchung	33
4.2.1	Daten der einzelnen Messungen bei den Probanden	34
4.2.2	Daten der einzelnen Messungen bei den Kontrollen	36
4.2.3	Daten der einzelnen Messungen von Probanden und Kontrollen im Zeitverlauf	38
4.3	Daten von Probanden und Kontrollen im Vergleich	46



---

<b>5</b>	<b>Diskussion</b>	<b>49</b>
5.1	Zusammenfassende Darstellung der Ergebnisse	49
5.2	Einordnung in den wissenschaftlichen Zusammenhang	52
5.3	Kritische Betrachtung dieser Arbeit	60
5.4	Forschungsimplicationen	62
<b>6</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>63</b>
<b>7</b>	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>64</b>
<b>8</b>	<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>79</b>
<b>9</b>	<b>Lebenslauf</b>	<b>81</b>
<b>10</b>	<b>Danksagung</b>	<b>84</b>
<b>11</b>	<b>Anhang</b>	<b>I-IX</b>
	Messergebnisse der Probanden und Kontrollen	II
	Daten der Internetbefragung	VI

## 1 Einleitung

### 1.1. Anatomische Vorbemerkung

In den letzten Jahren ist insbesondere die Frage in den Mittelpunkt der Schmerzforschung gerückt, wie sich Schmerzbahnung und Schmerzhemmung gegenseitig beeinflussen und wie diese Phänomene gemessen werden können. Im trigeminalen Versorgungsgebiet ziehen die Fasern, die Schmerz- und Temperaturempfindung führen, als Tractus spinalis n. trigemini nach kaudal und enden am Nucleus spinalis n. trigemini. Dieser erstreckt sich bis in den kraniozervikalen Übergang. Eine der wichtigsten anatomischen Strukturen des zentralen Nervensystems für die Kontrolle der Nozizeption ist das periaquäduktale Grau im Bereich des Mittelhirns. Es bezieht Informationen über schmerzhaft Reize aus dem Tractus spinomesencephalicus und aus der trigeminalen Schmerzprojektion und erhält zudem Informationen vom Hypothalamus sowie zahlreichen kortikalen Gebieten. Die synaptischen Verbindungen des periaquäduktalen Graus mit dem Kortex legen die Vermutung nahe, dass die Entscheidung, ob Schmerzkontrollsysteme aktiviert werden, kognitiven Prüfmechanismen unterliegt. Efferenzen des periaquäduktalen Graus projizieren in den Nucleus raphe magnus und die rostrale Medulla oblongata.

Im peripheren Bereich (hiermit ist im Folgenden die Nozizeption des Körpers unter Ausschluss des N. trigeminus gemeint) werden die am Nozizeptor entstandenen Impulse über verschiedene Faserarten zum Rückenmark weitergeleitet und gelangen in die dem jeweiligen Neuron zugehörige Spinalganglienzelle. Die erste Umschaltung erfolgt im Hinterhorn auf das aufsteigende Bahnsystem. Hier kann der Reiz durch absteigende Bahnsysteme beeinflusst werden. Allein schon aufgrund dieser anatomischen Unterschiede müssen das periphere und das trigeminale nozizeptive System getrennt untersucht werden.



## 1.2. Historisch-kulturelle Vorbemerkung

Einige asiatische Kampfkunstarten arbeiten mit repetitiv durchgeführten antinozizeptiven Übungen zur verminderten Schmerzwahrnehmung. Besonders im traditionellen chinesischen Shaolin Kung Fu findet dieses sogenannte Abhärtungstraining in Form von festgelegten Bewegungsabläufen statt. „Kung Fu“ bedeutet wörtlich übersetzt: „harte Arbeit/hart arbeiten“, „eine Arbeit gut ausführen“, „sorgfältig studieren“, „sich in Geschicklichkeit üben“. Dieser Begriff ist die moderne Bezeichnung des chinesischen Boxens im Westen und wurde im Ursprungsland China kaum benutzt bzw. bezog sich auf alle Künste wie z.B. Musik, Malerei oder Poesie. In China werden die Kampfkünste heute mit dem Begriff „Wushu“ bezeichnet. Sie spiegeln das Wesen der traditionellen chinesischen Kultur wieder. Die Ausbildung des Charakters, Körpers und Geistes, das Bemühen um eine harmonische Entwicklung von Mensch, Natur und Gesellschaft sowie die Anerkennung des Guten, Wahren und Schönen werden angestrebt. Mittlerweile haben sich zahlreiche Kung Fu-Stile entwickelt. Jeder dieser Stile beinhaltet unterschiedliche Schwerpunkte aber auch gleichwertige Grundlagen. Schlag- und Tritttechniken sind in dieser Kampfkunst ebenso zu finden wie Hebel oder Würfe oder auch Meditationsübungen. Hinzu kommt eine große Anzahl spezifischer Techniken und Methoden. Neben der Kunst des Kämpfens beinhaltet das Kung Fu auch medizinische und philosophische Aspekte. Verschiedene Quellen verweisen auf den indischen Mönch Bodhidharma (auch Tamo bzw. Damo oder Dharuma), der zwischen 480-557 n. Chr. lebte und im nordchinesischen Shaolin-Kloster (gegründet 495 n. Chr.) in der Provinz Honan Gymnastikübungen und Atemübungen eingeführt haben soll, die sich später zu Selbstverteidigungstechniken entwickelten. Bodhidharma wird auch vielfach mit der Einführung des Zen-Buddhismus in China in Verbindung gebracht. Das Kung Fu könnte deshalb aus einer buddhistischen Meditation bzw. einer rhythmischen Körperschule der Meditationsschule des Zen-Buddhismus entwickelt worden sein. Ähnlichkeiten zwischen Zen-Übungen und einer spezifischen Form der Körperschule und Kampfkunst sind festzustellen. Der

Shaolin-Tempel gilt heutzutage als Zentralstätte und Geburtsort der Meditations-  
schule des Zen und der „Kunst des Mönchboxens“.

Um sich und das Kloster vor Angreifern schützen zu können, wurden im weiteren  
Kampftechniken mit und ohne Waffen eingeführt. Nach der Zerstörung des Klos-  
ters im 16. Jh. verbreiteten sich die Kampfkunstmeister über das ganze Land und  
unterrichteten ihre Kunst bzw. entwickelten neue Stile. Im Laufe der Jahrhunderte  
entwickelten aus sich aus der Urform des Shaolin-Boxens nord- und südchine-  
sische Kung-Fu-Stile. Diese gehören zu den „äußeren“ bzw. „harten“ Stilarten  
(,Waijia'), wie sie im Shaolin-Kloster praktiziert wurden. Sie werden auch als ex-  
terne oder exoterische Schule bezeichnet, in der der Körper im Vordergrund steht.  
Im Kontrast dazu stehen die sog. „weichen“, „inneren“ Stilen (,Neijia') wie Tai Chi  
Chuan (sog. „chinesisches Schattenboxen“, welches aus weichen, harmonischen  
Bewegungen besteht). Das zu erreichende Ziel der beiden Stilarten war trotz  
ihrer Unterschiede das gleiche: es sollte gewährleistet werden, dass Körper und  
Geist sich in dem erforderlichen Gleichgewicht für ein harmonisches Leben be-  
finden (Melz et al., 2002).

In der vorliegenden Arbeit wurde das Abhärtungstraining aus dem sogenannten  
Mantis- bzw. Gottesanbeterinnen-Stil angewendet. Das Tang Lang Quan (auch  
Tang Lang Chuan, chin. 螳螂拳, tángláng quán) wurde laut einer Legende vor ca.  
360 Jahren von dem Mönch Wang Lang in der Zeit zwischen der Ming-Dynastie  
(1368-1644) und der Qing-Dynastie (1644-1911) im berühmten Shaolin-Kloster  
in China entwickelt. Traditioneller Bestandteil des Stils ist die Abhärtung der Un-  
terarme. Zum Teil werden zudem die Schienbeine (wie beim traditionellen Muay  
Thai) und Oberschenkel abgehärtet. Die Abhärtung kann zusammen mit einem  
Partner, an einem sogenannten hölzernen Mann oder mit anderen Gegenständen  
(z.B. einem großen Bambus-Ring), aber auch alleine (zumindest an den Armen)  
durchgeführt werden. Sinn dieser Übung ist es, den Körper an typische Schmer-  
zen aus dem Kampf zu gewöhnen und entsprechend zu desensibilisieren.

### **1.3. Ziele der Arbeit**

Vor der Planung der experimentellen Untersuchungen wurde eine Befragung von Kampfkünstlern durchgeführt. Diese Befragung sollte klären, inwieweit die Ausübung einer Kampfkunst die Schmerzwahrnehmung subjektiv beeinflusst. Hierzu wurde ein deutschsprachiges Internetportal benutzt, welches zur Information über Kampfkünste dient. Die experimentellen Untersuchungen danach dienten zur Objektivierung der gesammelten Daten. Das Kung Fu im Stil der Gottesanbeterin (Mantis-Stil) kann hierbei stellvertretend für die untersuchten Kampfkünste stehen.

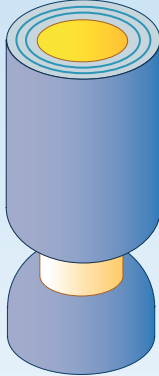



Die äußere Abhärtung des Mantis Kung Fu Stils kann ein Modell bilden, um eine exogen erworbene Hypalgesie zu untersuchen. Diese Arbeit stellt die Frage, ob eine exogen zugeführte repetitive Schmerzstimulation mit dem mittelfristigen Ziel einer Analgesie zu veränderten peripheren und trigeminalen Schmerzschwellen und damit zu einer Veränderung von Schmerzfazilitation und Schmerzhemmung führt.

## 2 Grundlagen

### 2.1 Physiologie des nozizeptiven Systems

Nozizeptoren haben freie Nervenendigungen, die wenig oder nicht myelinisiert sind. Diese Rezeptoren sind meist polymodal, reagieren also auf Schmerzreize und auch auf thermische und mechanische Reize, allerdings in unterschiedlicher Quantität. Die Nozizeptoren sind mit schmerzleitenden Nervenfasern verbunden. Hierbei unterscheidet man die dünnen, myelinisierten A $\delta$ -Fasern, die den akuten Schmerz weiterleiten, und die dünnen, nicht myelinisierten C-Fasern (Abb. 1).

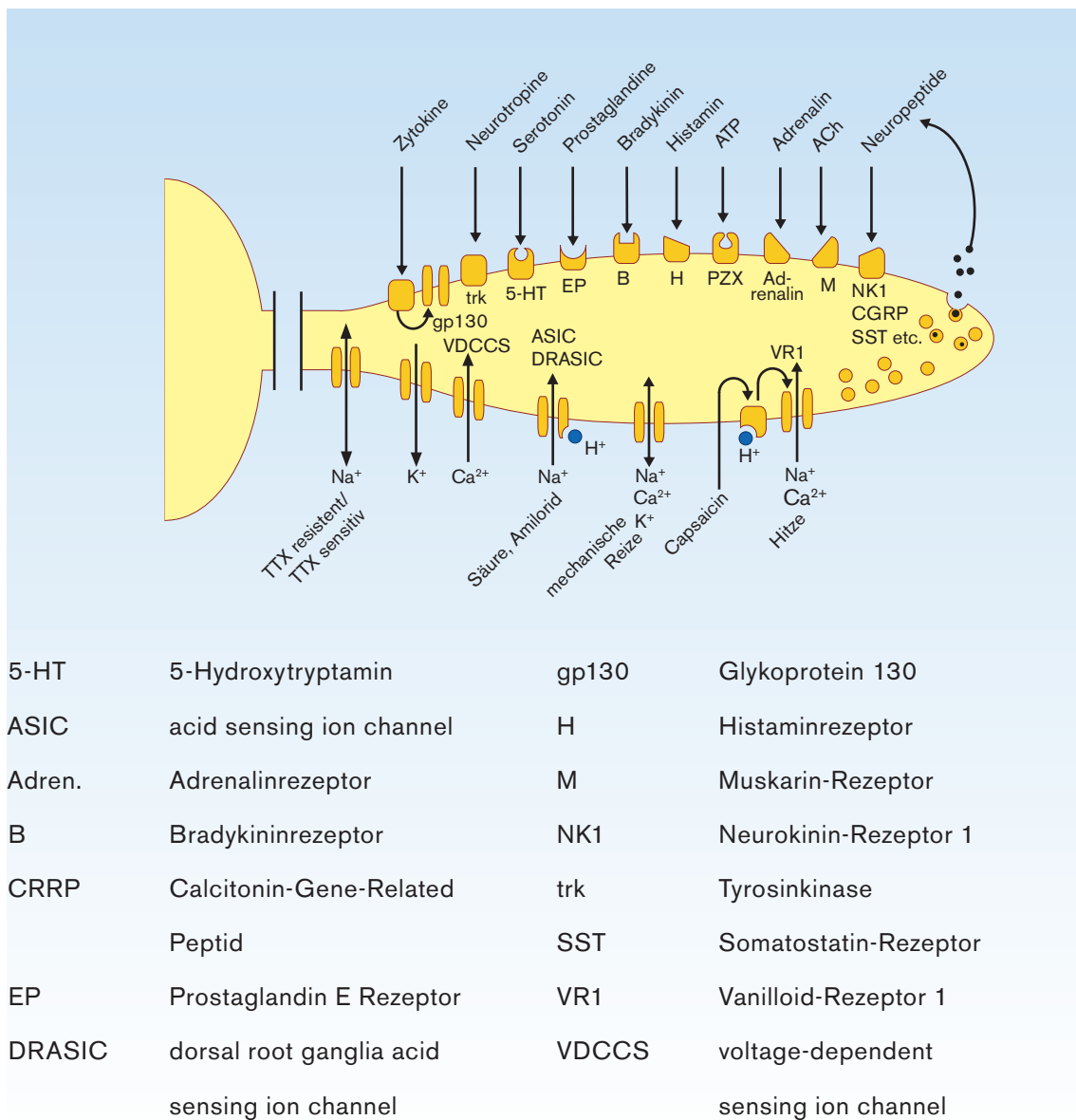
Abbildung 1: Arten von Nervenfasern

Axone aus der Haut	A $\alpha$	A $\beta$	A $\delta$	C
Axone aus den Muskeln	Gruppe I	Gruppe II	Gruppe III	Gruppe IV
				
Durchmesser ( $\mu\text{m}$ )	13-20	6-12	1-5	0,2-1,5
Leitungsgeschwindigkeit in m/s	80-120	30-75	5-30	0,5-2
Rezeptorenart	Propriozeption der Skelettmuskulatur	Mechanorezeptoren der Haut	Schmerz, Temperatur	Temperatur, Schmerz, Juckreiz

aus: <http://www.studentenlabor.de/>

Ein Schmerz kann durch verschiedene physikalische Qualitäten (mechanisch, thermisch oder chemisch) ausgelöst werden. Die Depolarisation eines Nozizeptors erfolgt dabei durch Änderung des pH-Wertes und die Ausschüttung von Bradykinin, Prostaglandine und Histamin (Abb. 2) (Joseph et Levine, 2006).

Abbildung 2: Rezeptoren, die an der Depolarisation und der Sensibilisierung des Nozizeptors beteiligt sind



aus: Schmidt, Lang, Thews: Physiologie des Menschen (29. Auflage, 2005)

In der menschlichen Haut reagieren 50% der Nozizeptoren auf mechanische und thermische Reize, 20% allein auf mechanische und 10% ausschließlich auf thermische Reize. 20% der Nozizeptoren werden erst durch eine neurogene Entzündung aktiviert („schlafende Rezeptoren“). Der Fasertyp der stummen Nozizeptoren zeichnet sich gegenüber den herkömmlichen polymodalen Nozizeptoren durch niedrigere Leitungsgeschwindigkeiten, größere Innervationsgebiete und eine stärkere aktivitätsinduzierte Hyperpolarisation aus. Eine Untergruppe dieser Faserklasse lässt sich zudem durch Histamin langandauernd erregen, wobei die Aktivität einer Juckreizempfindung entspricht. Der Anteil der Nozizeptoren, die vorwiegend auf Druck reagieren, ist im Bewegungsapparat besonders hoch, hier findet sich auch ein hoher Anteil der sogenannten schlafenden Rezeptoren (Schmidt et al., 1995).

Die am Nozizeptor entstandenen Impulse werden über die verschiedenen Faserarten zum Rückenmark weitergeleitet und gelangen in die dem jeweilige Neuron zugehörige Spinalganglienzelle. Die erste Umschaltung erfolgt im Hinterhorn auf das aufsteigende Bahnsystem. Hier kann der Reiz durch absteigende Bahnsysteme beeinflusst werden. Nach dem Eintritt in das Hinterhorn gelangen die Schmerzfasern in die sog. Rexed-Schichten, die sich in die Laminae I bis VI aufteilen. Diese Schichten können anatomisch in ihrer Zellarchitektur und durch ihre Erregungsschwelle unterschieden werden (Rexed 1952).

In der Lamina I-III bilden die meisten A $\delta$ -Fasern Synapsen mit Interneuronen. In der Lamina IV liegen Projektionsneurone, die mehrere Segmente auf Rückenmarkebene verbinden. Die Axone der Lamina V kreuzen und verlaufen im Tractus spinothalamicus anterior et lateralis der Gegenseite zum Gehirn. Die Axone in der Lamina VI bilden den Tractus spinothalamicus anterior et lateralis der gleichen Seite.

Auf spinaler Ebene wirken vorwiegend Aminosäuren als Transmitter, vor allem Glutamat. Sie können verschiedene Arten von Rezeptoren erregen. Hierbei ist vor allem der NMDA (N-Methyl-D-Aspartat)-Rezeptor zu nennen, da er eine wesentliche Bedeutung bei der zeitlichen Bahnung von Schmerzen hat.

Durch Vernetzung der Laminae durch Pyramidenzellen und Zwischenneuronen in der Wurzeintrittszone des Rückenmarks werden eingehende Informationen dahingehend gefiltert, welche Informationen dem Gehirn zugeleitet werden. Die umgeschalteten Reize enden in Kerngebieten des Hirnstamms (Nucleus reticularis, Nuclei praetectales, periaquäduktales Grau) und auch direkt im Thalamus. Über den Tractus spinoreticularis werden vegetative Reaktionen an das schmerzverarbeitende System gekoppelt, der Tractus spinomesencephalus verbindet Schmerz- und Aufmerksamkeitsreaktionen.

Die A-Fasern bilden Synapsen im Nucleus ventroposterolateralis thalami, welcher für die Lokalisation des Schmerzes zuständig ist. Hier findet sich eine somatotopie Gliederung. Die C-Fasern enden im Nucleus centrolateralis intralaminaris thalami, der den affektiven Bestandteil des Schmerzes umschaltet und ins Bewusstsein weiterleitet; hier findet sich keine Gliederung. Transcutane elektrische Stimulation aktiviert den motorischen Cortex, den motorischen Anteil des Thalamus, die ipsilaterale Inselrinde sowie den medialen Gyrus cinguli. Diese Gebiete wirken an der Schmerzverarbeitung mit, die die nozifensive motorische Reaktion koordiniert. Der posteriore Gyrus cinguli wird selektiv durch intracutane elektrische Stimulation aktiviert und ist offensichtlich wichtig für die Verarbeitung von Schmerzen, die durch Entzündungsvorgänge hervorgerufen werden (Ruehle et al., 2006).

Über die Hinterstränge lässt sich die Schmerzweiterleitung unterdrücken. Hierbei werden GABAerge Zwischenneurone aktiviert, die ihrerseits mit opioidergen Zwischenneuronen verbunden sind. Diese setzen bei wegfallender Hemmung opioide Substanzen aus, die Projektionsneurone werden hierdurch wiederum gehemmt. Diese Bahnen gehen von serotonergen und noradrenergen Zellen des Hirnstammes (z.B. dem periaquäduktalen Grau) aus. Diese Systeme verwenden Adenosin

und GABA ( $\gamma$ -Amino-Buttersäure) als präsynaptisch hemmende Substanzen und auch körpereigene Endorphine und Enkephaline, die direkt an opioidergen Rezeptoren der sensiblen Neurone im Rückenmark ansetzen. Die endogene Opioidsezernierung teilt sich auf in einen kontinuierlich produzierten Teil und eine zusätzliche Ausschüttung bei Schwellenüberschreitung von nozizeptiven Afferenzen auf Hirnstammebene. Dieses endogene Schmerzhemmsystem kann wiederum durch Cholezystokinin gehemmt werden (McCarson et al., 2006).

