

Aus dem Institut für Arbeits-, Sozial- und
Umweltmedizin der Universitätsmedizin der
Johannes Gutenberg-Universität Mainz

Druckschmerzschwellenmessung -
Erarbeitung einer Methode und Pilotstudie

Inauguraldissertation
zur Erlangung des Doktorgrades der
Medizin
der Universitätsmedizin
der Johannes Gutenberg-Universität Mainz
vorgelegt von
Martin Schmidt aus Berlin

Mainz, 2016

Wissenschaftlicher Vorstand: Univ.-Prof. Dr. U. Förstermann

1. Gutachter: [in online-Version gelöscht]

2. Gutachter: [in online-Version gelöscht]

Tag der Promotion: 22.03.2016

Diese Arbeit ist der Primärprävention und allen Engagierten auf diesem Gebiet gewidmet.

Inhaltsverzeichnis

<u>1</u>	<u>Abkürzungsverzeichnis</u>	3
<u>2</u>	<u>Abbildungsverzeichnis</u>	4
<u>3</u>	<u>Tabellenverzeichnis</u>	5
<u>4</u>	<u>Einleitung</u>	6
4.1	Maschinen, Roboter und Unfälle in der Industrie	6
4.2	Schmerz und Schmerzweiterleitung	8
4.2.1	Schmerzphysiologie	9
4.2.2	Druckschmerzschwellen	10
4.2.3	Algometer.....	11
4.3	Ziel der Arbeit	11
<u>5</u>	<u>Methodik</u>	12
5.1	Probanden	12
5.1.1	Psychologische Faktoren	13
5.2	Auswahl der Messlokalisationen.....	14
5.2.1	Körperteilbereiche	16
5.2.2	(Block-) Randomisierung.....	17
5.3	Versuchseinrichtung	18
5.3.1	Algometer.....	18
5.3.1	Kraftanstieg	24
5.3.2	Stößel.....	24
5.3.3	Lagerungsmaterialien.....	27
5.4	Versuchsablauf	29
5.4.1	Tag 1 (Voruntersuchung)	31
5.4.2	Tag 2 und 3 (Messtage)	33
5.4.3	Exemplarische Darstellung einer einzelnen Messung.....	34
<u>6</u>	<u>Ergebnisse</u>	37
6.1	Lagerungsmaterialien	37
6.1.1	Versuchseinrichtung und Algometer	46
6.2	Druckschmerzschwellen	47
6.2.1	Schmerzintensität	52
6.2.2	Zustandsangst	53
6.3	Beobachtungen und Rückmeldungen der Probanden	54
<u>7</u>	<u>Diskussion</u>	55

7.1	Material und Versuchseinrichtung.....	55
7.1.1	Algometer.....	56
7.1.2	Druckgeber (Stößel).....	56
7.1.3	Zustimmtaster	58
7.2	Messwerte	58
7.3	Limitationen	60
7.3.1	Studienpopulation	61
<u>8</u>	<u>Zusammenfassung.....</u>	<u>63</u>
<u>9</u>	<u>Literatur.....</u>	<u>64</u>
<u>10</u>	<u>Anhang.....</u>	<u>75</u>
10.1	Screening-Fragebogen	74
10.2	Fragebogen zur Blutungsneigung	75
10.3	Probandeninformation.....	76
10.4	Einwilligungserklärung	80
10.5	Edinburgh Handedness Inventory.....	81
10.6	Instruktionen – Einführung Labor.....	82
10.7	Instruktionen – Einführung Handalgometer.....	83
10.8	Instruktionen – Ablaufplan	84
10.9	Instruktionen – Algometrie und Sicherheit	85
10.10	Fragebogen Schmerzvorverfahren	87
10.11	Liste mit Messlokalisationen und Beschreibungen zum Auffinden.....	88
10.12	Merkblatt Probandeninstruktion für die Versuchstage.....	91
10.13	Aktuelle Schläfrigkeit, KSS.....	92
10.14	Dokumentationsbogen am Experimenttag	93
10.15	Probemessungen und Einführung in das Algometer	94
10.16	VAS ‚Aktueller Schmerz‘	98
10.17	Bewertung des Experiments durch den Probanden	99
<u>11</u>	<u>Danksagung</u>	<u>100</u>

1 Abkürzungsverzeichnis

BGHM	Berufsgenossenschaft Holz und Metall
DGUV	Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung
Dig.	digitus, lat.: Finger
DIN	Deutsches Institut für Normung e.V.
DIP	distales Interphalangealgelenk (Fingerendgelenk)
dom	dominante Körperseite, bezogen auf die Händigkeit
IFA (BGIA)	Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (ehem. BGIA; Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitssicherheit)
KSS	Karolinska Schläfrigkeitsskala (Karolinska Sleepiness Scale)
ndom	nicht dominante Körperseite bezogen auf die Händigkeit
POM	Polyoxymethylen (Kunststoff)
VAS	visuelle Analogskala
VDI	Verein Deutscher Ingenieure e.V.

2 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 – Polieranlage mit Sicherheitszaun.....	6
Abbildung 2 – Handgeführter Roboterarm.....	7
Abbildung 3 – Industrieroboter.....	7
Abbildung 4 – Körperschema mit sämtlichen Messlokalisationen	15
Abbildung 5 – Lagerungseinstellungen einer Messgruppe	17
Abbildung 6 – automatisches Algometer	18
Abbildung 7 – Freiheitsgrade des Algometers	19
Abbildung 8 – Digitale Neigungsanzeige des Algometers	20
Abbildung 9 – Winkelanzeige des Algometers.....	20
Abbildung 10 – Tasterfunktionen	21
Abbildung 11 – Zustimmtaster	22
Abbildung 12 – Sicherheitsschalter	22
Abbildung 13 – Grenzkrafteinstellung.....	23
Abbildung 14 – Technische Beschreibung des Stößels.....	25
Abbildung 15 – Stößelhalterung	26
Abbildung 16 – Hautabdruck der Druckmessfolie.....	26
Abbildung 17 – Verformung der Druckmessfolie	26
Abbildung 18 – Lagerungsmaterial (Vorversuche).....	27
Abbildung 19 – potenzielle Messlokalisationen (Vorversuche).....	28
Abbildung 20 – Lagerungsversuche (Vorversuche).....	28
Abbildung 21 – Messung im Kopfbereich	30
Abbildung 22 – Probemessung mit einem handgeführten Algometer.....	31
Abbildung 23 – Eingabemaske des Algometer-PC-Programms	34
Abbildung 24 – Lagerung einer Probandin	35
Abbildung 25 – Stößel während des Heranfahrens	35
Abbildung 26 – Messung an der dominanten Hand, Vorversuch und Hauptstudie...	37
Abbildung 27 – Vakuumkissen	38
Abbildung 28 – diverse Lagerungselemente.....	38
Abbildung 29 – Algometerrückwand vor und nach Optimierung	39
Abbildung 30 – Lagerungsaufbau 1.1.....	40
Abbildung 31 – Lagerungsaufbau 1.2.....	41
Abbildung 32 – Lagerungseinstellung zur Messung im Nackenbereich.....	42
Abbildung 33 – Messungen im Bauch-, Brust- und Gesichtsbereich.....	43