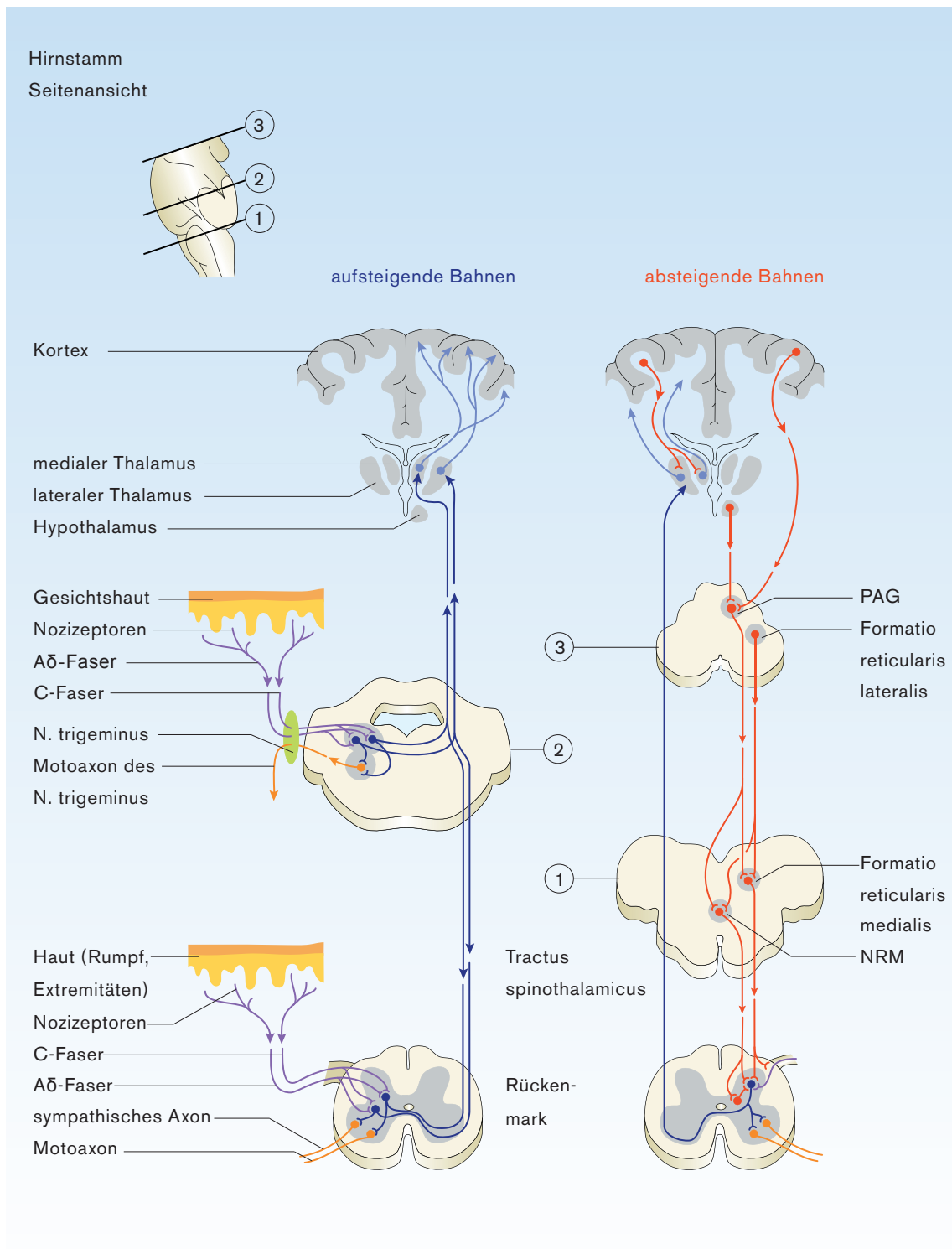
Die endogene Ausschüttung von 5-HT hat im Tierversuch an Ratten durch Interaktion an 5-HT<sub>1A</sub>-Rezeptoren der medialen Medulla das absteigende schmerzhemmende System unterdrückt, eine Zufuhr von 5-HT<sub>1A</sub>-Rezeptor-Antagonisten könnte also die absteigenden schmerzregulierenden Systeme entblocken (Wei et Pertovaara, 2006).

Eine zentrale anatomische Struktur der zerebralen Nozizeption ist das periaquäduktale Grau des Mittelhirns. Dorthin werden Informationen über Schmerzreize aus dem Tractus spinomesencephalicus und vom Hypothalamus sowie aus kortikalen Gebieten geleitet. Die Verbindung zum Kortex kann als Hinweis auf kognitive Prüfmechanismen bei der Schmerzkontrolle interpretiert werden. Efferenzen vom periaquäduktalen Grau projizieren in den Nucleus raphe magnus und die rostrale Medulla oblongata. Die Axone aus diesen Kerngebieten verlaufen vom Hirnstamm über den posterioren Teil des Funiculus lateralis spinae und bilden Synapsen mit Interneuronen zur opioidergen Schmerzhemmung. Das periaquäduktale Grau ist sowohl mit Kerngebieten des limbischen Systems (Nuclei amygdalae) als auch mit den Basalganglien und dem zerebralen Kortex verbunden. Dies ist wahrscheinlich das durch Kognition und Affekte gesteuerte Kontrollsystem der Schmerzverarbeitung. Anatomisch können zwei zentrale Systeme der Schmerzverarbeitung beschrieben werden (Abb. 3): a) das laterale System, das die aufsteigenden Schmerzimpulse in die laterale somatosensorische Kerngruppe des Thalamus und in die somatosensorischen kortikalen Areale SI und SII projiziert; hier werden vor allem die verschiedenen sensorischen Qualitäten des Schmerzes dif-



ferenziert und lokalisiert. b) das mediale System, das auf die medialen Kerngebiete des Thalamus projiziert und auch die retikulären Kerngebiete des Hirnstamms mit einschließt, dient vor allem der affektiven Bewertung von Schmerzen und der kognitiven Verarbeitung auch im Gedächtnis. Neben dem periaquäduktalen Grau ist der noradrenerge Neurone beinhaltende Locus coeruleus die wichtigste anatomische Struktur (Gralow et al., 2002). Durch bildgebende Methoden konnte nachgewiesen werden, dass Schmerzen selbst zu einem Umbau und morphologischer Vergrößerung der schmerzverarbeitenden Strukturen im Gehirn führen können. Dies geschieht durch eine prinzipiell reversible Veränderung der neuronalen Verschaltung. Im Mittelpunkt der Forschung mit bildgebenden Methoden steht auch die kortikale Plastizität bzw. Reorganisation, die durch chronische Schmerzen moduliert werden kann. Menschen mit chronischen Schmerzen weisen im Vergleich zu Gesunden vergrößerte kortikale Repräsentationsareale auf (Flor et al., 1995; Knecht et al., 1995; Ohara et al., 2005; Soros et al., 2001, Shibasaki, 2004).

Abbildung 3: Auf- und absteigende Bahnen des Rückenmarks



aus: Schmidt, Lang, Thews: Physiologie des Menschen (29. Auflage, 2005)

Von den primär nozizeptorinduzierten Schmerzen müssen die sog. zentral-neurogenen Schmerzen unterschieden werden. Diese werden primär durch eine Aktivierung von zentralen Neuronen ausgelöst und führen sekundär über eine Aktivierung von Nozizeptoren zu Schmerzen. Hierbei handelt es sich z.B. um idiopathische Kopfschmerzen, die durch eine Aktivierung der Trigemuskerngebiete, des Locus coeruleus und des periaquäduktalen Graus ausgelöst werden. Durch efferente Verschaltung mit Trigeminasfasern kommt es zur Ausschüttung von Neuropeptiden und anderen Entzündungsmediatoren in den Wänden der meningealen und größeren zerebralen Gefäßen, die zu einer neurogenen Entzündung führen und die Nozizeptoren der Gefäßwände erregen (Abb. 4, Abb. 5). Das Hirngewebe selbst ist weitgehend schmerzempfindlich. Bei Primaten führt die Stimulation von Afferenzen aus den Gefäßwänden zur Aktivierung von Neuronen in den oberflächlichen Schichten des Nucleus caudalis n. trigemini im zervikomedullären Übergang und den oberflächlichen Schichten des Hinterhorns von C1 und C2 - dem trigeminozervikalen Komplex (Kaube et al., 2002). Die periphere trigeminale Aktivierung wird durch die Ausschüttung des Neuropeptides CGRP (calcitonin-gene-related peptide), eines Vasodilatators, hervorgerufen. Studien bei Tieren legen die Theorie nahe, dass trigeminale Schmerzen des ersten Astes u.a. durch einen sterilen neurogenen Entzündungsprozess in der Dura mater verursacht werden. Diese Schmerzen könnten eine Kombination aus einer veränderten Perception in den Rezeptoren der kranialen Gefäße durch periphere oder zentrale Erhöhung der Empfindlichkeit und einer Aktivierung von gefäßerweiternden Mechanismen des ersten Astes des N. trigeminus sein (Akerman et al., 2004).

Hier spielt wahrscheinlich auch ein Sensibilisierungsprozess der kaudalen Trigemuskerngebiete eine Rolle, der eine vermehrte Schmerzempfindlichkeit hervorruft (Ayzenberg et al., 2006). Es ist z.B. erwiesen, dass Migränepatienten zwischen den Attacken ein gestörte Habituation bei evozierten Potentialen zeigen (Griffin et Kaube, 2002; Katsarava et al., 2003).

Abbildung 4: Trigeminovaskuläre Affenzen aus den meningealen Gefäßen

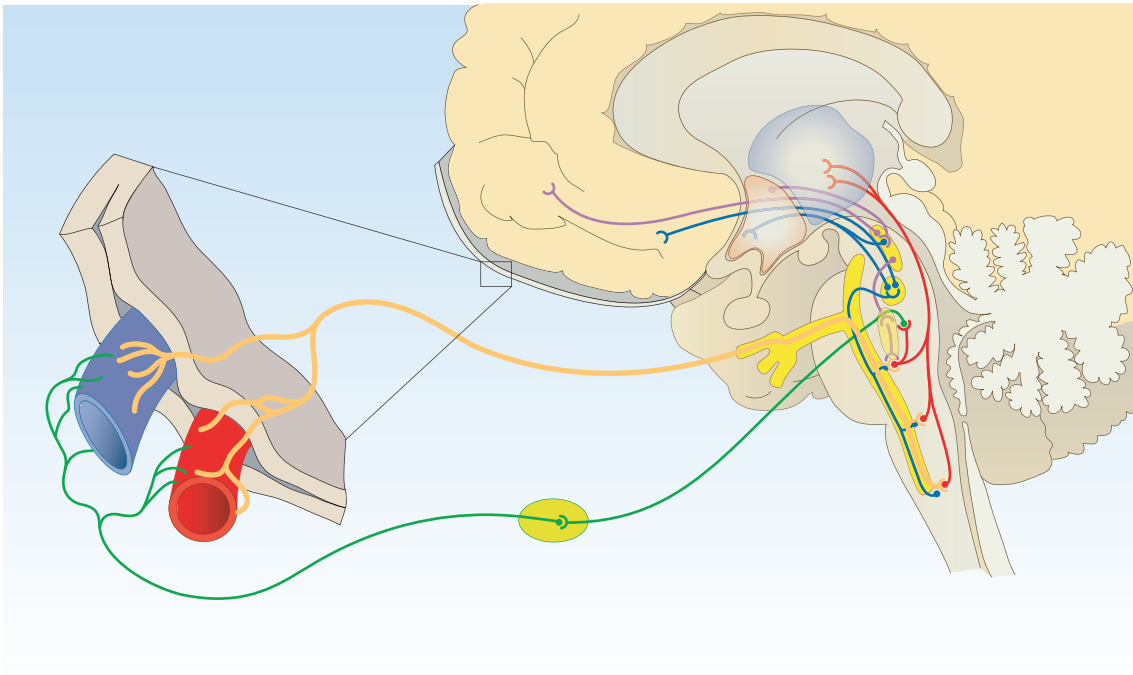
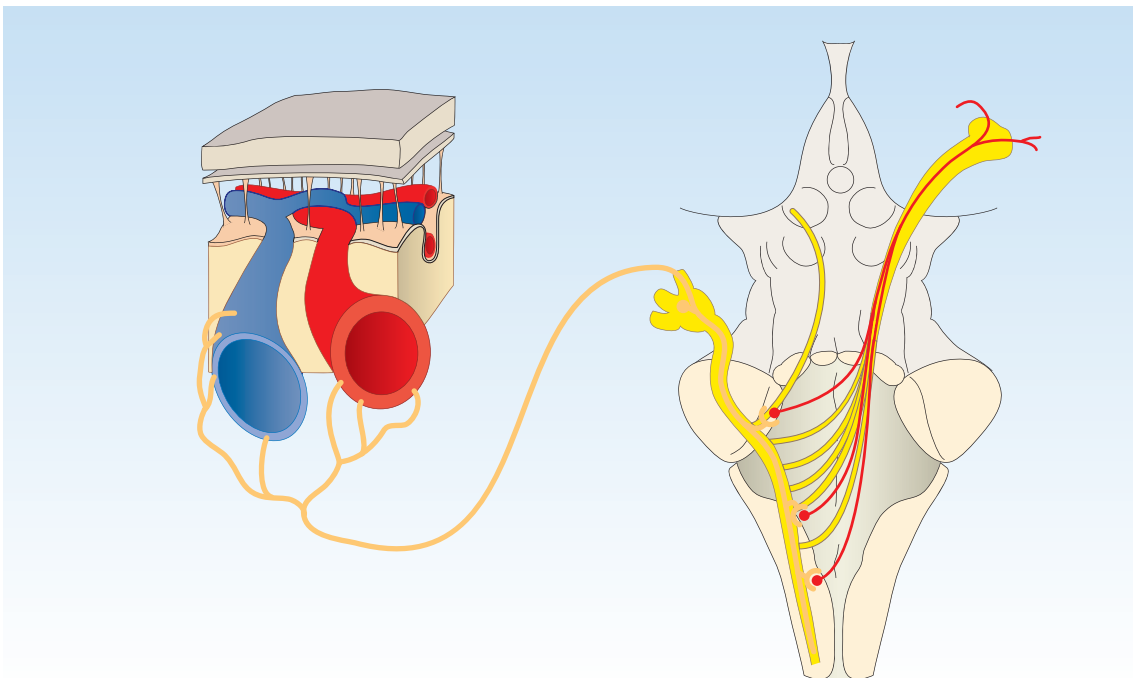


Abbildung 5: Trigeminovaskuläre Affenzen aus den meningealen Gefäßen



aus: Goadsby, Lipton, Ferrari: *Drug Therapy: Migraine - Current Understanding and Treatment*, 2002

## 2.2 Methoden der Schmerzmessung

Bei der quantitativen Messung von Schmerzzuständen unterscheidet man die subjektive Algesimetrie, d. h. die Messung der Schmerzschwelle (Reizstärke, bei der eben eine Schmerzempfindung auftritt), die Schmerzintensität (verbal oder über andere Anzeigemethoden ausgedrückt) und die Schmerztoleranzschwelle (Reizintensität, bei der der Abbruch des Reizes verlangt wird), von der objektiven Algesimetrie, die die Messung der motorischen Reaktionen, der vegetativen Reaktionen und der evozierter Hirnrindencpotentiale umfasst. Zusätzlich gibt es die mehrdimensionale Algesimetrie: hierbei werden subjektive und objektive Methoden kombiniert. Zur klinischen Algesimetrie gehört die Verhältnisschätzmethode (visuelle Analogskala zur Darstellung der Schmerzintensität), die Erfassung mehrerer Schmerzdimensionen wie bei der „McGill-Pain-Questionnaire – MPQ“ mit 20 Unterskalen zur Erfassung der Dimensionen „sensorisch-diskriminativ“, „evaluativ“ und „affektiv“ (Melzack, 2005), weiterhin gibt es Schmerztagebücher (Protokollierung der Schmerzstärke und -dauer, des Medikamentenkonsums und der funktionalen Beeinträchtigungen durch den Patienten), Symptomlisten zur Erfassung vegetativer Reaktionen (zum Beispiel die Gießener-Beschwerden-Liste) und eine Liste zur Bedeutung des Krankheitsverhaltens wie die „Illness-Behavior-Questionnaire – IBQ“ (Pilowsky et al.) sowie die Erfassung von sozialen Beeinträchtigungen wie z.B. durch MIDAS (Migraine Disability Assessment Scale).

Die Messung von Schmerzen ist immer subjektiv, daher wurden Skalen entwickelt, anhand derer ein Patient die Stärke seiner Schmerzempfindung in einem fest vorgegebenen Rahmen einordnen kann. Hierbei sind die visuellen Analogskalen (VAS) die bekanntesten. Bei der Schmerzmessung mit den VAS ergibt sich folgendes Problem: sie stellen keine lineare Abbildung von Schmerzen dar, das heisst im mittleren Bereich entsprechen Schmerzunterschiede größeren Abständen als in den Randbereichen. Weiterhin gibt es die Verbal Rating Scale, mit der anhand von Adjektiven eine Einschätzung des akutellen Schmerzzustandes mög-

lich ist. Die VAS und die VRS sind in einigen Untersuchungen miteinander verglichen worden. Untersucht wurde, inwieweit eine 11-stufige numerische Rang- und eine 6-stufige verbale Kategorienskala miteinander korrelierten und wie eine Zuordnung zwischen den Werten der beiden Skalen aussehen könnte (Bingel et al., 2006; Breivik et al., 2000; Cathcart et Pritchard, 2006; Cork et al., 2004; Defrin et al., 2006, Donat et al., 2005).

Patienten einer hämatologischen Tagesklinik, bei denen eine Knochenmarkpunktion durchgeführt wurde, wurden gebeten, die von ihnen während der Punktion empfundene Schmerzstärke auf einer numerischen Rang- und einer verbalen Kategorienskala anzugeben. Die Auswertung der Patientenangaben bei 263 Punktionen ergab eine sehr gute Korrelation zwischen numerischer Rang- und verbaler Kategorienskala. Mit Hilfe einer Transfervorschrift wurden Kategorien der verbalen Skala Ziffern der numerischen Rankskala zugeordnet (0 - kein Schmerz, 1 oder 2 - leichter S., 3, 4 oder 5 - mäßiger S., 6 oder 7 - starker S., 8, 9 oder 10 - sehr starker bis stärkster möglicher Schmerz). Dabei ergab sich eine gute Übereinstimmung mit einem gewichteten k-Maß von 0,72 (95% Konfidenzintervall 0,66–0,79). Beide Skalen können also effizient zur Schmerzerfassung bei diagnostischen Prozeduren verwendet werden. Aufgrund der guten Korrelation können verbalen Kategorien Zahlenwerte und umgekehrt numerischen Werten verbale Kategorien zugeordnet werden (Weber, 2005).

Weiterhin gibt es die quantitative sensorische Testung (QST), zum Beispiel eine Schmerzschwellenbestimmung über Temperaturreize, elektrische Reize, Druckreize, chemische Reize wie Capsaicin, Phosphatpuffer etc. Hier gibt es verschiedene methodische Ansätze. So können die Reize iterativ oder stetig dynamisch appliziert werden. Die Bewertung der Reizstärke kann nach dem Limit- oder Level-Verfahren erfolgen (d.h. Grenzwertenangaben oder relative Einschätzung der Stärke eines einzelnen Reizes). Hier muss insbesondere auf das Problem der Habituation geachtet werden, da diese die Schwellenangaben bei bestimmten

Fragestellungen verfälschen kann. Durch verschiedene zusätzliche Reize wird die Perzeption ebenfalls beeinflusst (Pud et Saphir, 2006; Rolke et al., 2006).

Weiterhin gibt es apparative Verfahren zur Schmerzschwellenbestimmung. Eine Möglichkeit bieten Laser-evozierte Schmerzpotentiale. Hierbei wird durch einen CO<sub>2</sub>-Laser ein schmerzhafter Wärmereiz auf die Haut gesetzt, gleichzeitig wird ein EEG reizgetriggert aufgezeichnet (Al-Saadi et. al., 2006), auch die Habituation bei Reaktionen auf durch CO<sub>2</sub>-Laser verursachte Reize kann gemessen werden (de Tommaso et al., 2005). Die Empfindlichkeit nach künstlich erzeugtem Muskelschmerz auf CO<sub>2</sub>-Laser-Reize wurde von Valeriani et al. gemessen (2005, 2006), um die segmentale Schmerzinhibition und die mögliche Modulation der Potentiale zu untersuchen. Trotzdem kann auch bei Laser-evozierten Potentialen Placebo-Effekt auftreten (Wagner et al., 2006).

Ebenso kann mit focussiertem Xenon-Licht die sekundäre Hitzeschmerzschwelle gemessen werden (Sumikura et al., 2005).

Schmerzspezifische Blinkreflexe sind eine Untersuchungsmethode für das trigeminale System. Diese Messmethode erfasst mit Oberflächenelektroden die A $\delta$ -Fasern des N. trigeminus. Anhand der Potentiale dieser schmerzleitenden Fasern kann der Zustand des trigeminalen Systems beurteilt werden. Eine fehlende Habituation ist zum Beispiel bei Migränepatienten nachgewiesen worden (Katsarava et al., 2002, 2003, 2004).

Die Mikroneurographie ist eine Technik zur Ableitung von einzelnen Nervenfasern. Sie wird eingesetzt, um Aktivierungsmuster von verschiedenen Nozizeptoren durch physikalische und chemische Reize zu erfassen. So konnte z.B. durch diese Technik gezeigt werden, dass innerhalb der schmerzleitenden C-Fasern eigenständige Fasern für Juckreiz bestehen (Schmidt et al.; 1995; Weidner et al., 1999; Schmelz et al., 2003; Mano et al., 2006).

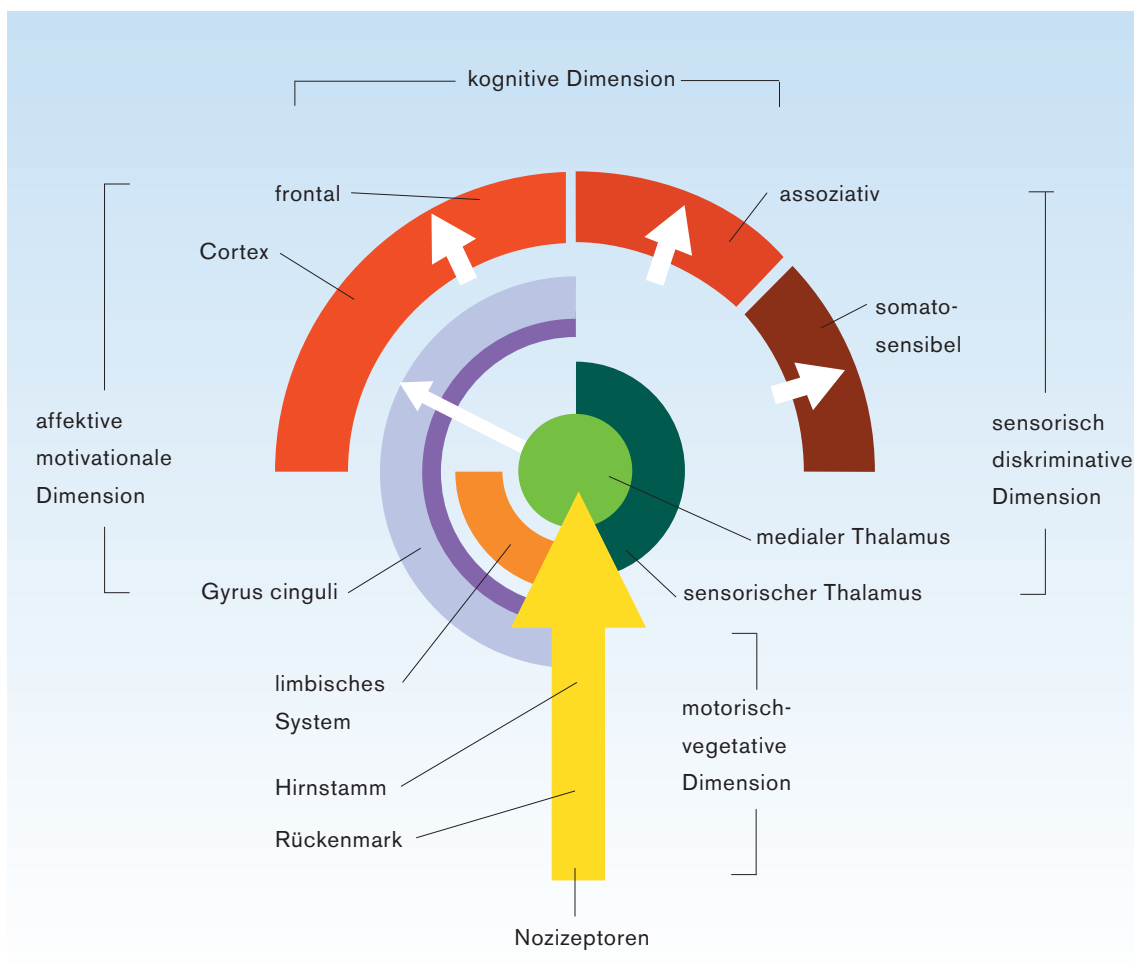
Im Tierversuch wurde an Ratten der Einsatz einer kalibrierten Zange getestet, die an ein digitales Dynamometer angeschlossen wurde. Hier konnte der ausgeübte Druck in verschiedenen Einheiten angezeigt werden (g, kg, N, mN, oz und lb). Diese Zange wurde nach Injektion von verschiedenen Substanzen an die Hinterläufe der Ratten angelegt und die jeweiligen Drücke bei Reaktion notiert (Luis-Delgado et al., 2006).



## 2.3 Schmerzbeeinflussung

Um die Untersuchung der Beeinflussung von Schmerzzuständen zu erleichtern, kann man diese Zustände in ihre verschiedenen Komponenten unterteilen: die sensorische Schmerzkomponente (Analyse des noxischen Reizes), die affektive Schmerzkomponente (meist unlustbetonte Emotion), die vegetative Schmerzkomponente (z.B. Blutdruckabfall, Schwitzen), die motorische Schmerzkomponente (Schutzreflex, Schonhaltung) und die kognitive Schmerzkomponente (Bewertung des Schmerzes anhand von früheren Schmerzerfahrungen)(Abb. 6).

Abbildung 6: Komponenten der Schmerzwahrnehmung



aus: B. Matejka: *Schmerzen hinterlassen Spuren im Gehirn*, 2006

Eine Untersuchung von Lorenz et al. hat 2005 gezeigt, dass es möglich ist, anhand von Reizkoppelung die kognitive Komponente zu beeinflussen. In dieser Studie wurde den Probanden vor Applikation eines Schmerzreizes zunächst ein Tonsignal geboten. Ein bestimmtes Signal suggerierte einen niedrigen Schmerzreiz, ein zweites einen hohen Schmerzreiz. Die Probanden schätzten den applizierten Schmerzreiz auf einer visuellen Analogskala höher ein, wenn zuvor das Tonsignal, welches den höheren Schmerzreiz suggerierte, abgespielt wurde, und umgekehrt. Allein die Erwartung des entsprechenden Reizes durch das zuvor gehörte Tonsignal veränderte die Einschätzung auf der VAS signifikant.

Die Effektivität der Hypnose zur Kontrolle von Schmerzen ist in experimentellen Untersuchungen gut nachgewiesen, wesentlich uneindeutiger ist die Situation bei klinischen Studien. Zu den verschiedenen Hypnosetechniken gehören die dissoziative, assoziative und symbolische Technik. Bei den dissoziativen Techniken geht es darum, den Schmerz abgetrennt vom nicht-schmerzenden Rest des Körpers bzw. vom Teil des Bewusstseins, welcher den Schmerz empfindet, wahrzunehmen. Hierbei ist Ablenkung der Aufmerksamkeit auf angenehme Inhalte bzw. die Konzentration auf nichtschmerzende Teile des Körpers eine mögliche Form. Bei der Symptomsubstitution werden eher störende Empfindungen an einer anderen Stelle des Körpers erzeugt, bis diese die Wahrnehmung auf sich lenken und so schmerzantagonistische Gefühle erzeugen. Die „echte“ hypnotische Dissoziation entsteht, wenn die Schmerzwahrnehmung soweit verringert ist, dass der schmerzende Körperteil als aus dem Körperschema herausgetrennt und isoliert erlebt wird. Bei der assoziativen Technik wendet sich der Patient zunächst dem Schmerz zu und erfasst seine Grenzen. Hierbei wird ihm suggeriert, den Schmerz in Grenzen halten zu können und damit kontrollieren zu können. Hypnose zur Schmerzkontrolle hat ihre Grenzen. Kontraindikationen ergeben sich z.B. bei Patienten, die mit ihren intra- und interpsychischen Grenzen Schwierigkeiten haben. Psychotische Patienten sollten z.B. von einer hypnotischen Therapie ausgeschlossen werden (Peter, 1998).

Eine weitere Methode stellt das Biofeedback dar. Vegetative und motorische Funktionen, die dem Bewusstsein normalerweise nicht direkt zugänglich sind (wie zum Beispiel Puls, Blutdruck, Elektroenzephalogramm etc.), so dass bei Dysregulationen auch nicht bewusst auf den Regelkreis eingewirkt werden kann, werden mittels physiologischer Messungen durch Instrumente aufgezeichnet und in akustische oder optische Signale umgewandelt. So werden sie wahrnehmbar gemacht und durch eine Steigerung des Körperbewußtseins wird eine Verbesserung der Regulation durch operante Kontrolle ermöglicht.

Weiterhin ist bekannt, dass Probanden kontinuierliche Schmerzreize nach einer gewissen Zeit ignorieren können, bei plötzlich gesetzten Reizen jedoch immer wieder reagieren (Veldhuijzen, 2006).

Die kognitiv-behaviorale Therapie ermöglicht als weitere Methode eine langfristige kognitive Umstrukturierung: negative Kognitionen sollen durch rationalere ersetzt werden, was zu aktiverem, kompetenterem Verhalten führen soll (Andrasik, 2003; Seminowicz et Davis et al., 2006).

Die Psychoanalyse versucht im Unterschied zu den o.g. übenden bzw. trainierenden Verfahren ein vertieftes Verständnis der ursächlichen Zusammenhänge eines Leidens zu vermitteln. Es wird eine Umstrukturierung der Persönlichkeit und des Gefühlslebens in denjenigen Bereichen angestrebt, die zur Aufrechterhaltung psychopathologischer Elemente beitragen.

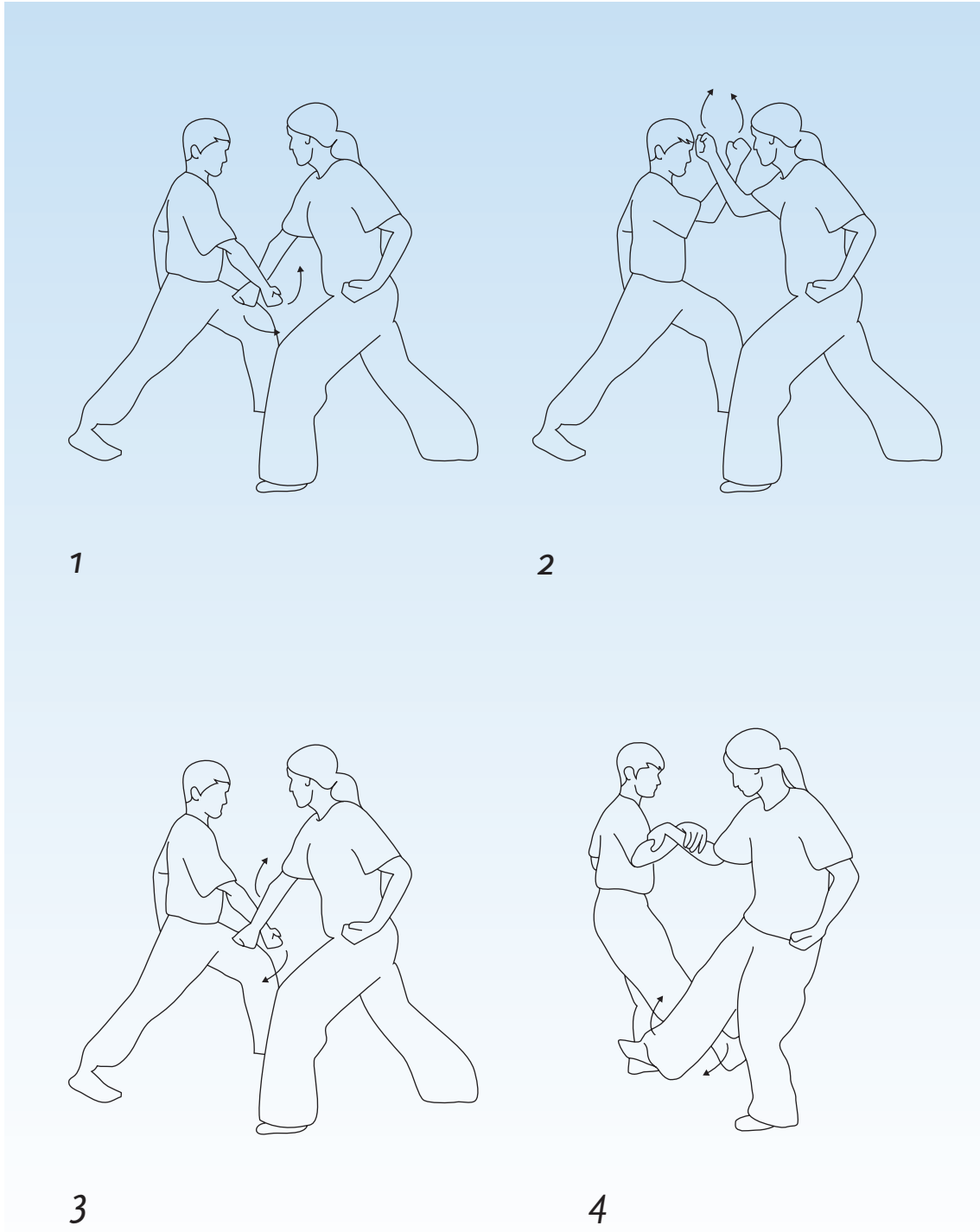
Auf biologische Verfahren (Medikamente, Stimulationsverfahren) soll hier nicht eingegangen werden.

## 2.4 Schmerz in asiatischen Kampfkünsten

Bei einigen asiatischen Kampfkunstarten ist eine bewusste Schmerzzufügung Bestandteil des Trainings. Der folgende Text bezieht sich auf persönliche Angaben von Lee Kam Wing, Großmeister im traditionellen Kung Fu und Arzt der traditionellen chinesischen Medizin, Hong Kong, China: „Das Abhärtungstraining ist ein festes Element des traditionellen Kung Fu Trainings. Es erfolgt sowohl in Form von Partnerübungen als auch in Form von Schlägen und Tritten gegen mit unterschiedlichen Materialien gefüllte Säcke. Hierbei wird die Füllung von Sand bis Metallkugeln je nach Trainingsstand variiert. Es kommen zusätzlich Trainingspuppen aus Holz und Metall zum Einsatz. Die Abhärtungsübungen sollten vom Kung Fu Schüler in regelmässigen Abständen durchgeführt werden, um eine Stärkung des Gewebes und des Knochens der jeweiligen Extremität zu erreichen. Zusätzlich zur mechanischen Abhärtung kommt hierbei eine Phytotherapie aus der traditionellen chinesischen Medizin zur äußerlichen Anwendung nach dem Training zum Einsatz, um eventuell entstandene Hämatome und Hautläsionen zu behandeln.“

Bei den Partnerübungen im Rahmen des Gruppentrainings werden in einer festgelegten Reihenfolge Bewegungen wie z.B. Schläge und Tritte gegen die Extremitäten des Partners ausgeführt, wobei die Übung bis zur Schmerzgrenze und darüber hinaus durchgeführt wird (siehe Abb. 7). Wichtig ist hierbei mehr die Dauer der Krafteinwirkung als die Intensität, um eine Abhärtung zu erreichen und keine Verletzungen zu verursachen, die einen Rückschritt im Abhärtungsprozess bedeuten würden. Mit dem Fortschritt der Trainingsdauer in Jahren wird die Intensität gesteigert.

Abbildung 7: Beispiel für eine Abhärtungsübung



## 3 Methodik

### 3.1 Umfrage

Um den Einfluss eines Kampfkunsttrainings auf das Schmerzempfinden zu untersuchen, wurde vor der Planung von experimentellen Untersuchungen eine Befragung von Sportlern, die eine Kampfkunst ausüben, durchgeführt. Die Befragung erfolgte in einem Zeitraum von sieben Monaten mit Hilfe eines deutschsprachigen Internetportals, welches über die häufigsten in Deutschland ausgeübten Kampfkünste informiert und ein Diskussionsforum beinhaltet.

Teilnehmen konnten alle registrierten Mitglieder des Internetforums. Die anonyme Beantwortung der Fragen erfolgte entweder durch Einstellen der Informationen in den Diskussionsteil der Befragung oder mittels eMail.

Den Personen wurden folgende Fragen gestellt:

- 1) Wie alt bist Du?
- 2) Wie groß bist Du (in cm)?
- 3) Wieviel wiegst Du (in kg)?
- 4) Bist Du männlich (m) oder weiblich (m)
- 5) Welche Kampfkunst übst Du aus?
- 6) Wie lange übst Du die KK aus (in Jahren)?
- 7) Gibt es in Eurem Training gezielte Abhärtungsübungen für Arme, Beine oder sogar den Kopf?
- 8) Hast Du seit dem Training/Abhärtungstraining weniger Schmerzempfinden an den Armen und/oder Beinen?
- 9) Bewertest Du einen Schmerz an Armen und/oder Beinen als weniger schmerzhaft als vor dem Training?
- 10) Ist das Schmerzempfinden am Kopf weniger geworden?
- 11) Bewertest Du einen Schmerz am Kopf als weniger schmerzhaft als vor dem Training?

---

Es erfolgte hiernach eine deskriptive Auswertung und Analyse der Antworten.

### 3.2 Experimentelle Untersuchungen

In die experimentellen Untersuchungen wurden freiwillige weibliche und männliche Probanden eingeschlossen. Einschlusskriterien für die ausgewählten Personen waren körperliche Gesundheit, insbesondere keine neurologischen oder psychiatrischen Vorerkrankungen, sowie kein regelmäßiger Gebrauch von Analgetika. Die weiblichen Personen durften keine oralen Kontrazeptiva einnehmen, um deren möglichen Einfluss auf die Schmerzwahrnehmung auszuschließen. Das Alter lag zwischen 18 und 40 Jahren. Eine Teilnahme an früheren Schmerzstudien war ausgeschlossen.

Für die Probandengruppe wurden Kämpferinnen und Kämpfer aus der Kung Fu Trainingsgruppe des Turn- und Sportclubs (TSC) Münster rekrutiert. Diese trainieren regelmäßig ein bis zwei Tage (jeweils 1,5-2 Stunden) in der Woche Kung Fu über einen Zeitraum von Monaten bis Jahren.

Als Kontrollgruppe dienten Personen, die ebenso eine sportliche Betätigung, außer eine Kampfkunst, ausübten. Diese sollte sich über Monate bis Jahre erstrecken haben bei einer durchschnittlichen Trainingsfrequenz von wenigstens einer Trainingseinheit pro Woche.

Bei allen Personen wurden Geschlecht, Alter, Gewicht und Körpergröße registriert. Beide Gruppen wurden gematcht. In der Probandengruppe wurde zusätzlich die Dauer des Kampfkunsttrainings in Monaten einbezogen.

Für alle Personen war ein Messzeitraum von 14 Tagen festgelegt. Hierbei war eine Messung beider Gruppen an Tag 1 und Tag 14 dieses Zeitraumes vorgesehen.



### **3.3 Abhärtungstraining**

Um die Anwendung für die Probanden zu erleichtern und ein tägliches Training sicherstellen zu können, wurden die in Abbildung 7 gezeigten Übungen für die Untersuchung modifiziert.

Die Probandengruppe wurde angewiesen, während der 14 Tage ein genau festgelegtes Programm zuhause durchzuführen. Hierbei wurden die Abhärtungsübungen im Kampfkunsttraining durch Schläge auf Ulna und Radius beider Unterarme sowie die Tibiavorderkante der Unterschenkel mit einem schaumstoffgepolsterten Holzstab simuliert. Die Probanden sollten täglich jede Extremität jeweils zwei Minuten mit moderater Stärke abhärten. Art und Umfang dieser Übung wurde den Probanden beim ersten Termin demonstriert.

## **3.4 Messungen der Nozizeption**

### **3.4.1 Benutzte Geräte**

Zur oberflächlichen Applikation der Stromreize wurden Oberflächen-Klebeelektroden benutzt. Die elektrischen Stimuli wurden durch ein gängiges EMG-Gerät (Counterpoint Mk2, Dantec, Kopenhagen, Dänemark) erzeugt. Es wurden Stromreize im Bereich von 0,1 - 70 Milliampere (mA) appliziert. Ein einzelner Reiz dauerte 1 ms. Ein sogenannter Train zur Überprüfung der Habituation bestand in einer Abfolge von 10 Einzelreizen mit einer Frequenz von 0,5 Hz.

### **3.4.2 Messung der Schmerzintensität**

Die Schmerzintensität wurde von den Probanden mit Hilfe einer visuellen Analogskala (VAS) mit einem Umfang von 0 (keine Schmerzen) bis 10 (stärkste Schmerzen) eingeschätzt. Diese bestand aus zwei frei verschieblichen Pappteilen und einem roten Balken als Anzeigeelement (Abb. 8). Auf der Rückseite waren 100 Millimeter aufgedruckt, um die Schmerzstärke bis auf eine Stelle nach dem Komma ablesen zu können.

### **3.4.3 Untersuchungsablauf**

Alle Personen wurden in einem Raum mit gleichbleibender Temperatur und gleichbleibenden Lichtverhältnissen nach einer Ruhepause auf einer Liege in Rückenlage untersucht. Nach genauem Aufsuchen des M. tibialis anterior bzw. M. masseter wurde die Haut mit Alkohol gereinigt und die mit Kontaktgel versehenen Klebeelektroden auf einen anatomisch vordefinierten Punkt (das Hautareal über der größten Ausdehnung des Muskelbauches, dann jeweils im Abstand von 8 cm) geklebt (Abb. 9). Die Messungen wurden nach einem genau festgelegten Protokoll durchgeführt. Der erste Messdurchgang umfasste das Versorgungsge-

biet des N. peronaeus. Es wurde die Stromstärke in 0,1-mA-Schritten ab 0,0 mA erhöht, bis die Probanden eine erste Empfindung verbal mitteilten. Diese Zahl wurde als sensorische Schwelle in mA festgelegt.

Danach wurde die mA-Zahl weiter erhöht, bis die Probanden eine Schmerzempfindung verspürten. Die Schmerzreizschwelle wurde definiert als mA-Zahl, bei der die durch den Stromreiz erzeugten Kribbelparästhesien von den Probanden erstmalig als unangenehm angegeben wurden. Hiernach wurde ein Einzelreiz in der 3-fachen Schmerzschwellenstärke gesetzt, welchen die Probanden auf der visuellen Analogskala einschätzten. Anschließend wurde ein sogenannter Train appliziert, bei denen die 1,5 fache Schmerzreizschwelle verwendet wurde. Nach einer Pause von 30 Sekunden wurde ein zweiter Train gesetzt. Die Probanden sollten das Schmerzempfinden des jeweils letzten Reizes der beiden Trains wiederum auf der VAS angeben.

Nach dem ersten Durchgang am M. tibialis anterior wurde das Versorgungsgebiet des N. trigeminus am Hautareal über dem M. masseter nach gleichem Protokoll gemessen.