Abbildung 34 – Messungen an der oberen Extremität.....	44
Abbildung 35 – Lagerungsaufbau und Messstellen Block 5	45
Abbildung 36 – Kraft-Zeit-Diagramm während Messung am Handrücken.....	46
Abbildung 37 – Kraft-Zeit-Diagramm während Messung am Brustmuskel	46
Abbildung 38 – Druckschmerzschwellen der Probanden	47
Abbildung 39 – Intra- und interindividueller Streuung der Schmerzschwellen	50
Abbildung 40 – Druckschmerzschwellen aller Messlokalisationen	51
Abbildung 41 – Häufigkeitsverteilung der Schmerzintensität.....	52
Abbildung 42 – Zustandsangst im Verlauf des Experiments	52
Abbildung 43 – Stößelabdrücke an diversen Messlokalisationen	55

3 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 – Übersicht über sämtliche Messpunkte	16
Tabelle 2 – Untersuchungsprotokoll für Probemessungen	33
Tabelle 3 – Messlokalisationen des Blocks 1	40
Tabelle 4 – Messlokalisation des Blocks 2	41
Tabelle 5 – Messlokalisationen des Blocks 3	42
Tabelle 6 – Messlokalisationen des Blocks 4	43
Tabelle 7 – Messlokalisationen des Blocks 5	45
Tabelle 8 – Druckschmerzschwellenwerte aller Messlokalisation.....	49
Tabelle 9 –Vergleich zwischen dominanten und nicht-dominanten	
Messlokalisationen	59
Tabelle 10 – Zustandsangst verschiedener Autoren im Vergleich.....	60

4 Einleitung

4.1 Maschinen, Roboter und Unfälle in der Industrie

Mit fortschreitender Technisierung werden an industriellen Arbeitsplätzen immer effektivere und effizientere Maschinen eingesetzt. Modernere Maschinen sind Roboter, die sich dadurch unterscheiden, dass sie „universell einsetzbare Bewegungsautomaten mit mehreren Achsen, deren Bewegungen hinsichtlich Bewegungsfolge und Wegen bzw. Winkeln frei (d. h. ohne mechanischen bzw. menschlichen Eingriff) programmierbar und ggf. sensorgeführt sind. Sie sind mit Greifern, Werkzeugen oder anderen Fertigungsmitteln ausrüstbar und können Handhabungs- und/oder Fertigungsaufgaben ausführen“ (VDI 1990).

Roboter vereinfachen zum einen den Arbeitsablauf durch Automation und komplexere Einsatzmöglichkeiten, zum anderen werden sie durch speziell programmierte Bewegungsabläufe zu einer potenziellen Unfallgefahr für die Anwender.

Um mögliche Kollisionen zwischen Mensch und Roboter zu verhindern, werden an entsprechenden Arbeitsplätzen verschiedene Sicherheitssysteme installiert. Überwiegend basieren diese Systeme auf einer räumlichen Trennung, z.B. durch Schutzzäune (Abbildung 1), um „unerwünschte Kontakte“ zwischen Roboter und Anwender auszuschließen (Piggin 2005; Ward 1995; Umbreit 2013).



Abbildung 1 – Polieranlage mit Sicherheitszaun;
Quelle und Copyright: Firma Weiz Industrie- und Robotertechnik

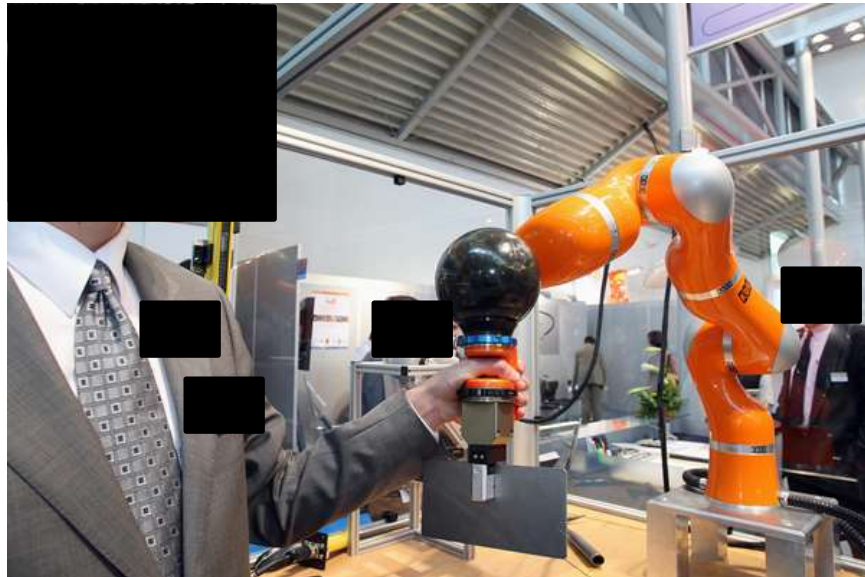


Abbildung 2 – Handgeführter Roboterarm;
Quelle und Copyright: KUKA Roboter GmbH

Immer häufiger werden auch sog. *kollaborierende* Roboter eingesetzt, die sich dadurch auszeichnen, dass sie gerade nicht vom Anwender getrennt arbeiten, sondern mit diesem in Interaktion treten können und sollen (Abbildungen 2 und 3).

Eine unfallverhütende, räumliche Trennung ist hierbei nicht nur unmöglich, sie ist im Sinne der Nutzung auch nicht gewollt. Unerwünschte Kollisionen sind hierbei nahezu unvermeidbar. Mögliche Unfallfolgen und Auswirkungen auf die Anwender müssen daher untersucht und reduziert werden.



Abbildung 3 – Industrieroboter halten Teile;
Quelle und Copyright: Lehrstuhl für Industrielle Robotik und
Produktionsautomatisierung (IRPA), TU Dortmund
Quelle des Schweißers: www.grueter.com

Bisher gibt es keine offiziellen, statistisch auswertbaren Daten zu Unfällen mit kollaborierenden Robotern (Muttray 2012; Behrens et al. 2014). Bisherige arbeitsschutzrelevante Grenzwerte für diese Maschinen basieren auf Literaturrecherchen sowie Expertenmeinungen (BGIA 2011; Umbreit 2013; DIN 2012).

Im Entwurf befindlich ist die neue Norm ISO/TS 15066 „Robots and robotic devices - Safety requirements - Industrial collaborative workspace“, in der weiterführende Anforderungen an Roboter und deren Arbeitsplätze gestellt werden. Darunter fallen unter anderem Bestimmungen zur Handführung (maximale Geschwindigkeit), die Installation von Abstandsüberwachungen (Personendetektionssysteme) sowie Leistungs- und Kraftbegrenzungen (bei Kollisionen) (Umbreit 2013).

4.2 Schmerz und Schmerzweiterleitung

Schmerz ist definiert als „unangenehmes physisches oder psychologisches Erlebnis, das mit einer tatsächlichen oder drohenden Gewebsschädigung einhergeht“¹ (Merskey und Bogduk 1994).

Diese Definition zeigt, dass Schmerz eine schwer zu erfassende Messgröße darstellt (Göbel 1988). Schmerz hat neben einer sensorischen (neuronalen), vegetativen (Stress) sowie motorischen (Reflex) Komponente fast immer auch eine affektive (Gefühl, Bewertung) und kognitive (Verhalten) (Mollet und Harrison 2006; Rhudy 2005; Handwerker 2007).

Da es sich also beim Phänomen „Schmerz“ um keine physiologische Größe handelt, sondern am ehesten um eine subjektiv empfundene Wahrnehmung, müssen bei der Erfassung sowohl physiologische als auch psychologische Aspekte betrachtet werden.

¹ “An unpleasant sensory and emotional experience associated with actual or potential tissue damage, or described in terms of such damage.”

4.2.1 Schmerzphysiologie

Physiologischerweise werden mechanische – aber auch thermische und chemische – Reize, die von außen auf den menschlichen Körper einwirken, von peripheren Nerven bzw. deren Endigungen erfasst. Bei mechanischen Reizen muss zwischen normalem Tast-, Berührungs- und Vibrationsempfinden auf der einen und schmerzhaftem, nozizeptivem Empfinden auf der anderen Seite differenziert werden (Del Valle et al. 2012).

An der Nozizeption sind unmyelinisierte C-Fasern mit Leitungsgeschwindigkeiten bis zu 2 m/s sowie myelinisierte A δ -Fasern mit Leitungsgeschwindigkeit bis zu 25 m/s beteiligt (Lewin und Moshourab 2004; Dubin und Patapoutian 2010).

Diese Neurone wandeln äußere Reize in elektrische Signale um (Transduktion) und leiten Sie über das Rückenmark – bzw. die Kerne des N. trigeminus für den Kopfbereich – zur weiteren Schmerzverarbeitung an das Gehirn weiter (Schmidt et al. 2010).

Auf molekularer Ebene gibt es bisher keine gesicherten Erkenntnisse über die genauen Transduktionswege der Mechanonozizeption – anders als etwa für thermische Reize, für die der TRPV1-Rezeptor (transient receptor potential vanilloid-1) aufgefunden werden konnte (McKemy 2011; Mishra et al. 2011; Dubin und Patapoutian 2010; Fein 2014).

Aufgrund bisheriger Untersuchungen mit Lokalanästhetika (Lacroix-Fralish und Mogil 2009; Kudo 2005; Drew et al. 2007), knock-out-Tieren (Mishra et al. 2011; McKemy 2011) sowie molekulargenetischer Typisierungen von Patienten mit angeborener Schmerzlosigkeit (Alloui et al. 2006; Golshani et al. 2014; Kurban et al. 2010; Lacroix-Fralish und Mogil 2009; Staud et al. 2011; Drenth und Waxman 2007) geht man davon aus, dass in den Nervenendigungen druckempfindliche Natrium- und Kaliumkanäle aktiviert werden, welche zur Depolarisation der Zellen führen (Rasband et al. 2001; Drenth und Waxman 2007).

Einige Autoren diskutieren die Beteiligung sog. Piezo-Membranproteine an mechanisch induzierter Nozizeptordepolarisation und mittelbarer Schmerzwahrnehmung (Nilius und Honoré 2012; Kim et al. 2012; Coste et al. 2010; Lee et al. 2014; Coste et al. 2013; Bagriantsev et al. 2014).

Bei Entzündungen, Verletzungen oder anderen Reizzuständen von menschlichen Geweben kommt es zu einer erniedrigten Druckschmerzschwelle (Goeij et al. 2013; Benson et al. 2012) bzw. erhöhten Schmerzwahrnehmung bei gleichbleibendem Reiz, wofür lokale, körpereigene Mediatoren verantwortlich gemacht werden (Lewin und Moshourab 2004; Fein 2014; Dubin et al. 2012). Einige Autoren machen diesen als „zeitlicher Summationseffekt“ aufgefassten Mechanismus bei repetitiven Schmerzmessungen für intensivere Schmerzwahrnehmung und herabgesetzte Schmerzschwellen verantwortlich (Kohllöffel et al. 1991; Nie et al. 2005; Nie et al. 2006; Nie et al. 2009; Finocchietti et al. 2012; Lautenbacher et al. 2005; Sarlani et al. 2004; Staud et al. 2003).

4.2.2 Druckschmerzschwellen

Bei Untersuchungen des Schmerzempfindens ist die [Druck-]Schmerzschwelle definiert als „minimale Intensität eines [Druck-]Stimulus, der als schmerzhaft empfunden wird“² (Merskey und Bogduk 1994).

In der Literatur finden sich diverse Angaben über mögliche Einflussfaktoren auf die Druckschmerzschwelle. So spielen neben verschiedenen psychischen Faktoren wie z.B. Ängstlichkeit (Dougher et al. 1987; Cornwall und Donderi 1988; Vowles et al. 2006), Depression (Song et al. 1993; Klauenberg et al. 2008; Mutschler et al. 2012) oder Aufmerksamkeit (Janssen und Arntz 1996; Kola et al. 2012; James und Hardardottir 2002; Baum et al. 2011; Sprenger et al. 2012) auch einige physiologische Größen eine Rolle.