Abbildung 8: Für den Versuch benutzte VAS aus Pappe mit Schiebeelement. Die obere Grafik zeigt die Ansicht für den Patienten, die untere zeigt die Ansicht für den Untersucher, hier sind Messeinheiten aufgedruckt.

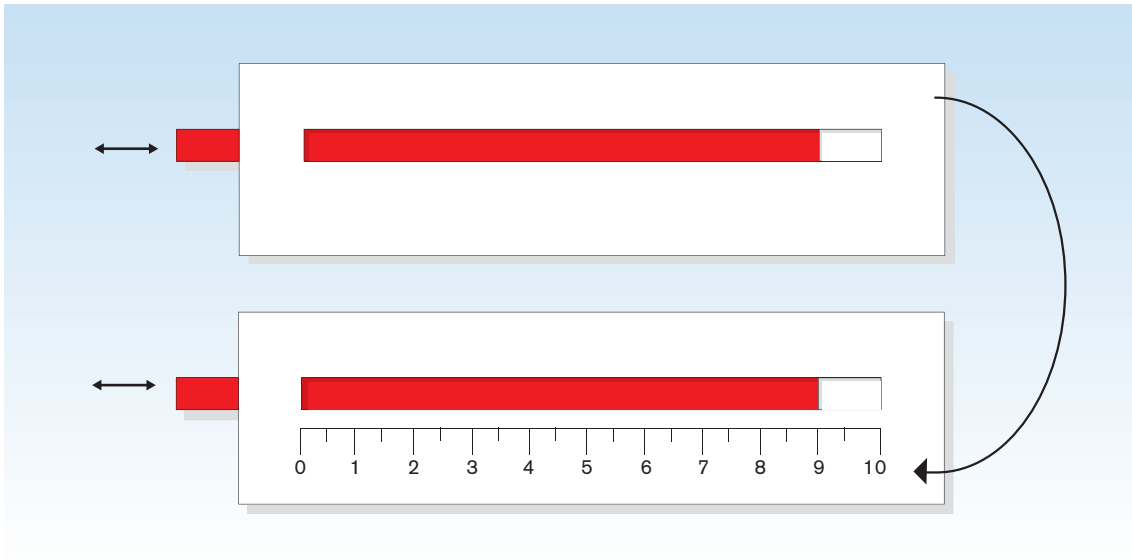
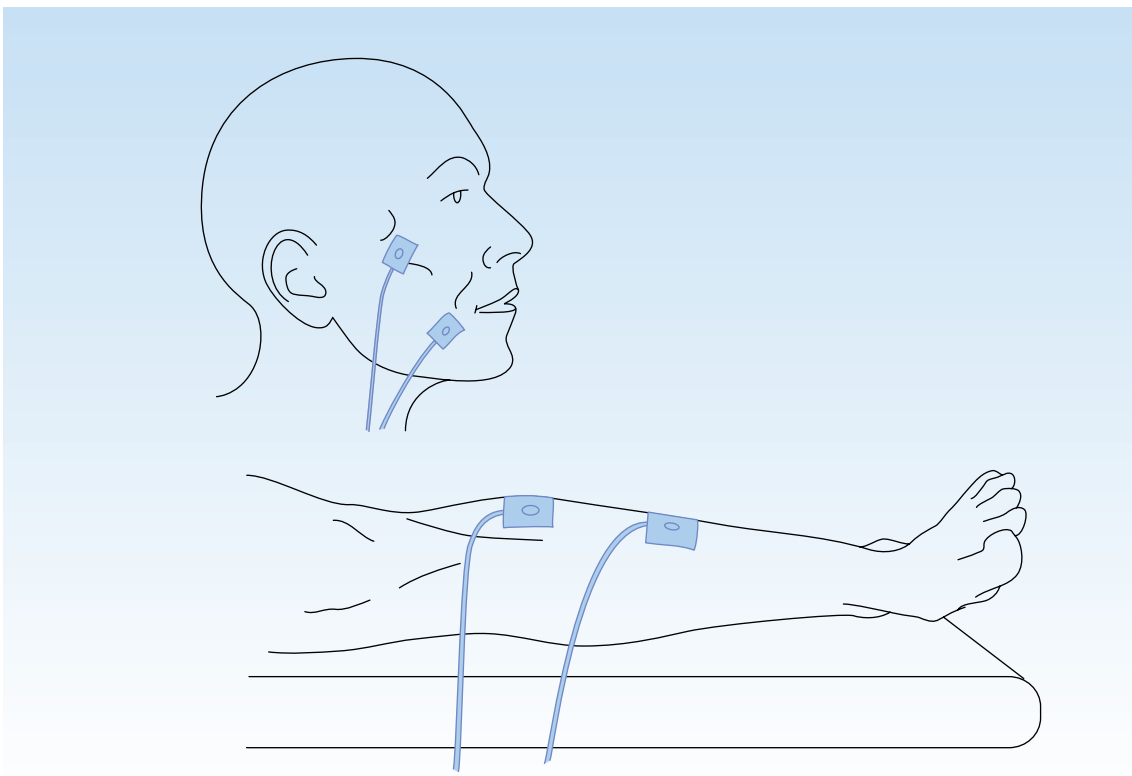


Abbildung 9: Platzierung der Elektroden über dem M. masseter und dem M. tibialis anterior



### 3.5 Statistische Methoden

Die Daten wurden einer deskriptiven und analytischen Statistik mit dem Statistikprogramm SPSS (deutsche Version 12.0) unterzogen. Die Daten sind, wenn nicht anders angegeben, als Prozentzahl oder als arithmetischer Mittelwert mit einfacher Standardabweichung angegeben. Für die statistische Analyse wurden nicht-parametrische Testverfahren verwendet. Der Vergleich zwischen verbundenen Parametern wurde mit dem Wilcoxon-Test durchgeführt, zwischen nicht-verbundenen Stichproben mit dem Man-Whitney-U-Test. Korrelationen wurden mit dem Spearman-Rang-Korrelations-Koeffizienten berechnet. Qualitative Merkmale wurden mit dem Chi<sup>2</sup>-Test analysiert. Der Fisher's exact Test wurde verwendet, falls eine Zelle < 5 war. Das Signifikanzniveau wurde auf  $p=0,05$  festgesetzt.

## 4 Ergebnisse

### 4.1. Durchführung einer Befragung

An der Internetbefragung nahmen insgesamt 100 Probanden teil. 92 Antworten waren verwertbar. Die demographischen Daten der Probanden sind in Tabelle 1 dargestellt.

*Tabelle 1: Demographische Daten der Teilnehmer der Internetbefragung*

Geschlecht	m: 83% w: 17%	
Herkunftsland der untersuchten Kampfkünste	China Japan sonstige	35% 34% 32%
Kampfkunst-Art	Kung Fu Karate Tae Kwon Do andere	27% 14% 15% 44%
Alter (Jahre)	26 ± 8	
BMI (kg/m <sup>2</sup> )	24,0 ± 3,6	

Tabelle 2: Ergebnisse der Befragung nach der Schmerzveränderung durch die Kampfkunst

		ja	nein
Abhärtungstraining durchgeführt		53%	47%
Schmerzempfindung durch die Kampfkunst herabgesetzt	zentral	28%	72%
	peripher	60%	40%
Schmerzbewertung durch die Kampfkunst verändert	zentral	46%	54%
	peripher	78%	22%

Die statistische Analyse von Tabelle 2 ergibt, dass signifikant häufiger eine Herabsetzung der peripheren als der zentralen Schmerzempfindung durch Ausübung einer Kampfkunst angegeben wird (Wilcoxon-Test  $p < 0,001$ ). Weiterhin besteht ein signifikanter positiver Zusammenhang zwischen der subjektiven Herabsetzung der Schmerzempfindung peripher und zentral ( $\text{Chi}^2 = 6,6$ ,  $p < 0,01$ ).

Die Probanden, die eine zentrale Herabsetzung des Schmerzempfindens berichten, haben auch eine Herabsetzung des peripheren Schmerzempfindens, aber nicht umgekehrt.

Die statistische Analyse von Tabelle 2 ergibt, dass signifikant häufiger eine Veränderung der peripheren als der zentralen Bewertung der Schmerzqualität durch Ausübung einer Kampfkunst angegeben wird (Wilcoxon-Test  $p < 0,001$ ). Weiterhin besteht ein signifikanter positiver Zusammenhang zwischen der subjektiven Bewertung der Schmerzqualität zwischen peripher und zentral ( $\text{Chi}^2 = 17,0$ ,  $p < 0,001$ ).

Dies bedeutet, dass die Probanden, die über eine periphere Veränderung berichten, auch eine Veränderung der zentralen Schmerzbewertung haben, aber nicht umgekehrt.

## 4.2 Daten der experimentellen Untersuchung

Tabelle 3: Demographische Daten der beiden Untersuchungsgruppen (dargestellt als Mittelwert mit Standardabweichung). Statistischer Vergleich mittels Mann-Whitney-U-Test und Fisher's exact test.

	Probanden	Kontrollen	Signifikanz
Geschlecht	14 m 1 w	11 m 4 w	ns (p = 0,130)
Alter in Jahren	25,2 ± 7,7 (18,0 - 44,0)	27,6 ± 2,9 (24,0 - 34,0)	p = 0,041
Größe in cm	184,3 ± 8,3 (170,0 - 201,0)	179,9 ± 10,5 (162,0 - 200,0)	ns (p = 0,267)
Gewicht in kg	84,1 ± 12,2 (67,0 - 108,0)	77,9 ± 12,4 (56,0 - 95,0)	ns (p = 0,285)
BMI in kg/m <sup>2</sup>	24,7 ± 2,8 (20,7 - 32,2)	23,9 ± 2,0 (19,2 - 26,6)	ns (p = 0,744)
Dauer Kung-Fu in Jahren	6,3 ± 4,8 (0,5 - 18,0)	./.	na

ns = nicht signifikant

na = nicht anwendbar

BMI = Body mass index

Dreißig gesunde Personen (5 Frauen und 25 Männer) im Durchschnittsalter von 25,2 ± 7,7 Jahren wurden untersucht. Hierbei waren Geschlecht, Größe, Gewicht, BMI gematcht, die Gruppen unterschieden sich lediglich im Alter leicht signifikant (p = 0,041). In der Gruppe der Probanden wurde zusätzlich die Dauer des Kung Fu Trainings in Jahren erfasst. Die demographischen Daten sind in Tabelle 3 dargestellt.



### 4.2.1 Daten der einzelnen Messungen bei den Probanden

Tabelle 4: Daten der einzelnen Messungen bei den Probanden zum Zeitpunkt U<sub>1</sub>

	M. tibialis	M. masseter	Signifikanz
sensible Schwelle in mA	2,5 ± 2,2 (1,2 - 9,6)	1,2 ± 0,4 (0,4 - 2,0)	p = 0,002
Schmerzschwelle in mA	12,0 ± 6,0 (4,4 - 26,5)	4,9 ± 1,9 (2,0 - 7,4)	p = 0,001
Schmerzstärke in cm VAS <sup>a</sup>	2,3 ± 1,2 (0,5 - 4,5)	4,4 ± 1,9 (1,4 - 7,8)	p = 0,002
Schmerzstärke in cm VAS nach 1. Train <sup>b</sup>	2,9 ± 1,4 (0,4 - 5,7)	4,1 ± 1,9 (1,3 - 7,4)	p = 0,015
Schmerzstärke in cm VAS nach 2. Train <sup>b</sup>	3,3 ± 1,6 (0,4 - 5,9)	3,9 ± 2,0 (1,5 - 7,8)	
Differenz Train2-Train1 in cm VAS	0,4 ± 0,6 (-0,9 - 1,5)	-0,1 ± 1,3 (-4,0 - 1,7)	ns (p = 0,223)

<sup>a</sup> Schmerzstärke auf einer 10 cm visuellen Analogskala nach Stimulation mit dreifacher Schmerzschwelle

<sup>b</sup> Schmerzstärke auf einer 10 cm visuellen Analogskala nach repetitiver Stimulation mit eineinhalbfacher Schmerzschwelle (sog. train, zur Methodik siehe Text)  
ns = nicht signifikant

In der Gruppe der Probanden zeigte die Messung des M. masseter gegenüber der Messung des M. tibialis eine signifikant niedrigere sensible Schwelle. Bei der Messung der Schmerzschwelle wurde beim M. tibialis anterior ein deutlich höherer Wert gemessen als beim M. masseter. Die applizierten Schmerzreize wurden für den M. tibialis anterior auf der VAS weniger hoch bewertet als für den M. masseter. Der erste Train (Abfolge von 10 Schmerzreizen mit der eineinhalbfachen Schmerzreizschwelle in einer Frequenz von 0,5 Hz). wurde für den M. masseter

---

als schmerzhafter eingestuft. Die Differenz zwischen der Bewertung des ersten und zweiten Trains als Indikator für eine mögliche Habituation war nicht signifikant. Zusammenfassend sind also Schwellen und subjektive Schmerzintensität beim M. tibialis anterior höher, nicht aber die Habituation.

#### 4.2.2 Daten der einzelnen Messungen bei den Kontrollen

Tabelle 5: Daten der einzelnen Messungen bei den Kontrollen zum Untersuchungszeitpunkt U1

	M. tibialis	M. masseter	Signifikanz
sensible Schwelle in mA	1,7 ± 0,7 (0,7 - 3,4)	1,1 ± 0,9 (0,4 - 3,8)	p = 0,031
Schmerzschwelle in mA	8,6 ± 4,7 (2,8 - 19,4)	4,0 ± 2,6 (0,9 - 9,0)	p = 0,001
Schmerzstärke in cm VAS <sup>a</sup>	2,2 ± 2,1 (0,1 - 6,9)	3,9 ± 2,2 (0,1 - 8,5)	p = 0,009
Schmerzstärke in cm VAS nach 1. Train <sup>b</sup>	2,3 ± 2,0 (0,1 - 6,5)	3,2 ± 1,9 (0,2 - 7,3)	p = 0,021
Schmerzstärke in cm VAS nach 2. Train <sup>b</sup>	2,5 ± 2,0 (0,1 - 7,3)	3,0 ± 1,9 (0,2 - 6,8)	
Differenz Train2-Train1 in cm VAS	0,2 ± 0,7 (-1,0 - 1,5)	-0,2 ± 0,6 (-1,4 - 1,2)	ns (p = 0,068)

<sup>a</sup> Schmerzstärke auf einer 10 cm visuellen Analogskala nach Stimulation mit dreifacher Schmerzschwelle

<sup>b</sup> Schmerzstärke auf einer 10 cm visuellen Analogskala nach repetitiver Stimulation mit eineinhalbfacher Schmerzschwelle (sog. train, zur Methodik siehe Text)  
ns = nicht signifikant

In der Gruppe der Kontrollen zeigte die Messung des M. masseter gegenüber der Messung des M. tibialis anterior eine signifikant niedrigere sensible Schwelle. Bei der Messung der Schmerzschwelle wurde beim M. tibialis anterior ein deutlich höherer Wert gemessen als beim M. masseter. Die applizierten Schmerzreize wurden für den M. tibialis anterior auf der VAS weniger hoch bewertet als für den M. masseter. Der erste Train (Abfolge von 10 Schmerzreizen mit der 1,5fachen Schmerzreizschwelle in einer Frequenz von 0,5 Hz) wurde für den M. masseter als

schmerzhafter eingestuft. Die Differenz zwischen der Bewertung des ersten und zweiten Trains als Indikator für eine mögliche Habituation war nicht signifikant unterschiedlich, es lässt sich jedoch ein Trend erkennen, der darauf hinweist, dass sich das Schmerzempfinden der Kontrollen zwischen Train 1 und Train 2 am M. masseter erhöht, was ein Hinweis auf eine Fazilitation sein könnte.

### 4.2.3 Vergleich der Messdaten von Probanden und Kontrollen im Zeitverlauf

Tabelle 6: Vergleich der Reizparameter zwischen erstem und zweitem Untersuchungszeitpunkt bei den Probanden für den *M. tibialis anterior*

	U1	U2	Signifikanz
M. tibialis anterior			
sensible Schwelle in mA	2,5 ± 2,3 (1,2 - 9,6)	1,6 ± 0,5 (0,4 - 2,4)	p = 0,047
Schmerzschwelle in mA	12,0 ± 6,0 (4,4 - 26,5)	12,0 ± 5,2 (4,6 - 19,0)	ns (p = 1,000)
Schmerzstärke in cm VAS <sup>a</sup>	2,3 ± 1,2 (0,5 - 4,5)	2,9 ± 2,0 (0,3 - 7,2)	ns (p = 0,6249)
Schmerzstärke in cm VAS nach 1. Train <sup>b</sup>	2,9 ± 1,4 (0,4 - 5,7)	2,7 ± 1,5 (0,3 - 5,6)	ns (p = 0,2789)
Schmerzstärke in cm VAS nach 2. Train <sup>b</sup>	3,3 ± 1,6 (0,4 - 5,9)	2,5 ± 1,5 (0,3 - 5,5)	
Differenz Train2-Train1 in cm VAS	0,4 ± 0,7 (-0,9 - 1,5)	-0,1 ± 0,6 (-1,2 - 0,6)	p = 0,016

<sup>a</sup> Schmerzstärke auf einer 10 cm visuellen Analogskala nach Stimulation mit dreifacher Schmerzschwelle

<sup>b</sup> Schmerzstärke auf einer 10 cm visuellen Analogskala nach repetitiver Stimulation mit eineinhalbfacher Schmerzschwelle (sog. train, zur Methodik siehe Text)  
ns = nicht signifikant

In der Gruppe der Probanden zeigte die Messung der sensiblen Schwelle am *M. tibialis* zum Messzeitpunkt U1 signifikant höhere Werte als zum Zeitpunkt U2. Bei der Messung der Schmerzschwelle wurde beim *M. tibialis* kein deutlich signifikanter Unterschied gemessen. Die applizierten Schmerzreize wurden für den *M.*

---

tibialis anterior für U1 und U2 auf der VAS nicht signifikant unterschiedlich bewertet, ebenso wie der erste Train. Die Differenz zwischen der Bewertung des ersten und zweiten Trains als Indikator für eine mögliche Habituation war zum Zeitpunkt U2 gegenüber dem Zeitpunkt U1 signifikant erniedrigt.

Tabelle 7: Vergleich der Reizparameter zwischen erstem und zweitem Untersuchungszeitpunkt bei den Probanden für den M. masseter

	U1	U2	Signifikanz
M. masseter			
sensible Schwelle in mA	1,2 ± 0,4 (0,4 - 2,0)	1,1 ± 0,5 (0,5 - 1,9)	ns (p = 0,819)
Schmerzschwelle in mA	4,9 ± 1,9 (2,0 - 7,4)	6,2 ± 3,5 (1,6 - 13,4)	ns (p = 0,132)
Schmerzstärke in cm VAS <sup>a</sup>	4,4 ± 1,9 (1,4 - 7,8)	3,8 ± 1,9 (0,3 - 6,6)	ns (p = 0,069)
Schmerzstärke in cm VAS nach 1. Train <sup>b</sup>	4,1 ± 1,9 (1,3 - 7,4)	3,0 ± 1,6 (0,3 - 5,7)	p = 0,006
Schmerzstärke in cm VAS nach 2. Train <sup>b</sup>	3,9 ± 2,0 (1,5 - 7,8)	2,9 ± 1,6 (0,3 - 5,6)	
Differenz Train2-Train1 in cm VAS	-0,1 ± 1,3 (-4,0 - 1,7)	-0,1 ± 0,8 (-1,3 - 1,2)	ns (p = 0,925)

<sup>a</sup> Schmerzstärke auf einer 10 cm visuellen Analogskala nach Stimulation mit dreifacher Schmerzschwelle

<sup>b</sup> Schmerzstärke auf einer 10 cm visuellen Analogskala nach repetitiver Stimulation mit eineinhalbfacher Schmerzschwelle (sog. train, zur Methodik siehe Text)  
ns = nicht signifikant

Die Messung der sensiblen Schwelle am M. masseter zeigte zum Messzeitpunkt U1 keine signifikant höheren Werte als zum Zeitpunkt U2. Bei der Messung der Schmerzschwelle wurde ebenfalls kein deutlich signifikanter Unterschied gemessen. Die applizierten Schmerzreize wurden für den M. masseter für U1 und U2 auf der VAS nicht signifikant unterschiedlich bewertet, es zeigt sich jedoch ein Trend, dass die Reizung mit der dreifachen Schmerzreizschwelle als weniger schmerzhaft eingestuft wird. Der erste Train wurde auf der VAS zum Zeitpunkt U2 signifi-

---

kant niedriger als zum Zeitpunkt U1 bewertet. Die Differenz zwischen der Bewertung des ersten und zweiten Trains als Indikator für eine mögliche Habituation zum jeweiligen Zeitpunkt U1 und U2 war nicht signifikant.