Alter (Gibson und Farrell 2004; Gibson und Farrell 2004), Geschlecht (Chesterton et al. 2003; Fillingim et al. 2009; Greenspan et al. 2007; Racine et al. 2012; Vormittag 2011) und Trainingszustand (Finocchietti et al. 2011; Jones et al. 2014; Nielsen et al. 2010; Tesarz et al. 2012) sind dabei neben Tageszeit (Reid et al. 1994; Aviram et al. 2014) oder dem Untersucher (Levine und de Simone 1991; Ohrbach et al. 1998; Kállai et al. 2004; Gijsbers und Nicholson 2005; Vigil und Alcock 2014) ebenso von Bedeutung.

Konsens besteht darüber, dass die Druckschmerzschwellen der nicht-dominanten Körperseite, insbesondere an der oberen, distalen Extremität, niedriger sind als an der dominanten (Ozcan et al. 2004).

² „The minimum intensity of a stimulus that is perceived as painful.“

4.2.3 Algometer

Zur Erfassung von Druckschmerzen und Druckschmerzschwellen gibt es verschiedene Messmethoden. Neben der manuellen Palpation werden in der klinischen Praxis oft handgeführte, rein mechanische Algometer genutzt (Abbildung 22 Seite 31).

Hierbei können jedoch Reaktionszeiten sowohl der Probanden bzw. Patienten als auch der Untersucher eine Verzerrung bewirken. Für reaktionszeitenoptimierte Werte sind probandengesteuerte Algometer geeigneter, bei denen Messwerte festgehalten werden, sobald der Proband einen Taster betätigt.

Nachteilig auf die Messgenauigkeit wirkt sich zudem eine zu schnelle bzw. variable Druckanstiegsgeschwindigkeit aus. Zum einen beeinflusst auch hier die Reaktionszeit der Versuchsteilnehmer die Werte, zum anderen sind sehr schnelle Druckanstiege mit vergleichsweise niedrigeren Schmerzschwellen assoziiert (Jensen et al. 1986; List et al. 1991; Polianskis et al. 2001).

Für ein standardisierteres Verfahren sind daher automatische Algometer vorteilhafter, bei denen der Kraft- / Druckanstieg bzw. der Vorschub des Druckgebers konstant eingestellt werden kann und unabhängig von äußeren Einflüssen ist.

4.3 Ziel der Arbeit

In dieser Vorstudie eines Forschungsvorhabens sollten ergonomische Lagerungsmaterialien für ein neu konzipiertes Druckalgometer sowie eine optimale, standardisierte Versuchsmethodik erarbeitet und an gesunden Probanden erprobt werden.

5 Methodik

Da diese Studie zwei Ziele hat, wird sich jeweils ein Teil der Kapitel ‚Methodik‘ und ‚Ergebnisse‘ auf die Lagerungsmaterialien, ein weiterer auf die gemessenen Druckschmerzschwellen beziehen.

5.1 Probanden

Die Probanden wurden von Mai bis November 2011 durch Aushänge auf dem Gelände der Universitätsmedizin Mainz oder direkte Ansprache der Arbeitsgruppenmitglieder auf die Studie aufmerksam gemacht. Probanden, die an Vorversuchen teilnahmen, wurden nicht in der eigentlichen Studie eingesetzt.

Nach Aushändigen eines kurzen medizinischen Screening-Fragebogens (Anhang 10.1) sowie detaillierten Informationen zu Hintergrund und Ablauf der Studie (Anhang 10.3), erfolgte die Einladung der Probanden zu einem ausführlichen Aufklärungsgespräch. Anschließend gaben die Probanden ihre schriftliche Einwilligung zur Teilnahme an der Studie (Anhang 10.4). Es folgten eine eingehende Anamnese sowie klinische Untersuchung durch einen Arzt.

Ausschlusskriterien waren Klaustrophobie oder andere psychische Störungen, erhöhte Blutungsneigung (vgl. Anhang 10.2, Luxembourg et al. 2007), Wunden, Narben oder Hautkrankheiten an den Messlokalisationen, Schmerzzustände, Medikamenteneinnahme oder Krankheitszustände (z.B. Nervenschäden), die sich auf die Schmerzwahrnehmung auswirken könnten.

Es wurden zehn Probanden, davon sechs männliche, im Alter zwischen 19 und 67 Jahren (Mittelwert: 29) rekrutiert, wovon die Mehrzahl Studierende waren. Alle waren Rechtshänder mit einem Lateralitätsquotienten zwischen 78,95 und 100 (Edinburgh Handedness Inventory, vgl. Anhang 10.5, Oldfield 1971). Anhand der Lateralität wurde festgelegt, welche Körperseite der Probanden als dominant galt.

Bis auf eine Ausnahme waren alle Probanden normalgewichtig mit einem BMI zwischen 19,4 und 27,5 kg/m² (Mittelwert 22,9 kg/m²). Drei Probanden waren Raucher, einer ehemaliger Raucher. Keine der vier weiblichen Probanden hatte ihre Menstruation. Regelmäßig nahmen eine Probandin Kontrazeptiva, ein Proband

Pantoprazol sowie ein anderer Proband einen 5 α -Reduktasehemmer ein. Keiner wies Beschwerden oder Nebenwirkungen auf.

Die Probanden erhielten eine Aufwandsentschädigung von 190,00€. Es wurde eine Wege- und Aufenthaltsversicherung abgeschlossen. Das Studiendesign wurde vom Ethikkomitee der Landesärztekammer Rheinland-Pfalz gebilligt und sämtliche Versuche nach den Grundsätzen der aktuellen Version der Deklaration von Helsinki (Weltärztebund 2013) durchgeführt.

5.1.1 Psychologische Faktoren

Da es psychologische Einflussfaktoren auf Schmerzschwellen gibt (Kapitel 4.2), sollten diese durch evaluierte Fragebögen erfasst werden. Im Rahmen der Methodenentwicklung und in Absprache mit psychologischen Experten des IFA wurde festgelegt, welche psychischen Parameter bestimmt und entsprechenden Fragebögen eingesetzt werden sollten.

Es kamen der ‚Beck Depressions-Inventar‘-Fragebogen (Beck et al. 1996), der Brief Symptom Inventory (Derogatis und Melisaratos 1983) sowie der Stamm Screening Questionnaire (DIA-X SSQ, Wittchen und Perkonigg 1997) zum Ausschluss psychisch belasteter, depressiver oder ängstlicher Probanden zum Einsatz.