Tabelle 8: Vergleich der Reizparameter zwischen erstem und zweitem Untersuchungszeitpunkt bei den Kontrollen für den M. tibialis anterior

	U1	U2	Signifikanz
M. tibialis			
sensible Schwelle in mA	1,7 ± 0,7 (0,7 - 3,4)	1,3 ± 0,7 (0,3 - 3,0)	ns (p = 0,064)
Schmerzschwelle in mA	8,6 ± 4,7 (2,8 - 19,4)	6,1 ± 4,2 (1,7 - 14,6)	p = 0,033
Schmerzstärke in cm VAS <sup>a</sup>	2,2 ± 2,1 (0,1 - 6,9)	2,4 ± 2,2 (0,1 - 6,7)	ns (p = 0,409)
Schmerzstärke in cm VAS nach 1. Train <sup>b</sup>	2,3 ± 1,9 (0,1 - 6,5)	2,0 ± 1,6 (0,1 - 5,8)	ns (p = 0,157)
Schmerzstärke in cm VAS nach 2. Train <sup>b</sup>	2,5 ± 2,0 (0,1 - 7,3)	2,0 ± 1,7 (0,1 - 5,0)	
Differenz Train2-Train1 in cm VAS	0,2 ± 0,7 (-1,0 - 1,5)	0,0 ± 0,6 (-1,3 - 1,3)	ns (p = 0,068)

<sup>a</sup> Schmerzstärke auf einer 10 cm visuellen Analogskala nach Stimulation mit dreifacher Schmerzschwelle

<sup>b</sup> Schmerzstärke auf einer 10 cm visuellen Analogskala nach repetitiver Stimulation mit eineinhalbfacher Schmerzschwelle (sog. train, zur Methodik siehe Text)  
ns = nicht signifikant

In der Gruppe der Kontrollen zeigte die Messung der sensiblen Schwelle am M. tibialis zum Messzeitpunkt U1 keine signifikant veränderten Werte als zum Zeitpunkt U2, ein Trend weist in die Richtung, dass die Kontrollpersonen zum Zeitpunkt U2 sensibler auf den Stromreiz reagieren als zum Zeitpunkt U2. Bei der Messung der Schmerzschwelle wurde beim M. tibialis ein signifikanter Unterschied gemessen. Die applizierten Schmerzreize wurden für den M. tibialis für U1 und U2 auf der VAS nicht signifikant unterschiedlich bewertet, ebenso wie der

---

erste Train. Die Differenz zwischen der Bewertung des ersten und zweiten Trains als Indikator für eine Habituation war nicht signifikant, es lässt sich aber ein Trend erkennen, dass sich das Schmerzempfinden der Kontrollgruppe am M. tibialis anterior erhöht.

Tabelle 9: Vergleich der Reizparameter zwischen erstem und zweitem Untersuchungszeitpunkt bei den Kontrollen für den M. masseter

	U1	U2	Signifikanz
M. masseter			
sensible Schwelle in mA	1,1 ± 0,9 (0,4 - 3,8)	0,9 ± 0,4 (0,3 - 1,8)	ns (p = 0,732)
Schmerzschwelle in mA	4,0 ± 2,6 (0,9 - 9,0)	3,5 ± 1,8 (1,2 - 7,2)	ns (p = 0,451)
Schmerzstärke in cm VAS <sup>a</sup>	3,9 ± 2,2 (0,1 - 8,5)	3,3 ± 1,9 (1,0 - 6,7)	ns (p = 0,065)
Schmerzstärke in cm VAS nach 1. Train <sup>b</sup>	3,2 ± 1,9 (0,2 - 7,3)	2,4 ± 1,9 (0,7 - 6,2)	p = 0,038
Schmerzstärke in cm VAS nach 2. Train <sup>b</sup>	3,0 ± 1,9 (0,2 - 6,8)	2,4 ± 1,9 (0,5 - 6,0)	
Differenz Train2-Train1 in cm VAS	-0,2 ± 0,6 (-1,4 - 1,2)	-0,1 ± 0,3 (-0,9 - 0,4)	ns (p = 0,219)

<sup>a</sup> Schmerzstärke auf einer 10 cm visuellen Analogskala nach Stimulation mit dreifacher Schmerzschwelle

<sup>b</sup> Schmerzstärke auf einer 10 cm visuellen Analogskala nach repetitiver Stimulation mit dreifacher Schmerzschwelle (sog. train, zur Methodik siehe Text)

ns = nicht signifikant

Die Messung der sensiblen Schwelle am M. masseter zeigte zum Messzeitpunkt U1 keine signifikant höheren Werte als zum Zeitpunkt U2. Bei der Messung der Schmerzschwelle wurde ebenfalls kein deutlich signifikanter Unterschied gemessen. Die applizierten Schmerzreize wurden für den M. tibialis für U1 und U2 auf der VAS nicht signifikant unterschiedlich bewertet, ein Trend ist dahingehend erkennbar, dass die Kontrollpersonen zum Zeitpunkt U2 ein erniedrigtes Schmerzempfinden zeigten. Der erste Train wurde auf der VAS zum Zeitpunkt U2 signifikant

---

niedriger als zum Zeitpunkt U1 bewertet. Die Differenz zwischen der Bewertung des ersten und zweiten Trains als Indikator für eine mögliche Habituation zum jeweiligen Zeitpunkt U1 und U2 war nicht signifikant.

### 4.3 Daten von Probanden und Kontrollen im Vergleich

Tabelle 10: Vergleich der Differenzen der Reizparameter des ersten und zweiten Untersuchungszeitpunktes bei den Probanden und den Kontrollen

		Probanden $\Delta$ (U2-U1)	Kontrollen $\Delta$ (U2-U1)	Signifikanz
M. tibialis	sensible Schwelle in mA	-1,0 ± 2,3 (-8,5 - 0,4)	-0,4 ± 0,9 (-2,8 - 1,0)	ns (p = 0,890)
	Schmerzschwelle in mA	0,0 ± 4,0 (-7,5 - 6,4)	-2,5 ± 4,1 (-10,6 - 2,4)	ns (p = 0,140)
	Schmerzstärke in cm VAS <sup>a</sup>	0,3 ± 1,4 (-1,8 - 3,5)	0,2 ± 0,8 (-1,0 - 2,6)	ns (p = 0,908)
	Schmerzstärke in cm VAS nach 1. Train <sup>b</sup>	-0,3 ± 1,0 (-1,4 - 1,7)	-0,4 ± 1,0 (-2,2 - 1,5)	ns (p = 0,945)
	Schmerzstärke in cm VAS nach 2. Train <sup>b</sup>	-0,8 ± 1,0 (-2,6 - 1,0)	-0,6 ± 1,1 (-2,3 - 1,4)	ns (p = 0,628)
	Differenz Train2-Train1 in cm VAS	-0,5 ± 0,6 (-2,0 - 0,2)	-0,2 ± 1,0 (-1,8 - 2,3)	ns (p = 0,299)
M. masseter	sensible Schwelle in mA	0,0 ± 0,5 (-0,7 - 0,7)	-0,2 ± 1,0 (-3,2 - 1,1)	ns (p = 0,868)
	Schmerzschwelle in mA	1,3 ± 2,7 (-2,8 - 7,0)	-0,6 ± 2,6 (-4,8 - 3,6)	ns (p = 0,085)
	Schmerzstärke in cm VAS <sup>a</sup>	-0,6 ± 1,3 (-3,8 - 1,8)	-0,6 ± 1,3 (-2,9 - 2,3)	ns (p = 0,771)
	Schmerzstärke in cm VAS nach 1. Train <sup>b</sup>	-1,1 ± 1,2 (-3,1 - 0,8)	-0,7 ± 1,4 (-4,0 - 2,3)	ns (p = 0,493)
	Schmerzstärke in cm VAS nach 2. Train <sup>b</sup>	-0,1 ± 2,0 (-4,2 - 2,6)	-0,6 ± 1,2 (-3,7 - 1,1)	ns (p = 0,755)
	Differenz Train2-Train1 in cm VAS	1,0 ± 1,4 (-2,4 - 3,0)	0,1 ± 0,5 (-1,2 - 0,7)	ns (p = 0,819)

- <sup>a</sup> Schmerzstärke auf einer 10 cm visuellen Analogskala nach Stimulation mit dreifacher Schmerzschwelle.
- <sup>b</sup> Schmerzstärke auf einer 10 cm visuellen Analogskala nach repetitiver Stimulation mit dreifacher Schmerzschwelle (sog. train, zur Methodik siehe Text)
- ns = nicht signifikant
- $\Delta$  = Differenz

Die Differenz der Werte für die sensible Schwelle am M. tibialis bei den Probanden zeigte gegenüber der Differenz der Werte bei der Kontrollgruppe keinen signifikanten Unterschied. Bei der Messung der Schmerzschwelle am M. tibialis wurde ebenfalls kein deutlich signifikanter Unterschied gemessen. Die Differenz der applizierten Schmerzreize wurden für den M. tibialis bei beiden Gruppen auf der VAS nicht signifikant unterschiedlich bewertet. Die Schmerzstärke des ersten Trains wurde auf der VAS bei beiden Gruppen nicht signifikant unterschiedlich angegeben. Die Differenz zwischen der Bewertung des ersten und zweiten Trains als Indikator für eine mögliche Habituation in Bezug auf die Differenz U2-U1 war bei beiden Gruppen nicht signifikant unterschiedlich.

Die Differenz der Werte für die sensible Schwelle am M. masseter zeigte bei den Probanden gegenüber der Differenz der Werte bei der Kontrollgruppe keinen signifikanten Unterschied. Bei der Messung der Schmerzschwelle am M. masseter wurde ebenfalls kein signifikanter Unterschied gemessen. Hierbei zeigte sich allerdings ein Trend, wonach die Probanden eine im Durchschnitt höhere Schmerzreizschwelle hatten als die Kontrollen. Die Differenz der applizierten Schmerzreize wurden für den M. masseter bei beiden Gruppen auf der VAS nicht signifikant unterschiedlich bewertet. Die Schmerzstärke des ersten Trains wurde auf der VAS bei beiden Gruppen nicht signifikant unterschiedlich angegeben. Die Differenz zwischen der Bewertung des ersten und zweiten Trains als Indikator für eine mögliche Habituation in Bezug auf die Differenz U2-U1 war bei beiden Gruppen nicht signifikant unterschiedlich.

Bei der Korrelationsanalyse ergaben sich keine relevanten signifikanten Ergebnisse (aufgrund der vielen Korrelationen und der statistischen Problematik des multiplen Testens wurde hierfür das Signifikanzniveau auf  $p=0,01$  gesetzt). Lediglich für die sensible Schwelle des M. tibialis anterior zeigte sich eine signifikante Korrelation mit der Körpergröße ( $r=0,712$ ,  $p=0,006$ ). Dies bedeutet, dass die demographischen bzw. biometrischen Merkmale der Probanden keinen statistisch signifikanten Einfluss auf die Messungen hatten.

## 5 Diskussion

### 5.1 Zusammenfassende Darstellung der Ergebnisse

Aus dem vorangehenden Ergebnisteil können folgende relevante Resultate zusammengefasst werden:

*Messung am M. tibialis und am M. masseter bei den Probanden (Tabelle 4)*

In der Gruppe der Probanden zeigte die Messung des M. masseter gegenüber der Messung des M. tibialis eine signifikant niedrigere sensible Schwelle. Bei der Messung der Schmerzschwelle wurde beim M. masseter ebenfalls ein deutlich niedrigerer Wert gemessen als beim M. tibialis. Die applizierten Schmerzreize wurden für den M. tibialis auf der VAS weniger hoch bewertet als für den M. masseter. Der erste Train, also die Abfolge von 10 Schmerzreizen mit der eineinhalbfachen Schmerzreizschwelle in einer Frequenz von 0,5 Hz, wurde für den M. masseter als schmerzhafter eingestuft.

*Messung am M. tibialis und am M. masseter bei den Kontrollen (Tabelle 5)*

In der Gruppe der Kontrollen ergaben die Messungen von sensibler Schwelle und Schmerzschwelle sowie die Bewertung der Schmerzreize auf der VAS analoge Resultate. Der erste Train wurde für den M. masseter ebenfalls als schmerzhafter eingestuft. Die Differenz zwischen der Bewertung des ersten und zweiten Trains als Indikator für eine mögliche Habituation war nicht signifikant, es lässt sich jedoch ein Trend erkennen, der darauf hinweist, dass sich das Schmerzempfinden der Kontrollen zwischen Train 1 und Train 2 am M. masseter erhöht, was ein Hinweis auf eine Fazilitation ist.



*Vergleich der Messungen der Probanden am M. tibialis zum Zeitpunkt U1 und U2 (Tab. 6)*

In der Gruppe der Probanden zeigte die Messung der sensiblen Schwelle am M. tibialis zum Messzeitpunkt U1 signifikant höhere Werte als zum Zeitpunkt U2. Die Differenz zwischen der Bewertung des ersten und zweiten Trains als Indikator für eine mögliche Habituation war zum Zeitpunkt U2 gegenüber dem Zeitpunkt U1 signifikant erniedrigt.

*Vergleich der Messungen der Probanden am M. masseter zum Zeitpunkt U1 und U2 (Tab. 7)*

Die applizierten Schmerzreize wurden für den M. masseter für U1 und U2 auf der VAS nicht signifikant unterschiedlich bewertet, es zeigt sich jedoch ein Trend, dass die Reizung mit der dreifachen Schmerzreizschwelle als weniger schmerzhaft eingestuft wird. Der erste Train wurde auf der VAS zum Zeitpunkt U2 signifikant niedriger als zum Zeitpunkt U1 bewertet.

*Vergleich der Messungen der Kontrollen am M. tibialis zum Zeitpunkt U1 und U2 (Tab. 8)*

In der Gruppe der Kontrollen zeigte die Messung der sensiblen Schwelle am M. tibialis zum Messzeitpunkt U1 keine signifikant veränderten Werte im Vergleich zum Zeitpunkt U2, ein Trend weist jedoch in die Richtung, dass die Kontrollpersonen zum Zeitpunkt U2 sensibler auf den Stromreiz reagieren als zum Zeitpunkt U1. Bei der Messung der Schmerzschwelle wurde beim M. tibialis ein signifikanter Unterschied gemessen. Die Differenz zwischen der Bewertung des ersten und zweiten Trains als Indikator für eine Habituation war nicht signifikant, es lässt sich aber ein Trend erkennen, dass sich das Schmerzempfinden der Kontrollgruppe am M. masseter erhöht.

*Vergleich der Messungen der Kontrollen am M. masseter zum Zeitpunkt U1 und U2 (Tab. 9)*

Bei der Messung der Schmerzschwelle am M. masseter wurde ebenfalls kein signifikanter Unterschied gemessen. Hierbei zeigte sich allerdings ein Trend, wonach die Probanden eine im Durchschnitt höhere Schmerzreizschwelle hatten als die Kontrollen. Der erste Train wurde auf der VAS zum Zeitpunkt U2 signifikant niedriger als zum Zeitpunkt U1 bewertet.

*Vergleich der Messungen von Probanden und Kontrollen als Differenz von Zeitpunkt U1 und U2 (Tab. 10)*

Bei der Messung der Schmerzschwelle am M. masseter wurde ebenfalls kein signifikanter Unterschied gemessen. Hierbei zeigte sich allerdings ein Trend, wonach die Probanden eine im Durchschnitt höhere Schmerzreizschwelle hatten als die Kontrollen.

Bei den sensorischen Testungen wurden Messergebnisse für die sensible Schwelle im peripheren Nervensystem (in dieser Arbeit das Hautareal über dem M. tibialis anterior) von 0,3 - 9,6 mA gemessen, die Schmerzschwelle lag zwischen 1,7 - 26,5 mA. Die sensorische Testung für das zentrale Nervensystem wurde am N. trigeminus vorgenommen (in dieser Arbeit das Hautareal über dem M. masseter), die sensible Schwelle lag zwischen 0,3 - 3,8 mA, die Schmerzschwelle zwischen 0,9 - 13,4 mA.

Die Messung der sensiblen Schwellen und Schmerzschwellen bei elektrischer Stimulation an gesunden Personen liegt bei vergleichbaren Arbeiten ebenfalls in diesen Bereichen.

## 5.2 Einordnung in den wissenschaftlichen Zusammenhang

Die Daten der Befragung zeigten, dass das Training von asiatischen Kampfkünsten einen Einfluss auf das subjektive Schmerzempfinden hat. Besonders am peripheren Nervensystem wurde das Schmerzempfinden als subjektiv herabgesetzt bzw. verändert beschrieben, weniger am trigeminalen Nervensystem. Dieses Ergebnis zeigte einen möglichen antinozizeptiven Einfluss von asiatischen Kampfkünsten, der in kontrollierten Studien mit experimentell untersuchten Schmerzreizschwellen und Schmerzempfindung getestet werden sollte.

Nach der Analyse der experimentellen Daten konnten wir keinen allgemeinen Einfluß von exogener repetitiver Schmerzstimulation auf die trigeminalen oder peripheren Schmerzreizschwellen beobachten. Dies bedeutet, dass das Abhärtungstraining, wie es in asiatischen Kampfkunsttrainings angewendet wird, keine generelle subjektive Hypalgesie durch nozizeptive Mechanismen induziert. Da jedoch viele Kampfkunstschüler nach langjährigem Training mit oder ohne Abhärtungsübungen über eine Gewöhnung an Schmerzreize berichten, müssen andere Mechanismen als die Nozizeption als Ursache in Betracht gezogen werden. Ein wichtiger Punkt ist hier die affektive Komponente des Schmerzes. Die Kung Fu Schüler empfanden die Schmerzeinwirkung als wichtig für die Abhärtung. Sie konzentrierten sich auf die Ausführung der Abhärtungsübung, das Schmerzempfinden stand hierbei nicht im Mittelpunkt ihrer Aufmerksamkeit. Die sensorische Komponente des Schmerzes, also die Warnfunktion, kann eher vernachlässigt werden, da den Schülern in diesem Zusammenhang klar war, dass durch die Übung keine Gefährdung des Körpers droht. Die motorische Komponente ist insofern relevant als dass die Kung Fu Schüler lernen müssen, Schutzreflexe und Schonhaltung infolge Schmerzeinwirkung im Kampf zu unterdrücken. Der möglicherweise wichtigste Faktor ist die kognitive Komponente, die Bewertung des Schmerzes anhand früherer Schmerzerfahrungen. Da die Trainierenden wissen, dass Schmerz aus vorhergehenden Trainings keine wesentlichen negativen Aus-

wirkungen hatte, können sie der Schmerzeinwirkung gelassener gegenüberstehen als Personen, die keine regelmäßigen Abhärtungen durchführen.

Wir fanden heraus, dass die Probanden eine (nicht signifikante) Erhöhung der Schmerzreizschwelle im Versorgungsgebiet des N. trigeminus zeigten, wohingegen die Kontrollen eine signifikante Erniedrigung der Schwelle hatten. Daher könnte es sein, dass Abhärtungsübungen zu einer Veränderung der Schmerzverarbeitung führen, die in einer höheren Schmerzreizschwelle (d.h. zu weniger Schmerzempfindung) auch in Körperpartien, die nicht direkt dem Abhärtungstraining ausgesetzt waren, resultiert. Dieses Phänomen konnten wir an der Schmerzempfindung am peripheren Nervensystem nicht nachweisen. Es könnte sein, dass das trigeminale System und dessen Schmerzverarbeitung sensibler auf exogene Schmerzreize reagiert bzw. eine stärkere kortikale Plastizität verursacht, unabhängig vom Ort der Schmerzstimulation. Dauernder nozizeptiver (= physiologischer) Schmerzreiz führt möglicherweise auch im Hirnstamm zu einer Habituation. Es könnten dadurch auch antinozizeptive Strukturen wie der Locus coeruleus oder das periaquaeduktale Grau aktiviert werden, die einen antinozizeptiven Einfluss auf das periphere und trigeminale Nervensystem haben. Über die Art der Aktivierung, z.B. eine erhöhte Grundaktivität der Neurone, plastische Veränderungen der Synapsen etc., kann hier keine Aussage getroffen werden.

Weiterhin sollen die Unterschiede zwischen dem peripheren und trigeminalen Nervensystem in Bezug auf Schmerzschwellen und Schmerzhabituation diskutiert werden. In anderen Studien waren die Schwellenunterschiede am peripheren und am trigeminalen Nervensystem bisher sehr deutlich ausgeprägt (Ashina et al., 2003 und 2006; Rhudy et al., 2005). Diese Unterschiede konnten hier bestätigt werden. Die Ursache muss mit dem unterschiedlichen morphologischen Aufbau und den unterschiedlichen Transmitterfunktionen der beiden Systeme erklärt werden. Mögliche Faktoren, die mit dieser Studie natürlich nicht weiter eingegrenzt werden konnten, sind z.B. die Myelinisierung, die synaptischen Verschaltungen

(zunehmende Sensibilität gegenüber Stimuli auf der Ebene des spinalen Hinterhorns oder abnehmende Level der absteigenden Hemmung von supraspinalen Strukturen), die Potenziale der fazitätierenden Neurone etc.

Weiterhin soll auf die Unterschiede zwischen den Geschlechtern in der Nozizeption eingegangen werden. In den meisten publizierten Studien haben Frauen niedrigere Schmerzreizschwellen als Männer (u.a. You et al., 2006; Uchiyama et al., 2006; Colak-Ekici et al., 2007). Eine unterschiedliche somatische Schmerzverarbeitung bei Frauen könnte eine Ursache hierfür sein, jedoch beeinflussen sicher auch psychosoziale Faktoren die Schmerzempfindlichkeit bei den Geschlechtern. In einer Publikation wurde festgestellt, dass ängstliche und nicht ängstliche männliche Probanden einer Studie eine gemessen am TAI (Traint Anxiety Inventory) signifikant höhere Schmerzintensität, Unwohlsein und geringere Schmerztoleranz im Vergleich zu ängstlichen und nicht ängstlichen Frauen hatten (Jones et al., 2003). In einer Publikation von Jensen und Petersen (2006) wurde bei der nozizeptiven Reizleitung und neuronaler Sensibilisierung ein nur geringer Unterschied zwischen den Geschlechtern beschrieben, der die Hypothese, dass akute und chronische Schmerzsyndrome durch eine stärkere zentrale Sensibilisierung bei Frauen zu erklären ist, wenig stützt. Die Schwankungen des Geschlechtshormons Östrogen während des weiblichen Zyklus verursachen ebenfalls eine Beeinflussung der Schmerztoleranz dahingehend, dass bei niedrigen Östrogenspiegeln die affektive Komponente des Schmerzempfindens stärker hervortritt als bei hohen Östrogenspiegeln. Diese Beobachtungen konnten in der hier vorliegenden Arbeit nicht nachvollzogen werden, möglicherweise weil der Frauenanteil zu niedrig war, als dass eine Untergruppe für die Geschlechter hätte erstellt werden können.

Die spezielle Untersuchung der Habituation mit Hilfe von Trains, in der hier vorliegenden Arbeit die Abfolge von 10 Einzelreizen mit einer Frequenz von 0,5 Hz, hat sich in vorangehenden Studien zur Untersuchung von Schmerzschwellen und

Bewertung von Schmerzintensität bewährt (Ashina et al. 2003; 2006). Hier ist zu beachten, dass sich die Frequenz des Trains bisher nach der Fragestellung gerichtet hat. Li et al. vermuteten, dass sich Nozizeptoren bei hohen Frequenzen entladen, und dass z.B. eine zentrale Sensibilisierung auf der initialen Frequenz und Dauer der C-Nozizeptor-Entladung beruhen könnte. Dies konnte in Tierstudien bestätigt werden, in denen eine Stimulationsfrequenz von 100 Hz benutzt wurde, um eine langdauernde Potenzierung zu erreichen (Li et al., 1999). Es wäre also möglich, durch die Variation der Frequenz der applizierten Reize weitere richtungweisende Ergebnisse zu erhalten. Ebenso könnte der willkürlich gesetzte Wert der eineinhalbfachen Schmerzreizschwelle für die Train-Stimulation variiert werden. In der vorliegenden Arbeit konnte die Evaluation der Train-Stimulation keine signifikanten Ergebnisse liefern. Das bedeutet, dass dieser Messparameter für unser Studiendesign (d.h. Messung der Empfindung von exogener nozizeptiver Stimulation) nicht zu verwenden war.

Die Lokalisation der Reizorte, ihre Nähe zu sensiblen Arealen und ihr affektiver Einfluss könnten die Reaktion der Probanden auf schmerzhaft stimuli beeinflussen. Das trigeminale System hat eine größere Repräsentationsfläche im zentralen Nervensystem und einen wahrscheinlich hohen Grad der somatotopischen Gliederung, und Stimuli im Gesicht sind für die Probanden generell bedrohlicher als Stimuli an den Gliedmaßen. Neuroanatomische und psychologische Faktoren (wie z. B. Angst vor einem schmerzhaften Reiz im Gesicht) können die Probanden dazu veranlassen, den Stimulus schneller beenden zu wollen. Daher könnte die Schmerzreizschwelle für die Messung am N. trigeminus niedriger ausgefallen sein (Shibasaki, 2004).

Ebenso werden Schmerzen aus verschiedenen Regionen unterschiedlich verarbeitet: Schmerz aus Hautrezeptoren wird allgemein als scharf und klar eingegrenzt angegeben, der aus Muskeln und Organen eher dumpf und diffus. Dies liegt u.a. an unterschiedlicher Perzeption und emotionaler Bewertung (Henderson et al., 2006).

In der Erstmessung zum Zeitpunkt U1 zeigte sich bereits sowohl peripher als auch zentral ein Unterschied zwischen den Kampfkünstlern und der Kontrollgruppe. Dies ist wahrscheinlich auf die bereits erfolgte Abhärtung im Rahmen des Trainings vor Beginn der Studie zurückzuführen. Trotz intensiver Recherche in der wissenschaftlichen Literatur und in einschlägigen Lehrbüchern ist es nicht gelungen, vergleichbare Studien zu identifizieren, die den Einfluss artifizierlicher Schmerzreizung bei Kampfsportarten auf die Schmerzschwellen untersuchen.

In verschiedenen Studien wurde die Bedeutung von Konvergenzmechanismen bei der Neuroplastizität der nozizeptiven Neuronen bei der Erklärung von pathophysiologischen Vorgängen, unter anderem bei Kopfschmerzen, hervorgehoben (Sessle et al., 1986). Die zusammengeführten Afferenzen von Haut, Organen und Muskeln zu wide-dynamic-range (WDR) Neuronen des Rückenmarks werden eingeschlossen in sogenannte Übertragungsmuster der Schmerzempfindung. Dadurch kommt es zu übertragenen lokalisierten Schmerzen. Im trigeminalen Bereich ist dieses Phänomen ebenfalls bekannt für die Konvergenz der oberen cervikalen Afferenzen und der trigeminalen Afferenzen (z.B. beim cervikogenen Kopfschmerz) (Frese et al., 2003, Busch et al., 2004).

Sessle et al. haben 1986 gezeigt, dass Afferenzen aus der Haut, der Zahnpulpa, den Organen sowie den Muskeln zu nozizeptiven und nichtnozizeptiven Neuronen im Nucleus caudalis im medullären Hinterhorn zusammenlaufen. Dies lässt einen Einfluss dieser Neurone auf die Modulation von visceralen Schmerzen und auf die Ausdehnung und Weiterleitung von Schmerzen im kraniofazialen Bereich vermuten. Zusätzlich konnte gezeigt werden, dass die Aktivierung des trigeminalen Systems zu einer Sensibilisierung des zweiten Neurons führt, welches Afferenzen aus dem Nackenbereich führt. Dieser Mechanismus könnte ein Teil der Weiterleitung von Schmerz vom trigeminalen System zu zervikalen Strukturen sein. Eine Zusammenführung und Interaktion zwischen tiefen Afferenzen und Hautafferenzen scheint

eine Eigenschaft der somatosensiblen Neurone im Thalamus und somatosensiblen Cortex zu sein. Die Pathophysiologie von der ansteigenden Empfindlichkeit bis hin zur zentralen Sensibilisierung ist unbekannt. Ein möglicher Mechanismus könnte eine supraspinale Hemmung der nozizeptiven Reizweiterleitung im Hinterhorn aufgrund einer serotonergen Dysfunktion sein. Im sensibilisierten Zustand stimulieren die A- $\beta$ -Fasern, welche normalerweise die A- $\delta$ - und C-Fasern durch präsynaptische Mechanismen im Hinterhorn hemmen, die nozizeptiven zweiten und dritten Neurone. Zusätzlich werden die rezeptiven Felder des Hinterhorns vergrößert. Der nozizeptive Informationsfluss zu den supraspinalen Strukturen wird hierdurch um Einiges erhöht, was möglicherweise zu einer gesteigerten Erregbarkeit supraspinaler Neurone führt, ebenso wie eine verminderte Hemmung oder Fazilitation der nozizeptiven Reizweiterleitung im spinalen Hinterhorn. Dies könnte eine generalisierte Überempfindlichkeit hervorrufen.

Sessle et al. zogen den Schluss, dass wiederkehrende Reize von den Muskeln aus der Kopfgregion bei Patienten mit gelegentlichen episodischen Kopfschmerzen eine Erhöhung der Empfindlichkeit des 2. Neurons im Nucl. caudalis N. trigemini und dem Hinterhorn des cervikalen Rückenmarks verursachen könnte. Es könnte sich daraus ein episodischer Kopfschmerz vom Spannungstyp entwickeln. Ständige Reize verursachen bei solchen Patienten eine erhöhte Empfindlichkeit des 3. Neurons im Thalamus und des somatosensorischen Cortex. Aufgrund dessen könnten die Patienten einen chronischen Kopfschmerz vom Spannungstyp und daraufhin eine generalisierte Hyperalgesie entwickeln. Die Erfahrung mit endogenem Schmerz könnte also die Schmerzschwelle senken. Hierbei muss der endogene Schmerz, also der chronifizierte Schmerz (= pathologische chronische Schmerzempfindung), der dort untersucht wurde, vom exogenen, nozizeptiven Schmerz (= physiologische Schutzfunktion) unterschieden werden, der Gegenstand der vorliegenden Untersuchung ist. Die oben beschriebenen Vorgänge können prinzipiell reversibel sein. Es könnte sogar möglich sein, eine umgekehrte Wirkung zu erzielen: die Erfahrung mit exogenem Schmerz könnte die Schmerz-



schwelle anheben.

Im Folgenden soll auf die spezifischen physiologischen Mechanismen des Abhärtungstrainings eingegangen werden. In der Gruppe ohne Abhärtung wurde zum Zeitpunkt U2 eine erniedrigte Schmerzschwelle gemessen. Dies könnte bedeuten, dass die Probanden aus der Kung-Fu-Trainingsgruppe besser adaptieren. Die Ursache könnte in einer Habituation von Transmittersystemen liegen. Ebenso kommt eine Ausschüttung von Substance P in Frage. Peripher ist eine Erschöpfung des Systems der C-Fasern möglich. Eine zentrale Habituation kann über die kortikale Plastizität erklärt werden (Pleger et al., 2006; Wang et al., 2006). Im somatosensorische Kortex werden Informationen zu der Intensität und der Lokalisation von Schmerzen verarbeitet. Es ist wahrscheinlich, dass neben dieser Struktur auch Areale, die die affektiv-motivationalen Aspekte von Schmerzen vermitteln, an der Etablierung einer Habituation beteiligt sind. Hier geht es primär um die Bewertung des Schmerzerlebens, die in dem anterioren Teil des cingulären Kortex sowie dem Inselkortex stattfindet. Es ist bei der vorliegenden Arbeit zu berücksichtigen, dass hier die affektive Bewertung von Schmerz verändert ist: es ist unter anderem ein Ziel von Kampfkünstlern, Schmerz auszuhalten (Rainville et al., 2005, Bertolotti et al., 2003). Auch liegt die Vermutung nahe, dass ein erheblicher Teil von Autosuggestion beim Abhärtungstraining Einfluss auf das Schmerzempfinden nimmt (Seminowicz et Davis, 2006).

Durch Schläge gegen die Knochenhaut der Extremitäten werden teilweise morphologische (wahrscheinlich reversible) Schäden an Rezeptoren und Nervengewebe verursacht. Es stellen sich Gewebeveränderungen (z.B. Kalzifizierung und Fibrosierung) ein. Dies hat dann ebenfalls eine geringere Schmerzwahrnehmung zur Folge. Dies wurde sogar für Elemente der Kampfkunst ohne Abhärtungstraining gezeigt. So wurde in verschiedenen Studien nachgewiesen, dass regelmäßiges Tai-Chi-Training (ein Bestandteil des Kung-Fu-Trainings, das sog. „Schattenboxen“), welches ohne Abhärtungstraining durchgeführt wird, den Gesundheitszu-

---

stand bei den Probanden signifikant verbessert. Untersucht wurden hierbei die Herz-Lungenfunktion, das Immunsystem, die geistige Kontrolle, Flexibilität und Gleichgewichtskontrolle. Die Ausübung des Tai Chi verbesserte hier die Muskelkraft und reduzierte die Sturzneigung bei älteren Personen (Li et al., 2001).

### 5.3 Kritische Betrachtung dieser Arbeit

Bei der Interpretation der Daten dieser Arbeit müssen die folgenden Aspekte kritisch berücksichtigt werden.

Personen, die eine Kampfkunst betreiben, erwarten, dass sie schmerzunempfindlicher sind, da das Training und also auch das Abhärtungstraining auf das Erreichen von weniger Schmerzempfinden ausgelegt ist. Ebenso ist eine solche Untersuchung bei Widerwillen nicht möglich, die Motivation zum 14-tägigen Abhärtungstraining sowie die Compliance bei den Messungen sind daher als sehr hoch zu bewerten. Hieraus folgt, dass Schmerz, der in einem anderen Kontext (zum Beispiel bei Krankheit) als unangenehm empfunden würde, in diesem Setting positiver gewertet wird.

Bei der Durchführung des 14-tägigen Abhärtungstraining zu Hause kann es eine unterschiedliche Auslegung der Abhärtungsanweisung gegeben haben, da nicht gemessen werden konnte, wieviel Newton pro Schlag, also Größe der Krafteinwirkung ( $1 \text{ N} = 1 \text{ kg} \cdot \text{m/s}^2$ ), von den jeweiligen Probanden an sich selber angewendet wurde. Somit ist die Einflussgröße nur begrenzt standardisiert eingesetzt worden.

Zusätzlich könnte Einfluss gehabt haben, was die Probanden zwischen den Messzeitpunkten U1 und U2 an sonstiger Abhärtung erlebt haben (z.B. Tritte bei anderen sportlichen Betätigungen wie Fußballspiel etc.).

Ein wichtiger Punkt ist die Subjektivität der Messungen, da die Schwellenangaben der Probanden mündlich erfolgten. Es ist bekannt, dass Schmerzschwellenmessungen bei Männern zum Beispiel von dem Geschlecht des Untersuchers abhängen (Gijsbers und Nicholson, 2005). Da wir eine homogene Geschlechtsverteilung sowohl in der Probandengruppe als auch in der Kontrollgruppe bei

gleichbleibendem Geschlecht der Untersucherin hatten, kann hier allenfalls ein geringfügiger systematischer Fehler vorliegen, der auf unsere Vergleichsanalysen keinen statistischen Einfluss hat.

Ebenso können erhebliche Schwankungen bei der Bewertung der Schmerzschwellen auftreten (Lund et al., 2005; Meredith et al., 2006).

Der M. masseter repräsentiert nur das Versorgungsgebiet des 2. und 3. Astes des N. trigeminus, daher sind nur bedingt Rückschlüsse auf die Klinik, z.B. idiopathische Kopfschmerzen, die über den 1. Ast des N. trigeminus vermittelt werden, möglich.

Bei den untersuchten Personen spielt die unterschiedliche Hautdicke und unterschiedliche Hautbeschaffenheit eine Rolle auf die Weiterleitung des durch die Oberflächenelektroden applizierten Stromreizes.

Bei der vorliegenden Arbeit kann das Auftreten von Entscheidungsfehlern nicht ausgeschlossen werden. Dies gilt für den Rosenthal-Effekt, bei dem die Leistung der Testpersonen abhängig ist von den Eigenschaften, die der Versuchsleiter ihnen zuschreibt: hier wurden die Kung-Fu-Personen von vornherein als weniger schmerzempfindlich eingeschätzt als die Kontrolle. Ebenso gehört hierzu der Halo-Effekt, bei dem davon ausgegangen wird, dass bestimmte Eigenschaften mit anderen Eigenschaften einhergehen. Der Hawthorne-Effekt, also die Tatsache, dass Menschen besser arbeiten, wenn sie wissen, dass sie beobachtet werden, kann ebenso die Messergebnisse beeinflusst haben, da die Versuchspersonen wie oben bereits beschrieben eine hohe Compliance aufwiesen und selbst an einem für sie positiven Versuchsergebnis interessiert waren.

## 5.4 Forschungsimplikationen

Folgend muss weiter untersucht werden, ob bei den vorliegenden Ergebnissen eine weitere Differenzierung möglich ist. Die Ursache der festgestellten Effekte der Veränderung der Schmerzreizschwelle können im Hirnstamm oder zentral liegen. Hier wäre eine weiterführende Studie mit bildgebenden Verfahren notwendig. Durch eine Untersuchung mittels funktioneller MRT des Schädels wäre eine genauere Lokalisation der hier beobachteten Effekte möglich.

Ebenso schließt sich die Überlegung an, ob die Intensität des Abhärtungstrainings einen Einfluss auf die Analgesie hat. Hier müsste die Kraftanwendung während des Trainings genauer definiert werden können, und es müssten zwei Gruppen gebildet werden, die eine unterschiedliche Abhärtung durchführen. Weiterhin könnte eine solche Studie über einen längeren Zeitraum durchgeführt werden, um festzustellen, ob es eine Art Abhärtungsplateau gibt oder der Effekt der Abhärtung im Zeitverlauf stetig zunimmt.

Im Anschluss stellt sich folgende Frage: kann man durch systematisches Abhärtungstraining auch bei Patienten mit chronischen Schmerzen eine Erhöhung der Schmerzreizschwelle erreichen? Durch die Erniedrigung der Schmerzreizschwelle haben diese Patienten vermutlich eine erhöhte Empfindlichkeit des 3. Neurons im Thalamus und des somatosensorischen Cortex. Dadurch können endogene Reize, die das zentrale Nervensystem erreichen, nicht adäquat verarbeitet werden. Es wäre möglich, dass das Zufügen von exogenen Reizen, die eine physiologische Schutzfunktion darstellen und auch eine physiologische Reaktion erzeugen würden, der Chronifizierung und pathologischen Veränderung der Schmerzreizschwelle entgegenwirken könnte. Hierzu müsste eine Studie mit Schmerzpatienten und gesunden Kontrollen angeschlossen werden.

## 6 Zusammenfassung

In den letzten Jahren ist die Frage in den Mittelpunkt der Schmerzforschung gerückt, wie sich Schmerzbahnung und Schmerzhemmung gegenseitig beeinflussen und wie diese Phänomene gemessen werden können. Einige asiatische Kampfkunstarten, wie z. B. Kung Fu, arbeiten mit repetitiv durchgeführten antinozizeptiven Übungen zur verminderten Schmerzwahrnehmung. Diese Übungen können ein Modell bilden, um eine exogen erworbene Hypalgesie zu untersuchen. Diese Arbeit stellt die Frage, ob das Trainieren von Analgesie zu veränderten peripheren und trigeminalen Schmerzschwellen und damit zu einer Veränderung von Schmerzfazilitation und Schmerzinhibition führt.

In die experimentelle Untersuchung wurden 30 gesunde Probanden eingeschlossen. Diese wurden in 2 Gruppen unterteilt: die 15 Probanden hatten ein 14-tägiges Abhärtungstraining zu absolvieren, die 15 Kontrollpersonen nicht. Zu Anfang (U1) und nach Ablauf (U2) des Abhärtungstrainings wurden die Personen untersucht. Es wurden die Sensibilitäts- und Schmerzreizschwellen am M. tibialis anterior und am M. masseter gemessen. Beide Schwellen waren sowohl bei den Probanden als auch bei den Kontrollen am M. masseter signifikant niedriger.

Wir fanden einen Trend, dass die Probanden eine im Zeitverlauf durchschnittlich höhere Schmerzreizschwelle als die Kontrollen hatten. Dies könnte bedeuten, dass die Probanden aus der Kung-Fu-Trainingsgruppe besser adaptieren.

Die Ursache könnte in einer Habituation von Transmittersystemen oder einer Ausschüttung von Substance P liegen. Peripher ist eine Erschöpfung des Systems der C-Fasern denkbar. Eine zentrale Habituation ist durch die kortikale Plastizität möglich. Der Vergleich der Messdaten am M. masseter zum Zeitpunkt U1 und U2 bei den Kontrollen zeigt, dass die Schmerzreizschwelle sinkt und die Schmerzstärke sinkt, aber weniger ausgeprägt als bei den Probanden. Dies könnte ein Hinweis darauf sein, dass das Abhärtungstraining auch auf das trigeminale System Einfluss nimmt. Dauernder nozizeptiver (= physiologischer) Schmerzreiz führt möglicherweise auch im Hirnstamm zu einer Habituation.