Mit Hilfe des Neurotizismus-Extraversion-Offenheit-Fünf-Faktoren-Inventars (Borkenau und Ostendorf 1993) und Selbstwirksamkeitserwartungs-Bogens (Weinman et al. 1995) wurden Persönlichkeitsstrukturen bestimmt.

Auf einer visuellen Analogskala (10 cm, kein Schmerz bis maximal vorstellbarer Schmerz, Anhang 10.16, Williamson und Hoggart 2005) trugen die Probanden nach jeder einzelnen Messung die subjektive Intensität des Schmerzerlebnisses ein. Bei der Voruntersuchung wurde dieselbe VAS für das *jemals* intensivste Schmerzerlebnis genutzt (Anhang 10.10).

Darüber hinaus wurden während der Messungen die Zustandsangst mit Hilfe des State-Trait-Angstinventars (STAI-STATE, Spielberger 1983) erfasst und zur Selbsteinschätzung des momentanen Befindens eine Gesichterskala (Andrews und Withey 1976) sowie die neunstufige Karolinska Schläfrigkeitsskala (KSS, Anhang 10.13, Akerstedt und Gillberg 1990) eingesetzt.

Daneben wurden während der Versuche Temperatur und Tageszeit festgehalten.

5.2 Auswahl der Messlokalisationen

Bestimmung der Anzahl, Auswahl und Definition der Messlokalisationen waren gemeinsame Entscheidungen von IFA, BGHM und der AG Algometrie des Instituts. Eine große Anzahl von Messpunkten wirkt sich negativ auf die Dauer der Untersuchung und damit sehr wahrscheinlich auf die Vigilanz und Kooperation der Probanden aus. Eine zu geringe Anzahl oder die Auswahl von Messstellen, die in der Praxis nicht von Bedeutung sind, birgt die Gefahr des Verfehlens der Ziele des Forschungsvorhabens.

In einer Sitzung des Normungsausschusses Maschinenbau NA 060-30-02AA „Roboter und Robotikgeräte“ im Fachbereich "Automation und Integration" des DIN im Juli 2011 wurde ein erster von der AG Algometrie erarbeiteter Vorschlag mit Körpermesslokalisationen vorgestellt.

In einer anschließenden Diskussion modifizierte das Gremium aus Experten auf dem Gebiet der Automation und Robotik, der Unfallverhütung, des Arbeitsschutzes sowie der Arbeitsmedizin diesen Entwurf. Ausschlaggebend war dabei vor allem die Praxisrelevanz. Aber auch die Sicherheit der Probanden spielte eine entscheidende Rolle und so wurden z.B. die Messlokalisationen Kehlkopf (Melvin und Snyder 1973), Jochbein sowie 8. Rippe (Saito und Ikeda 2005) gestrichen. Bei Frauen wurde ein Messpunkt am Brustmuskel wegen ethischer Abwägungen ausgelassen.

Ferner sollten die Messstellen sinnvoll auf der nicht-dominanten und dominanten Körperseite verteilt sein und unnötige Redundanzen vermieden werden.

Schlussendlich wurden 29 relevante, zu untersuchende Körperstellen identifiziert und festgelegt (vgl. Abbildung 4 Seite 15 sowie Tabelle 1 Seite 16).

In einer detaillierten, in Vorversuchen erprobten und verfeinerten Beschreibung wurde festgehalten, wie die einzelnen Messstellen aufzusuchen, zu markieren und zu beurteilen sind (vgl. Anhang 10.11).

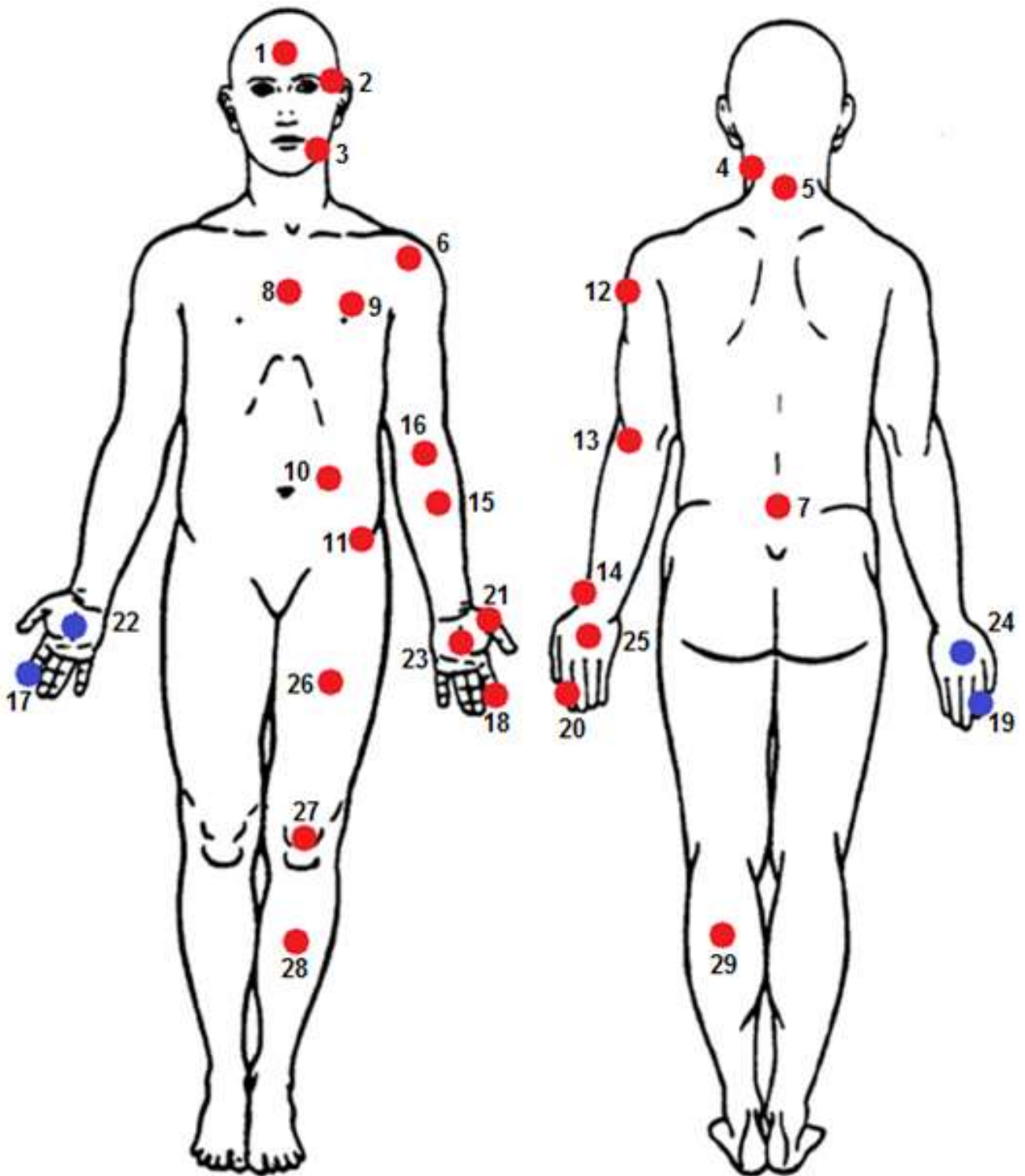


Abbildung 4 – Körperschema mit sämtlichen Messlokalisationen, Messstellen auf der dominanten Körperseite blau; genaue Bezeichnung siehe Tabelle 1 Seite 16