## 7 Literaturverzeichnis

1. Allais G, De Lorenzo C, Quirico P E, Lupi G, Airola G, Mana O, Bendetto C  
**Non-pharmacological approaches to chronic headaches: transcutaneous electrical nerve stimulation, lasertherapy and acupuncture in transformed migraine treatment**  
*Neurol Sci.* 2003;24 Suppl 2:138-42
2. Al-Saadi M H, Nadeau V, Dickinson M R  
**A novel modelling and experimental technique to predict and measure tissue temperature during CO<sub>2</sub> laser stimuli for human pain studies**  
*Lasers Med Sci.* 2006;21:95-100
3. Akerman S, Kaube H, Goadsby P J  
**Anandamide is able to inhibit trigeminal neurons using an in vivo model of trigeminovascular-mediated nociception**  
*J Pharmacol Exp Ther.* 2004;309:56-63
4. Andrasik F  
**Behavioral treatment approaches to chronic headache**  
*Neurol Sci.* 2003;24 Suppl 2:80-5
5. Astin, J A  
**Mind-body therapies for the management of pain**  
*Clin J Pain.* 2004;20:27-32
6. Ashina S, Bendtsen L, Ashina M, Magerl W, Jensen R  
**Generalized hyperalgesia in patients with chronic tension-type headache**  
*Cephalalgia.* 2006;26:940-8

7. Ashina S, Jensen R, Bendtsen L  
**Pain sensitivity in pericranial and extracranial regions**  
*Cephalalgia*. 2003;23:456-62
8. Ayzenberg I, Obermann M, Nyhuis P, Gastpar M, Limmroth V, Diener HC, Kaube H, Katsarava Z  
**Central sensitization of the trigeminal and somatic nociceptive systems in medication overuse headache mainly involves cerebral supraspinal structures.**  
*Cephalalgia*. 2006;26:1106-14.
9. Baumgärtner U, Magerl W, Klein T, Hopf HC, Treede RD  
**Neurogenic hyperalgesia versus painful hypoalgesia: two distinct mechanisms of neuropathic pain**  
*Pain*. 2002 Mar;96(1-2):141-51
10. Bertolotti G, Vidotto G, Sanavio E, Frediani F  
**Psychological and emotional aspects and pain**  
*Neurol Sci*. 2003;24 Suppl 2:71-5
11. Borsook D, Burstein R, Moulton E, Becerra L  
**Functional imaging of the trigeminal system: applications to migraine pathophysiology**  
*Headache*. 2006 Jun;46 Suppl 1:S32-8
12. Breivik E K, Björnsson G, Skovlund, E  
**A comparison of pain rating scales by sampling from clinical trial data**  
*Clin J Pain*. 2000;16:22-8



13. Busch V, Frese A, Bartsch T  
**The trigemino-cervical complex. Integration of peripheral and central pain mechanisms in primary headache syndromes**  
*Schmerz.* 2004;18:404-10. Review
14. Cathcart S, Pritchard D  
**Reliability of pain threshold measurement in young adults**  
*J Headache Pain.* 2006;7:21-6
15. Cork R C, Isaac I, Elsharydah A, Saleemi S, Zavisca F, Alexander L  
**A Comparison Of The Verbal Rating Scale And The Visual Analog Scale For Pain Assessment**  
*The Internet Journal of Anesthesiology* 2004; Vol. 8 Number 1
16. Defrin R, Shachal-Shiffer M, Hadgadg M, Peretz C  
**Quantitative Somatosensory Testing of Warm and Heat-Pain Thresholds: The Effect of Body Region and Testing Method**  
*Clin J Pain.* 2006;22:130-6
17. Derbyshire S W G, Whalley M G, Stenger V A, Oakley D A  
**Cerebral activation during hypnotically induced and imagined pain**  
*Neuroimage.* 2004;23:392-401
18. Donat H, Ozcan A, Ozdirenc M, Aksakoglu G, Aydinoglu S  
**Age-related changes in pressure pain threshold, grip strength and touch pressure threshold in upper extremities of older adults**  
*Aging Clin Exp Res.* 2005;17:380-4

20. Eide PK, Rabben T  
**Trigeminal neuropathic pain: pathophysiological mechanisms examined by quantitative assessment of abnormal pain and sensory perception**  
*Neurosurgery*. 1998 Nov;43(5):1103-10
21. Ferretti A, Del Gratta C, Babiloni C, Caulo M, Arienzo D, Tartaro A, Rossini PM, Romani GL  
**Functional topography of the secondary somatosensory cortex for nonpainful and painful stimulation of median and tibial nerve: an fMRI study**  
*Neuroimage*. 2004 Nov;23(3):1217-25
22. Flor H, Elbert T, Knecht S, Wienbruch C, Pantev C, Birbaumer N, Larbig W, Taub E  
**Phantom-limb pain as a perceptual correlate of cortical reorganization following arm amputation**  
*Nature*. 1995;8;375:482-4
23. Frese A, Schilgen M, Husstedt I W, Evers S  
**Pathophysiology and clinical manifestation of cervicogenic headache**  
*Schmerz*. 2003;17:125-30. Review
24. Gijsbers K, Nicholson F  
**Experimental pain thresholds influenced by sex of experimenter**  
*Percept Mot Skills*. 2005;101:803-7
25. Gralow I, Husstedt I W, Bothe H W, Evers S, Hürter A, Schilgen M  
**Schmerztherapie interdisziplinär**  
1. Auflage 2002, Schattauer GmbH, Stuttgart

- 
27. Griffin N J, Kaube H  
**The electrophysiology of migraine**  
*Curr Opin Neurol.* 2002;15:303-9
28. Henderson LA, Bandler R, Gandevia SC, Macefield VG  
**Distinct forebrain activity patterns during deep versus superficial pain**  
*Pain.* 2006;120:286-96
29. Joseph E K, Levine J D  
**Mitochondrial electron transport in models of neuropathic and inflammatory pain**  
*Pain.* 2006;121:105-14
30. Jensen M T, Petersen K L  
**Gender differences in pain and secondary hyperalgesia after heat/capsaicin sensitization in healthy volunteers**  
*J Pain.* 2006;7:211-7
31. Jones A, Zachariae R, Arendt-Nielsen L  
**Dispositional anxiety and the experience of pain: gender-specific effects**  
*Eur J Pain.* 2003;7:387-95
32. Katsarava Z, Ellrich J, Diener H C, Kaube H  
**Optimized stimulation and recording parameters of human ,nociception specific' blink reflex recordings**  
*Clin Neurophysiol.* 2002;113:1932-6

33. Katsarava Z, Griffin N J, Diener H-C, Kaube H  
**Abnormal habituation of ,nociceptive‘ blink reflex in migraine – evidence for increased excitability of trigeminal nociception**  
*Cephalalgia*. 2003;23:814-9
34. Katsarava Z, Lehnerdt G, Duda B, Ellrich J, Diener H-C, Kaube H  
**Sensitization of trigeminal nociception specific for migraine but not pain of sinusitis**  
*Neurology*. 2002;12;59:1450-3
35. Katsarava Z, Limmroth V, Baykal O, Akguen D, Diener H-C, Kaube H  
**Differences of anti-nociceptive mechanisms of migraine drugs on the trigeminal pain processing during and outside acute migraine attacks**  
*Cephalalgia*. 2004;24:657-62
36. Katz DB, Simon SA, Moody A, Nicoletis MA  
**Simultaneous reorganization in thalamocortical ensembles evolves over several hours after perioral capsaicin injections**  
*J Neurophysiol*. 1999 Aug;82(2):963-77
37. Kaube H, Katsarava Z, Przywara S, Drepper J, Ellrich J, Diener H-C  
**Acute migraine headache – possible sensitization of neurons in the spinal trigeminal nucleus?**  
*Neurology*. 2002;23;58:1234-8
38. Knecht S, Henningsen H, Elbert T, Flor H, Hohling C, Pantev C, Birbaumer N, Taub E  
**Cortical reorganization in human amputees and mislocalization of painful stimuli to the phantom limb**  
*Neurosci Lett*. 1995;15;201:262-4

39. Koh C W, Drummond P D  
**Dissociation between pain and the nociceptive blink reflex during psychological arousal**  
*Clin Neurophysiol.* 2006;117:851-4
40. Kuo M F, Paulus W, Nitsche M A  
**Sex differences in cortical neuroplasticity in humans**  
*Neuroreport.* 2006;6;17:1703-7
41. Lee Kam Wing  
**The Secret of Seven-Star Mantis Style**  
*Fuk Lam Book Co., 2003*
42. de Leeuw R, Albuquerque R J C, Andersen A H, Carlson C R  
**Influence of Estrogen on Brain Activation During Stimulation With Painful Heat**  
*J Oral Maxillofac Surg.* 2006;64:158-66
43. Li J, Simone DA, Larson AA  
**Windup leads to characteristics of central sensitization**  
*Pain* 1999; 79:75–82
44. Li J X, Hong Y, Chan K M  
**Tai chi: physiological characteristics and beneficial effects on health**  
*Br J Sports Med.* 2001;35:148-56
45. Liu XG, Morton CR, Azkue JJ, Zimmermann M, Sandkühler J  
**Long-term depression of C-fibre-evoked spinal field potentials by stimulation of primary afferent A delta-fibres in the adult rat**  
*Eur J Neurosci.* 1998 Oct;10(10):3069-75

46. Lorenz J, Hauck M, Paur R C, Nakamura Y, Zimmermann R, Bromm B, Engel, A K  
**Cortical correlates of false expectations during pain intensity judgments – a possible manifestation of placebo/nocebo cognitions**  
*Brain Behav Immun.* 2005;19:283-95
47. Luis-Delgado O E, Barrot M, Rodeau J L, Schott G, Benbouzid M, Poisbeau P, Freund-Mercier M J, Lasbennes F  
**Calibrated Forceps: A Sensitive and Reliable Tool for Pain and Analgesia Studies**  
*J Pain.* 2006;7:32-9
48. Lund I, Lundeberg T, Kowalski J, Sandberg L, Budh C N, Svensson E  
**Evaluation of variations in sensory and pain threshold assessments by electrocutaneous stimulation**  
*Physiother Theory Pract.* 2005;21:81-92
49. Magerl W, Treede RD  
**Secondary tactile hypoesthesia: a novel type of pain-induced somatosensory plasticity in human subjects**  
*Neurosci Lett.* 2004 May 6;361(1-3):136-9
50. Mano T, Iwase S, Toma S  
**Microneurography as a tool in clinical neurophysiology to investigate peripheral neural traffic in humans**  
*Clin Neurophysiol.* 2006;117:2357-84
51. McCarson K E, Duric V, Reisman S A, Winter M, Enna S J  
**GABA<sub>B</sub> receptor function and  $\alpha$  subunit expression in the rat spinal cord as indicators of stress and the antinociceptive response to antidepressants**  
*Brain Res.* 2006;1068:109-17

52. Melchart D, Strang A, Hoppe A, Jürgens S, Weidenhammer W, Linde K  
**Akupunktur bei chronischen Schmerzen**  
*Dtsch Arztebl* 2006;103:187-195
53. Melz S, Thorwesten L, Völker K  
**Changes in Postural control and Proprioceptive capabilities after Kung Fu Training Program in Low Back Patients**  
*Proceedings of XXth International Symposium on Biomechanics in Sports. Hrsg.: Kostas E. Giankellis, Universidad de Extremadura, Spain (2002);547-550*
54. Melzack R  
**The McGill Pain Questionnaire**  
*Anesthesiology*. 2005;103:199-202
55. Meredith P J, Strong J, Feeney J A  
**The relationship of adult attachment to emotion, catastrophizing, control, threshold and tolerance, in experimentally-induced pain**  
*Pain*. 2006;120:44-52
56. Ohara P T, Vit J P, Jasmin L  
**Cortical modulation of pain**  
*Cell Mol Life Sci*. 2005;62:44-52
57. Peter B  
**Möglichkeiten und Grenzen der Hypnose in der Schmerzbehandlung**  
*Schmerz* 1998;12:179-186
58. Pilowsky I, Katsikitis M  
**A classification of illness behaviour in pain clinic patients**  
*Pain*. 1994;57:91-4

59. Pleger B, Ragert P, Schwenkreis P, Forster A F, Wilimzig C, Dinse H, Nicolas V, Maier C, Tegenthoff M  
**Patterns of cortical reorganization parallel impaired tactile discrimination and pain intensity in complex regional pain syndrome**  
*Neuroimage. 2006;15;32:503-10*
60. Poeck K, Hacke W  
**Neurologie**  
*11. überarb. Auflage 2001, Springer Verlag*
61. Pud D, Sapir S  
**The effects of noxious heat, auditory stimulation, a cognitive task, and time on task on pain perception and performance accuracy in healthy volunteers: A new experimental model**  
*Pain. 2006 ;120:155-60*
62. Rainville P, Bao Q V H, Chrétien P  
**Pain-related emotions modulate experimental pain perception and autonomic responses**  
*Pain. 2005;118:306-18*
63. Rexed B  
**The cytoarchitectonic organization of the spinal cord in the cat**  
*J Comp Neurol 1952;96:415-495*
64. Rhudy J L, Williams A E, McCabe K M, Nguyen M A, Rambo P  
**Affective modulation of nociception at spinal and supraspinal levels**  
*Psychophysiology. 2005;42:579-87*



63. Rühle B S, Handwerker H O, Lennerz J K M, Ringler R, Forster C  
**Brain Activation during Input from Mechanoinsensitive versus Polymodal C-Nociceptors**  
*J Neurosci.* 2006;26:5492-9
64. Rolke R, Andrews Campbell K, Magerl W, Treede RD  
**Deep pain thresholds in the distal limbs of healthy human subjects**  
*Eur J Pain.* 2005 Feb;9(1):39-48
65. Rolke R, Baron R, Maier C, Tölle TR, Treede RD, Beyer A, Binder A, Birbaumer N, Birklein F, Bötefür IC, Braune S, Flor H, Hüge V, Klug R, Landwehrmeyer GB, Magerl W, Maihöfner C, Rolko C, Schaub C, Scherens A, Sprenger T, Valet M, Wasserka B  
**Quantitative sensory testing in the German Research Network on Neuropathic Pain (DFNS): standardized protocol and reference values**  
*Pain.* 2006 Aug;123(3):231-43
66. Schmelz M, Schmidt R, Weidner C, Hilliges M, Torebjork HE, Handwerker HO  
**Chemical response pattern of different classes of C-nociceptors to pruritogens and algogens**  
*J Neurophysiol.* 2003;89:2441-8
67. Schmidt R, Schmelz M, Forster C, Ringkamp M, Torebjork E, Handwerker H  
**Novel classes of responsive and unresponsive C nociceptors in human skin**  
*J Neurosci.* 1995;15:333-41

68. Segerdahl M  
**Multiple dose gabapentin attenuates cutaneous pain and central sensitisation but not muscle pain in healthy volunteers**  
*Pain* 2006;125:158-64
69. Seminowicz D A, Davis K D  
**Cortical responses to pain in healthy individuals depends on pain catastrophizing**  
*Pain*. 2006;120:297-306
70. Sessle B J  
**Acute and chronic craniofacial pain: brainstem mechanisms of nociceptive transmission and neuroplasticity, and their clinical correlates**  
*Crit Rev Oral Biol Med*. 2000;11:57-91. Review
71. Sessle B J, Hu J W, Amano N, Zhong G  
**Convergence of cutaneous, tooth pulp, visceral, neck and muscle afferents onto nociceptive and non-nociceptive neurones in trigeminal subnucleus caudalis (medullary dorsal horn) and its implications for referred pain**  
*Pain*. 1986;27:219-35
72. Shibasaki H  
**Central mechanisms of pain perception**  
*Suppl Clin Neurophysiol*. 2004;57:39-49
73. DaSilva AF, Becerra L, Makris N, Strassman AM, Gonzalez RG, Geatrakis N, Borsook D  
**Somatotopic activation in the human trigeminal pain pathway**  
*J Neurosci*. 2002 Sep 15;22(18):8183-92

74. Soros P, Knecht S, Bantel C, Imai T, Wusten R, Pantev C, Lutkenhoner B, Burkle H, Henningsen H  
**Functional reorganization of the human primary somatosensory cortex after acute pain demonstrated by magnetoencephalography**  
*Neurosci Lett.* 2001;298:195-8
75. Sumikura H, Miyazawa A, Yucel A, Andersen O K, Arendt-Nielsen L  
**Secondary heat hyperalgesia detected by radiant heat stimuli in humans: evaluation of stimulus intensity and duration**  
*Somatosens Mot Res.* 2005;22:233-7
76. Summ O, Colak-Ekici R, Dirkwinkel M, Gierse-Plogmeier B, Wolowski A, Evers S  
**Sex differences in the trigeminal and peripheral pain perception**  
*Cephalalgia* 2007; 27: 610
77. Suzuki R, Rahman W, Rygh L J, Webber M, Hunt S P, Dickenson A H  
**Spinal-supraspinal serotonergic circuits regulating neuropathic pain and its treatment with gabapentin**  
*Pain.* 2005 ;117:292-303
78. Svensson P, Arendt-Nielsen L, Nielsen H, Larsen JK  
**Effect of chronic and experimental jaw muscle pain on pain-pressure thresholds and stimulus-response curves**  
*J Orofac Pain.* 1995 Fall;9(4):347-56
79. de Tommaso M, Libro G, Guido M, Losito L, Lamberti P, Livrea P  
**Habituation of single CO<sub>2</sub> laser-evoked responses during interictal phase of migraine**  
*J Headache Pain.* 2005;6:195-8

80. de Tommaso M, Guido M, Libro G, Losito L, Scirucchio V, Monetti C, Puca F  
**Abnormal brain processing of cutaneous pain in migraine patients during the attack**  
*Neurosci Lett.* 2002;333:29-32
81. Uchiyama K, Kawai M, Tani M, Ueno M, Hama T, Yamaue H  
**Gender differences in postoperative pain after laparoscopic cholecystectomy**  
*Surg Endosc.* 2006;20:448-51
82. Valeriani M, Le Pera D, Restruccia D, De Armas L, Maiese T, Tonali P, Vigevano F, Arendt-Nielsen L  
**Segmental inhibition of cutaneous heat sensation and of laser-evoked potentials by experimental muscle pain**  
*Neuroscience.* 2005;136:301-9
83. Valeriani M, Tonali P, Le Pera D, Restuccia D, De Armas L, Del Vesco C, Miliucci R, Fiaschi A, Vigevano F, Arendt-Nielsen L, Tinazzi M  
**Modulation of laser-evoked potentials by experimental cutaneous tonic pain**  
*Neuroscience.* 2006;140:1301-10
84. Veldhuijzen D S  
**Pain and Attention: A Discussion of Two Studies**  
*J Pain* 2006;7:31
85. Wang L, Chen A C, Arendt-Nielsen L  
**Cortical plasticity: effect of high and low intensity conditioning electrical stimulations (100 Hz) on SEPs to painful finger stimulation**  
*Clin Neurophysiol.* 2006;117:1075-84

- 
86. Wager T D, Matre D, Casey K L  
**Placebo effects in laser-evoked pain potentials**  
*Brain Behav Immun.* 2006;20:219-30
87. Weber M  
**Schmerzerfassung bei invasiven diagnostischen Prozeduren**  
*Der Schmerz* 2005;Auszg. 19, Bd. 6:513 - 520
88. Wei H, Pertovaara A  
**5-HT<sub>1A</sub> receptors in endogenous regulation of neuropathic hypersensitivity in the rat**  
*Eur J Pharmacol.* 2006;535:157-65
89. Weidner C, Schmelz M, Schmidt R, Hansson B, Handwerker HO, Torebjork HE  
**Functional attributes discriminating mechano-insensitive and mechano-responsive C nociceptors in human skin**  
*J Neurosci.* 1999;19:10184-90
90. You H-J, Cao D-Y, Yuan B, Arendt-Nielsen L  
**Sex differences in the responses of spinal wide-dynamic range neurons to subcutaneous formalin and in the effects of different frequencies of conditioning electrical stimulation**  
*Neuroscience.* 2006;138:1299-307

## 8 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: *Arten von Nervenfasern*

aus: <http://www.studentenlabor.de/>

Abbildung 2: *Rezeptoren der Axonterminale*

Schmidt, Lang, Thews

**Physiologie des Menschen (29. Auflage)**

Springer Medizin Verlag, Heidelberg (2005)

Abbildung 3: *Auf- und absteigende Bahnen*

Schmidt, Lang, Thews

**Physiologie des Menschen (29. Auflage)**

Springer Medizin Verlag, Heidelberg (2005)

Abbildung 4 *Trigeminovasculäre Afferenzen aus den meningealen Gefäßen*

und 5: Goadsby, Peter J.; Lipton, Richard B.; Ferrari, Michel D.

**Drug Therapy: Migraine - Current Understanding and Treatment**

*N Engl J Med.* 2002;346:257-70

Abbildung 6: *Komponenten der Schmerzwahrnehmung*

Birgit Matejka

**Schmerzen hinterlassen Spuren im Gehirn - Komponenten der Schmerzwahrnehmung**

<http://www.aerztlichepraxis.de/img/neurologie/gehirn160306.pdf>

Abbildung 7: *Beispiel für eine Abhärtungsübung*

M. Dirkwinkel

*Abbildung 8: VAS*

M. Dirkwinkel

*Abbildung 9: Platzierung der Elektroden*

M. Dirkwinkel









## 10 Danksagung

Für den erfolgreichen Abschluss der vorliegenden Arbeit schulde ich vielen Menschen meinen herzlichen Dank.

An erster Stelle möchte ich meinem Doktorvater Herrn Professor Dr. med. Dr. phil. Stefan Evers für die sehr gute Betreuung danken. Er hat mir viel Geduld und Vertrauen entgegengebracht und mich durch seine Diskussionsbereitschaft und seine wertvollen Ratschläge stets motiviert.

Weiterhin möchte ich mich bei Herrn Dr. med. Martin Marziniak für die Mitbetreuung meiner Arbeit bedanken.

Ebenso gilt mein Dank meinen motivierten Probandinnen und Probanden, die die Arbeit durch ihre Mitarbeit unterstützt haben.

Ich bedanke mich bei Herrn Prof. Dr. med. E. B. Ringelstein für die Möglichkeit der Erstellung einer Doktorarbeit in seiner Klinik und für die Nutzung der Räumlichkeiten und der technischen Geräte.

Meiner Familie, insbesondere meiner Mutter, möchte ich für die Unterstützung während der Erstellung dieser Arbeit danken, ebenso meiner Kollegin und Freundin Dr. med. Claudia Steur.