5.2.1 Körperteilbereiche

Die festgelegten Körpermesslokalisationen waren – auch im Hinblick auf Arbeitsschutzempfehlungen (BGIA 2011) – Körperteilbereichen zugeordnet (Kapitel 5.3.3 und 5.2.2).

Tabelle 1 – Übersicht über die Messpunkte der dominanten (dom) und nicht-dominanten (ndom) Körperseite

Erste Spalte: Nummer der Messstelle (vgl. Abbildung 4 Seite 15)

Zweite Spalte: Körperteilbereichszuordnung

Dritte Spalte: deutsche Bezeichnung

Vierte Spalte: medizinische/lateinische Bezeichnung

DIP = distales Interphalangealgelenk; Dig. = digitus, Finger; M = musculus, Muskel; N = Nervus, Nerv; Messungen am Brustmuskel (Nr. 9) nur bei männlichen Probanden

Auflistung sämtlicher Messlokalisationen			
Nummer	Körperbereich	Bezeichnung	medizinische Bezeichnung
1	Kopf und Hals	Stirnmitte	<i>Os frontale</i>
2	Kopf und Hals	Schläfe ndom	<i>Temporal ndom</i>
3	Kopf und Hals	Kaumuskel ndom	<i>M. masseter ndom</i>
4	Kopf und Hals	Halsmuskel ndom	<i>M. sternocleidomastoideus ndom</i>
5	Kopf und Hals	Dornfortsatz 7. Halswirbelkörper	<i>Processus spinosus vertebrae cervicalis VII</i>
6	Rumpf	Schultergelenk vorne ndom (Rabenschnabelfortsatz)	<i>Processus coracoideus ndom</i>
7	Rumpf	Dornfortsatz 5. Lendenwirbelkörper	<i>Processus spinosus vertebrae lumbalis V</i>
8	Rumpf	Brustbein	<i>Sternum</i>
9	Rumpf	Brustmuskel ndom (nur bei Männern)	<i>M. pectoralis ndom</i>
10	Rumpf	gerader Bauchmuskel ndom	<i>M. rectus abdominis ndom</i>
11	Rumpf	Beckenkammknochen ndom	<i>Spina iliaca anterior superior ndom</i>
12	Obere Extremitäten	Deltamuskel ndom	<i>M. deltoideus ndom</i>
13	Obere Extremitäten	Oberarmknochen ndom	<i>Epicondylus lateralis humeri ndom</i>
14	Obere Extremitäten	Speichenknochen ndom (Stifffortsatz)	<i>Processus styloideus radii ndom</i>
15	Obere Extremitäten	Unterarmmuskel ndom	<i>M. extensor carpi ulnaris/radialis</i>
16	Obere Extremitäten	Mittelnerv ndom	<i>N. medianus ndom</i>
17	Obere Extremitäten	Zeigefingerbeere dom	<i>Phalanx distalis Dig. II (palmar) dom</i>
18	Obere Extremitäten	Zeigefingerbeere ndom	<i>Phalanx distalis Dig. II (palmar) ndom</i>
19	Obere Extremitäten	Zeigefingerendgelenk dom, handrückenseitig	<i>DIP Dig. II (dorsal) dom</i>
20	Obere Extremitäten	Zeigefingerendgelenk ndom, handrückenseitig	<i>DIP Dig. II (dorsal) ndom</i>
21	Obere Extremitäten	Daumenballen ndom (Muskel über dem Knochen)	<i>Thenar ndom</i>
22	Obere Extremitäten	Handinnenfläche dom	<i>Palma manus dom</i>
23	Obere Extremitäten	Handinnenfläche ndom	<i>Palma manus ndom</i>
24	Obere Extremitäten	Handrücken dom	<i>Dorsum manus dom</i>
25	Obere Extremitäten	Handrücken ndom	<i>Dorsum manus ndom</i>
26	Untere Extremitäten	Oberschenkelmuskel ndom	<i>M. rectus femoris ndom</i>
27	Untere Extremitäten	Kniescheibe ndom	<i>Patella ndom</i>
28	Untere Extremitäten	Schienbeinkante ndom	<i>Tibia ndom</i>
29	Untere Extremitäten	Wadenmuskel ndom	<i>M. gastrocnemius ndom</i>

5.2.2 (Block-) Randomisierung

Um mögliche Sequenzeffekte zu verhindern bzw. deren Einfluss auf die Messwerte möglichst gering zu halten, wurde die Reihenfolge der Messungen randomisiert.

Jedoch war es aus logistischer Sicht und im Hinblick auf die Versuchsdauer nicht möglich, sämtliche Messungen an allen Messlokalisationen zu randomisieren. Da mehrere Messlokalisationen durch eine Lagerungseinstellung bzw. eine kleinere Variation der Lagerung (Abbildung 5 und Kapitel 6.1) zugänglich waren, wurde die Randomisierung an die Lagerungseinstellungen angepasst und mehrere Messlokalisationen zu Blöcken zusammengefasst.



Abbildung 5 – Lagerungseinstellungen einer Messgruppe mit zügig auf einander folgenden Messungen an Zeigefingerbeere (links), Speichenknochen (Mitte) und N. Medianus (rechts)

Es ergaben sich hierbei mehrere Randomisierungsmöglichkeiten, da zum einen die „Messblöcke“ untereinander randomisiert, zum anderen innerhalb eines Blocks die Reihenfolge der einzelnen Messpunkte randomisiert werden konnte. Lediglich Messungen an Schläfe und Kaumuskel sollten nicht zu Beginn einer Messreihe durchgeführt werden.