---

## **11 Anhang**

Messergebnisse der Probanden und Kontrollen

Daten der Internetbefragung

Messdaten der Probandengruppe Teil I																		
M. tibialis anterior																		
Proband	Sensorische Schwelle (mA)			Schmerzschwelle (mA)			3fache Schmerzschwelle (mA)			VAS bei 3facher Schmerzschwelle (cm)			VAS beim 1. Train mit 1,5facher Schmerzschwelle (cm)			VAS beim 2. Train mit 1,5facher Schmerzschwelle (cm)		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Messung	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1 LS-P	1,4	0,4	1,5	6,8	4,6	6,8	14,4	13,8	14,2	2,2	2,2	2,2	2,6	2,3	2,6	1,7	3,1	2,2
2 BE-P	2,8	1,3	2,6	6,4	8,4	12,4	19,2	25,2	37,2	1,6	1,6	1,6	1,8	3,2	1,8	1,7	1,8	2,0
3 DC-P	2,2	2,2	1,9	7,0	13,4	11,2	21,0	40,2	33,6	1,1	0,3	0,2	0,4	0,3	0,5	0,4	0,4	0,4
4 DM-P	1,6	2,0	1,2	15,6	18,0	15,0	46,8	54,0	45,0	3,7	7,2	2,6	5,7	5,6	3,7	5,9	5,5	4,7
5 ET-P	1,7	1,7	2,0	4,4	6,2	7,8	13,2	18,6	23,4	3,0	2,4	2,4	2,4	3,7	2,8	2,7	1,8	1,9
6 FD-P	2,4	1,3	1,4	13,6	10,2	9,8	40,8	30,6	29,4	2,6	0,8	1,1	2,7	1,9	1,4	3,8	2,5	2,2
7 GN-P	0,0	1,9	1,3	0,0	8,4	8,2	0,0	25,2	24,6	0,0	4,1	4,1	4,1	0,0	3,0	3,2	0,0	2,7
8 KF-P	1,9	1,9	1,8	26,5	19,0	16,6	79,5	57,0	56,4	2,5	1,8	1,7	1,7	3,8	2,4	2,9	4,2	2,4
9 LF-P	1,4	1,5	1,6	12,6	16,6	13,4	37,8	49,8	40,2	0,5	1,6	1,9	1,9	1,6	2,1	1,7	2,1	2,0
10 MG-P	2,0	1,4	1,7	16,8	18,0	19,2	50,0	54,0	57,6	4,5	4,0	4,7	3,4	4,4	4,8	3,7	4,7	4,6
11 PA-P	9,6	1,1	2,0	12,2	7,0	12,0	36,6	21,0	36,0	3,3	5,2	4,9	4,5	4,5	3,9	4,4	5,6	5,1
12 RP-P	1,2	1,0	1,7	6,4	6,4	7,0	19,2	19,2	21,0	0,5	1,2	1,1	1,9	1,9	1,0	1,6	2,7	1,5
13 SN-P	0,0	2,2	1,8	0,0	15,6	7,8	0,0	47,5	23,4	0,0	5,1	1,2	0,0	2,9	0,7	0,0	1,7	0,5
14 WS-P	3,0	2,4	1,9	14,4	18,2	14,4	43,2	54,6	43,2	3,0	3,6	3,0	2,9	4,6	3,4	36,0	4,0	2,4
15 WA-P	1,5	1,9	2,0	13,6	10,6	10,2	40,8	31,8	30,6	1,6	0,5	0,4	1,3	0,4	0,4	1,0	0,3	0,6

Messdaten der Probandengruppe Teil II																		
M. masseter																		
Proband	Sensorische Schwelle (mA)			Schmerzwelle (mA)			3fache Schmerzschwelle (mA)			VAS bei 3facher Schmerzschwelle (cm)			VAS beim 1. Train mit 1,5facher Schmerzschwelle (cm)			VAS beim 2. Train mit 1,5facher Schmerzschwelle (cm)		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Messung																		
1 LS-P	1,0	0,9	1,3	2,0	2,4	4,6	6,0	7,2	13,8	3,9	4,4	5,9	3,1	2,5	5,0	3,6	2,5	5,0
2 BE-P	1,3	1,8	1,6	4,8	4,6	4,2	14,4	13,8	12,6	3,6	3,1	2,2	4,5	3,2	2,0	5,9	2,2	1,9
3 DC-P	1,7	1,4	1,6	4,4	3,4	6,2	13,2	10,2	18,6	2,1	0,3	0,7	1,7	0,3	0,5	1,7	0,3	0,5
4 DM-P	1,1	0,5	1,5	2,6	3,4	3,8	8,4	10,2	14,4	7,8	4,0	7,4	7,4	4,3	6,9	3,4	3,3	6,4
5 ET-P	0,4	1,1	1,2	2,6	4,8	2,6	7,8	14,4	7,8	3,2	3,6	2,3	2,1	2,5	1,8	2,4	3,5	1,8
6 FD-P	1,2	1,1	1,0	7,2	11,0	10,8	21,6	33,0	32,4	5,7	3,9	3,8	5,3	2,8	3,1	7,0	3,2	4,7
7 GN-P	0,6	0,7	1,4	5,6	4,8	4,8	16,8	14,4	14,4	6,5	6,2	6,1	5,1	4,7	7,1	5,2	4,1	5,9
8 KF-P	1,3	1,9	1,7	7,2	4,4	7,0	21,6	13,2	21,0	4,4	3,6	3,3	4,1	2,3	3,7	3,5	3,3	3,2
9 LF-P	1,1	0,6	0,5	5,0	5,6	5,6	15,0	17,4	17,4	3,0	2,8	3,4	2,8	2,1	2,3	2,5	2,4	2,8
10 MG-P	1,4	0,9	1,1	7,4	9,0	9,8	22,0	27,0	29,4	4,8	5,0	4,7	5,3	5,3	5,1	4,8	4,9	4,7
11 PA-P	0,9	1,2	1,1	3,8	9,8	8,8	14,4	29,5	26,4	6,3	5,4	5,8	7,0	5,7	5,4	7,8	5,0	5,5
12 RP-P	1,2	0,7	0,8	5,0	5,4	7,0	15,0	16,2	21,0	1,5	1,6	2,0	2,1	1,8	1,9	1,5	1,8	1,8
13 SN-P	0,7	0,6	1,1	2,6	1,6	3,6	7,8	4,8	11,4	6,2	5,3	4,7	5,5	2,4	2,7	5,3	1,1	2,8
14 WSP	2,2	1,5	1,1	6,4	13,4	11,6	19,2	40,2	34,8	4,8	6,6	5,9	3,6	4,4	5,8	3,0	5,6	5,2
15 WA-P	1,2	1,9	1,8	6,6	9,2	11,6	19,8	27,6	34,8	1,4	0,4	0,6	1,3	0,4	0,5	1,5	0,5	0,4

Messdaten der Kontrollgruppe Teil I																		
M. tibialis anterior																		
Proband	Sensorische Schwelle (mA)			Schmerzschwelle (mA)			3fache Schmerzschwelle (mA)			VAS bei 3facher Schmerzschwelle (cm)			VAS beim 1. Train mit 1,5facher Schmerzschwelle (cm)			VAS beim 2. Train mit 1,5facher Schmerzschwelle (cm)		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Messung	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
16 AM-K	1,3	1,1		9,0	6,8		27,0	10,4		1,6	1,1		1,5	0,7		1,9	0,8	
17 BC-K	1,3	1,1		5,0	5,0		15,0	15,0		6,7	6,7		5,3	3,7		4,3	5,0	
18 BJ-K	1,7	0,8		6,4	3,6		19,2	14,4		3,3	3,3		1,9	2,5		3,3	3,2	
19 BA-K	2,4	1,8		15,2	4,8		45,6	14,4		0,1	1,0		0,1	0,1		0,1	0,1	
20 DC-K	1,6	0,6		8,4	4,0		25,2	12,0		2,1	2,6		3,1	2,2		3,0	1,9	
21 WM-K	1,7	1,8		12,4	14,6		37,2	43,8		6,9	5,9		6,5	5,8		7,3	5,0	
22 LT-K	1,8	2,4		19,4	14,2		58,2	43,2		1,8	1,7		1,7	2,1		1,8	2,5	
23 GM-K	2,0	3,0		10,6	13,0		21,5	39,0		0,4	0,1		0,4	0,3		0,3	0,4	
24 RF-K	1,5	0,9		4,0	5,0		12,0	15,0		0,9	1,0		1,2	1,3		1,1	0,9	
25 LTI-K	1,7	1,3		6,6	4,0		19,8	12,0		1,0	0,6		1,6	0,6		1,8	1,0	
26 PE-K	0,7	0,3		2,8	3,2		6,4	12,6		1,8	2,6		0,9	1,8		1,4	0,5	
27 VE-K	1,7	1,1		13,2	2,6		39,5	8,4		1,6	2,5		3,7	1,5		3,1	1,4	
28 VM-K	3,4	0,6		6,6	4,8		19,8	14,4		0,9	1,5		0,7	2,2		0,5	1,9	
29 WD-K	1,8	0,8		6,4	1,7		19,2	5,2		0,2	0,3		1,2	0,5		2,7	0,4	
30 WS-K	0,7	1,1		3,4	4,6		10,2	13,8		3,6	6,2		4,9	4,2		5,2	4,6	

Messdaten der Kontrollgruppe Teil II																		
M. masseter																		
Proband	Sensorische Schwelle (mA)			Schmerzschwelle (mA)			3fache Schmerzschwelle (mA)			VAS bei 3facher Schmerzschwelle (cm)			VAS beim 1. Train mit 1,5facher Schmerzschwelle (cm)			VAS beim 2. Train mit 1,5facher Schmerzschwelle (cm)		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Messung																		
16 AM-K	0,9	0,7		4,4	1,8		13,2	5,4		3,1	1,4		1,8	1,7		1,6	1,3	
17 BC-K	0,9	1,0		1,5	4,8		4,5	14,4		3,4	5,7		3,3	5,6		4,5	5,6	
18 BJ-K	0,5	0,8		1,5	1,9		4,5	5,7		4,2	4,3		4,0	3,3		4,4	3,5	
19 BA-K	0,7	1,8		0,9	4,0		2,7	12,0		3,1	2,8		2,2	1,2		1,9	1,6	
20 DC-K	0,6	0,3		7,0	3,6		21,0	13,8		5,0	3,5		4,1	2,0		3,4	1,7	
21 WM-K	2,2	1,1		9,0	7,2		27,0	21,6		8,5	6,5		7,3	5,4		6,8	5,3	
22 LT-K	0,8	0,7		9,0	4,2		27,0	12,6		4,1	3,1		3,4	3,0		2,9	2,7	
23 GM-K	1,0	1,1		3,4	7,0		13,2	21,0		1,8	1,1		1,4	1,5		1,4	1,8	
24 RF-K	0,6	1,1		4,6	4,0		14,4	12,0		2,5	2,3		1,7	1,3		1,5	1,3	
25 LT-K	0,8	1,4		4,0	2,6		12,0	7,8		2,5	1,4		1,4	0,7		2,0	0,8	
26 PE-K	0,4	0,7		1,3	2,0		3,9	6,0		3,0	2,5		1,9	0,8		1,1	0,5	
27 VE-K	3,8	0,6		5,0	1,7		15,0	5,2		6,1	3,2		4,8	0,8		4,8	1,1	
28 VM-K	1,5	0,8		2,8	2,8		8,4	6,0		2,7	3,3		3,5	1,9		2,1	1,0	
29 WD-K	1,4	0,7		4,2	1,2		12,6	3,6		0,1	1,0		0,2	1,1		0,2	1,0	
30 WS-K	0,9	1,0		1,9	3,2		5,7	9,6		7,6	6,7		6,3	6,2		6,1	6,0	



Namenskürzel	Nummer	Geschlecht	Alter (Jahre)	Größe (cm)	Gewicht (kg)	ausgeübte Kampfkunst	Trainingsdauer (Jahre)	Abhärtstraining durchgeführt? 1 = Ja, 0 = Nein	subjektiv weniger Schmerzempfinden peripher? 1 = Ja, 0 = Nein	objektiv weniger Schmerzempfinden peripher? 1 = Ja, 0 = Nein	subjektiv weniger Schmerzempfinden zentral? 1 = Ja, 0 = Nein	objektiv weniger Schmerzempfinden zentral? 1 = Ja, 0 = Nein
--------------	--------	------------	---------------	------------	--------------	----------------------	------------------------	---	--	---	---	--

1	AF	1	33	178	84	Kung Fu	8,0	1	1	1	0	0
2	AP	1	21	188	85	Kung Fu	5,0	1	0	1	1	0
3	AP	1	18	195	75	Ninjutsu	8,0	1	1	1	1	1
4	AR	1	34	165	62	Karate	8,0	0	1	1	0	0
5	AS	1	25	171	91	Karate	13,0	1	0	1	1	0
6	AS	2	33	165	54	Kung Fu	3,0	1	1	1	0	0
7	AW	1	34	193	82	Kung Fu	17,0	1	0	1	1	0
8	BO	1	33	174	65	Kempo	15,0	0	0	1	1	0
9	BO	1	15	183	75	Kung Fu	3,0	1	1	1	0	0
10	BR	1	37	190	95	Escrime	10,0	0	0	0	0	0
11	CD	2	37	168	67	Taekwondo	6,0	0	0	0	0	0
12	CH	1	24	180	82	Kung Fu	10,0	1	0	1	1	0
13	CM	1	35	190	80	Wing Chun	15,0	1	1	0	0	0
14	CR	1	21	181	75	Taekwondo	5,0	1	1	1	0	0
15	CR	1	42	182	104	Kempo	32,0	1	1	1	1	1
16	DA	2	18	173	52	Kung Fu	1,5	0	1	1	1	1
17	DB	1	18	185	80	Kung Fu	3,0	1	1	1	1	1
18	DD	1	34	183	110	Krav Maga	3,0	0	1	1	0	0
19	EB	1	27	201	98	Kung Fu	9,0	1	1	1	1	0

Namenskürzel	Nummer	Geschlecht	Alter (Jahre)	Größe (cm)	Gewicht (kg)	ausgeübte Kampfkunst	Trainingsdauer (Jahre)	Abhärtungstraining durchgeführt? 1 = Ja, 0 = Nein	subjektiv weniger Schmerzempfinden peripher? 1 = Ja, 0 = Nein	objektiv weniger Schmerzempfinden peripher? 1 = Ja, 0 = Nein	subjektiv weniger Schmerzempfinden zentral? 1 = Ja, 0 = Nein	objektiv weniger Schmerzempfinden zentral? 1 = Ja, 0 = Nein
--------------	--------	------------	---------------	------------	--------------	----------------------	------------------------	--	--	---	---	--

20	EM	1	29	170	90	Bujinkan	1,5	0	1	1	0	0
21	ES	2	30	176	72	Kobudo	1,0	0	0	0	0	0
22	EX	1	20	186	95	Karate	4,0	0	1	1	0	0
23	FI	1	15	170		Ju Jutsu	1,0	0	0	1	1	0
24	FL	1	17	192	84	Shaolin Kempo	4,0	0	1	0	0	0
25	FR	1	34	190	100	Karate	18,0	0	1	1	0	0
26	FU	1	22	187	75	Judo	3,0	0	1	1	0	0
27	GA	1	25	195	90	Judo	3,0	0	0	1	0	0
28	GM	1	19	185	74	Kung Fu	2,0	1	0	1	0	0
29	GO	1	24	176	80	Judo	4,0	1	1	1	0	0
30	GR	1	18	188	75	Taekwondo	9,0	1	1	1	0	0
31	GR	1	30	182	90	Karate	16,0	1	1	1	1	0
32	GR	1	16	172	87	Aikido	4,0	0	0	0	1	1
33	HE	1	29	182	74	Taekwondo	13,0	0	0	1	1	0
34	HL	1	16	183	85	Kung Fu	3,0	1	1	1	1	1
35	HW	1	23	174	65	Taekwondo	17,0	1	1	0	0	0
36	IE	1	25	170	68	Kung Fu	10,0	1	0	0	0	0
37	IZ	2	27	167	62	Kung Fu	3,0	1	1	0	0	0
38	JA	2	16	168	60	Karate	1,5	0	0	1	0	0

Namenskürzel	Nummer	Geschlecht	Alter (Jahre)	Größe (cm)	Gewicht (kg)	ausgeübte Kampfkunst	Trainingsdauer (Jahre)	Abhärtungstraining durchgeführt? 1 = Ja, 0 = Nein	subjektiv weniger Schmerzempfinden peripher? 1 = Ja, 0 = Nein	objektiv weniger Schmerzempfinden peripher? 1 = Ja, 0 = Nein	subjektiv weniger Schmerzempfinden zentral? 1 = Ja, 0 = Nein	objektiv weniger Schmerzempfinden zentral? 1 = Ja, 0 = Nein
--------------	--------	------------	---------------	------------	--------------	----------------------	------------------------	--	--	---	---	--

39	JE	1	15	181	62	Shaolin Kempo	3,5	0	0	1	1	1
40	JS	1	37	173	75	Kung Fu	15,0	1	0	0	0	0
41	JU	1	16	179	65	Taekwondo	1,5	1	1	1	1	1
42	KB	1	15	178	70	Taekwondo	5,5	0	1	1	1	1
43	KE	1	22	180	80	Taekwondo	1,5	1	0	1	0	0
44	KE	2	26	166	64	Thaiboxen	1,0	0	1	1	0	1
45	KO	1	25	178	75	Aikido	1,0	0	0	0	0	0
46	KW	1	46	178	78	Taekwondo	1,5	1	0	1	1	0
47	LA	1	17	178	68	Taiji	0,8	0	0	1	1	1
48	LE	1	38	187	84	Taekwondo	21,0	0	0	0	0	0
49	LU	1	18	181	69	Karate	2,5	1	1	1	0	0
50	LW	2	20	173	73	Kung Fu	7,0	1	0	1	0	0
51	MA	1	17	182	92	ESDO	1,5	0	1	0	0	1
52	MA	1	26	184	k.A.	Aikido	5,0	0	1	1	1	1
53	ML	1	27	174	66	Kung Fu	3,0	1	0	1	1	0
54	MM	1	18	189	78	Judo	10,0	0	1	1	1	1
55	MT	2	38	165	68	Wing Chun	1,5	0	1	1	0	0
56	NG	1	42	180	82	Kung Fu	8,0	1	1	0	0	0
57	NS	1	35	196	100	Kung Fu	18,0	1	0	1	1	1

Namenskürzel	Nummer	Geschlecht	Alter (Jahre)	Größe (cm)	Gewicht (kg)	ausgeübte Kampfkunst	Trainingsdauer (Jahre)	Abhärtungstraining durchgeführt? 1 = Ja, 0 = Nein	subjektiv weniger Schmerzempfinden peripher? 1 = Ja, 0 = Nein	objektiv weniger Schmerzempfinden peripher? 1 = Ja, 0 = Nein	subjektiv weniger Schmerzempfinden zentral? 1 = Ja, 0 = Nein	objektiv weniger Schmerzempfinden zentral? 1 = Ja, 0 = Nein
--------------	--------	------------	---------------	------------	--------------	----------------------	------------------------	--	--	---	---	--

58	OM	1	21	179	78	Karate	12,0	1	1	1	0	0
59	PI	1	29	178	68	Wing Chun	6,0	1	0	1	1	0
60	PI	2	25	168	64	Jiu-Jitsu	6,3	1	1	1	1	0
61	PI	1	22	182	65	Karate	4,5	0	0	1	1	1
62	PR	1	23	175	70	Krav Maga Maor	1,5	0	0	1	0	0
63	RA	1	16	178	70	Karate	5,0	1	0	1	1	0
64	RE	1	18	178	70	Taekwondo	11,0	0	1	1	0	0
65	RK	1	31	202	92	Kung Fu	2,5	1	1	1	0	0
66	RS	1	26	167	73	Chan Shaolin Si	11,0	1	1	1	0	0
67	RU	2	20	166	62	Jiu-Jitsu	4,5	1	0	0	0	0
68	RÜ	1	39	180	96	Kempo	17,0	0	0	0	0	0
69	SA	1	35	186	92	Kung Fu	12,0	0	0	1	0	0
70	SB	1	15	184	65	Karate	1,0	1	1	0	0	0
71	SF	1	26	183	82	Chinese Kara-Ho	10,0	1	1	1	1	1
72	SH	1	22	184	75	Aikido	1,0	0	1	1	1	1
73	SI	1	23	166	62	Judo	19,0	0	1	1	1	1
74	SK	1	44	178	81	Iaido	18,0	1	0	1	0	0
75	SL	2	19	173	66	Kung Fu	2,0	1	0	1	1	0
76	SM	2	24	170	68	Kung Fu	8,0	1	1	0	0	1

Namenskürzel	Nummer	Geschlecht	Alter (Jahre)	Größe (cm)	Gewicht (kg)	ausgeübte Kampfkunst	Trainingsdauer (Jahre)	Abhärtungstraining durchgeführt? 1 = Ja, 0 = Nein	subjektiv weniger Schmerzempfinden peripher? 1 = Ja, 0 = Nein	objektiv weniger Schmerzempfinden peripher? 1 = Ja, 0 = Nein	subjektiv weniger Schmerzempfinden zentral? 1 = Ja, 0 = Nein	objektiv weniger Schmerzempfinden zentral? 1 = Ja, 0 = Nein
--------------	--------	------------	---------------	------------	--------------	----------------------	------------------------	--	--	---	---	--

77	SN	1	28	186	77	Muay Thai	6,0	1	1	1	1	1
78	SO	1	18	178	72	Kung Fu	2,5	0	1	1	0	0
79	SO	1	25	183	83	Wing Chun	8,0	1	1	1	1	1
80	ST	1	24	178	139	Karate	0,8	1	0	0	0	0
81	ST	1	43	200	105	Escrima	25,0	0	1	1	1	1
82	SU	1	28	178	70	Karate	6,0	0	0	1	1	0
83	TA	1	24	176	70	Jiu Jitsu	11,0	1	1	1	1	0
84	TE	1	28	185	84	Kung Fu	4,5	1	1	1	1	0
85	TM	2	31	174	61	Kung Fu	3,0	1	1	1	1	0
86	TR	1	17	190	82	Karate	1,0	0	1	1	0	0
87	TR	1	26	187	100	Aikido	4,0	0	1	1	1	1
88	TT	2	17	162	63	Taekwondo	0,3	0	1	0	0	0
89	TW	1	18	176	70	Taekwondo	4,0	0	1	1	1	1
90	VA	1	26	183	83	Taekkyon	14,0	0	0	1	0	0
91	WA	1	26	182	85	Farang Mu Sul	5,0	1	1	1	1	1
92	YU	2	22	176	67	Aikido	3,0	0	1	1	0	0