Mit Hilfe eines in Microsoft Excel programmierten Zufallsgenerators wurde für jeden Probanden eine zufällige Reihenfolge der Blöcke erstellt. Diese Randomisierung wurde für alle drei Messdurchgänge beibehalten.

Wiederholungsmessungen aufgrund besonderer Vorkommnisse wurden jeweils am Ende eines Versuchstages durchgeführt und entzogen sich daher einer Randomisierung.

5.3 Versuchseinrichtung

5.3.1 Algometer

Das IFA konzipierte und baute ein automatisches Algometer „DALGO1“. Bei diesem Algometer ist der Kraftanstieg (in N/s) variabel einstellbar. Außerdem befindet sich der *Aktuator* (präzise regelbarer Linearmotor) auf einer drehbaren Halterung, die wiederum auf einer höhenverstellbaren Brücke montiert ist, sodass jede Messlokalisierung erreicht und in einem rechten Winkel angefahren werden kann.

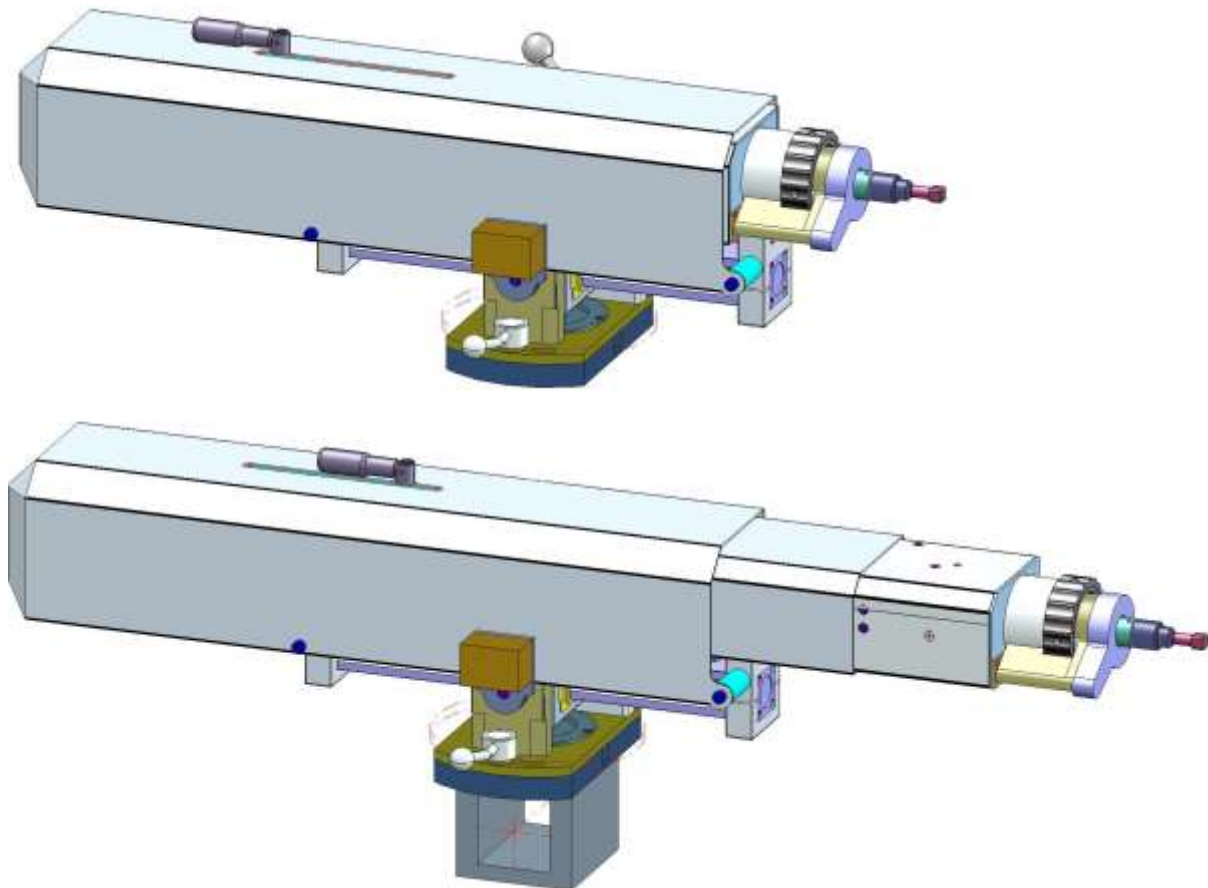


Abbildung 6 – automatisches Algometer; oben: Ruhestellung; unten: maximal ausgefahren
Quelle: Bedienungsanleitung des DALGO1, IFA (Ottersbach 2011)

In vertikaler Richtung ist das Algometer über eine Brückenkonstruktion verschiebbar. In der Horizontalebene kommen drei Mechanismen zum Einsatz, die eine starke Flexibilität ermöglichen:

- i. Auf der Brücke selbst kann man das Algometer nach links und rechts verschieben (Abbildung 7b).
- ii. Die Halterung an der Brücke verfügt über einen drehbaren Fuß, sodass man das Algometer nach links oder rechts schwenken kann (Abbildung 7c).

In der Tiefe ist der Aktuator um ca. 15 cm aus- bzw. einfahrbar (Abbildung 7d und Abbildung 6 Seite 18).

Weitere Freiheitsgrade resultieren aus einer Kippvorrichtung, die es ermöglichte, das Algometer vertikal nach oben oder unten zu neigen (Abbildung 7e).

Darüber hinaus verfügt die Versuchseinrichtung über eine drehbare Bodenplatte, auf der man den Probanden entsprechend positionieren kann (vgl. Abbildung 32a Seite 42).

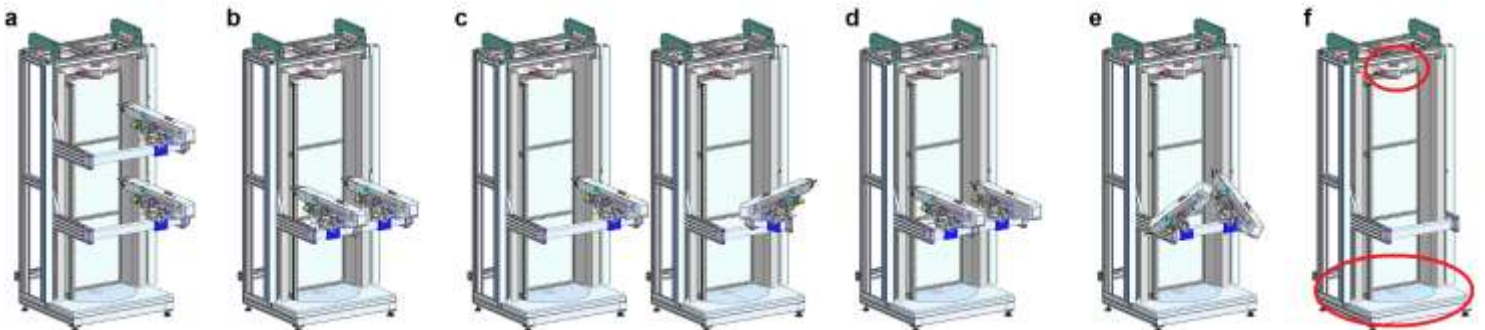


Abbildung 7 – Freiheitsgrade des Algometers

(a) höhenverstellbare Brücke

(b) verschiebbare Halterung

(c) drehbarer Algometerfuß an der Brücke

(d) Tiefenverstellbarkeit

(e) Kippmechanismus

(f) drehbare Bodenplatte (untere Markierung) mit Befestigung an der Rahmenkonstruktion (obere Markierung)

Das Algometer verfügt über eine separate, digitale Neigungsanzeige (Abbildungen 8 und 9 Seite 20), auf der die Veränderung der Ausgangsstellung bzw. „Neutral-Null-Position“ in Grad angegeben werden. So kann zum einen die Neutral-Null-Position jedes Mal präzise eingestellt werden, zum anderen kann die für die jeweilige Messlokalisierung spezifischen Veränderungen dokumentiert und bei nochmaligem Messen exakt wie bei einer vorangegangenen Positionierung eingestellt werden.



Abbildung 8 – Digitale Neigungsanzeige (rechts im Bild); Messung am N. Medianus mit 13° nach unten geneigtem Algometer



Abbildung 9 – Neigungsanzeige des um 17° nach rechts sowie 13° nach oben geneigten Algometers

Das Algometer verfügt über mehrere Sicherheitseinrichtungen. Es werden sog. „Zustimmtaster“ (Schmersal Typ ZSD der Firma K. A. Schmersal GmbH, Wuppertal, Abbildung 11 Seite 22) eingesetzt. Zustimmtaster verfügen über eine Zustimmungposition (Mittelstellung), die während einer Messung gehalten (gedrückt) werden muss. Lässt man den Taster los („Totmannstellung“) bzw. drückt ihn komplett durch („Panikstellung“), wird eine Messung beendet bzw. abgebrochen (Abbildung 10).

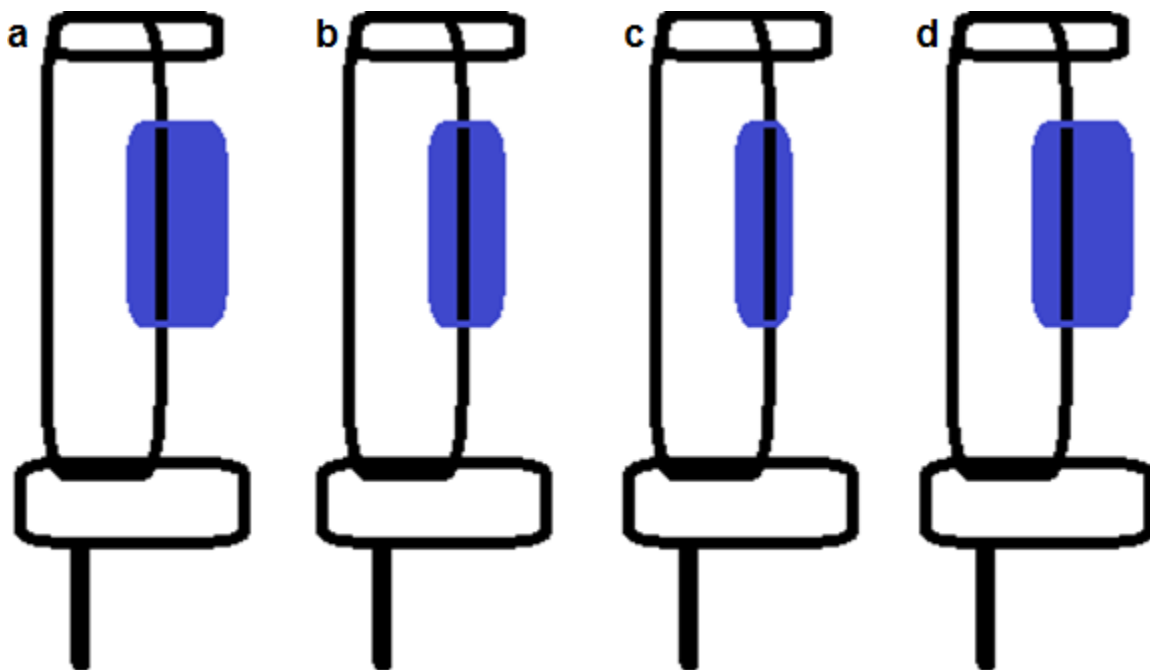


Abbildung 10 – Schematische Darstellung der Tasterfunktionen
(a) Ausgangsstellung, Taste nicht gedrückt, Messung nicht möglich
(b) halb durchgedrückt = Betriebsstellung, „Zustimmung“, Messung möglich
(c) komplett durchgedrückt, Messung wird beendet/abgebrochen
(d) Ausgangsstellung nach Loslassen, Messung wird beendet/abgebrochen

Am Versuchsleitstand sind zwei dieser Taster angebracht. Für die Durchführung einer Messung ist es erforderlich, dass sowohl der Proband als auch der Untersucher jeweils ihren Zustimmtaster betätigen. Somit ist eine doppelte Sicherheit gegeben: Der Proband kann sich auf den Versuch (und die Druckschmerzschwelle) konzentrieren, während der Untersucher den Ablauf beobachten und bei möglichen Problemen intervenieren kann, sodass der Proband nicht gefährdet wird.



Abbildung 11 – Zustimmungstaster; in Mittelstellung (bzw. Betriebsstellung; Messung möglich, links) und Ausgangsstellung (rechts)

Neben den Zustimmungstastern befinden sich direkt am Bedienelement zwei fest installierte Not-Aus-Schalter nebst einem mobilen Not-Halt, der variabel im Versuchslabor aufgestellt werden kann (Abbildung 12). Deren Betätigung bewirkt ein sofortiges Zurückfahren des Algometers in eine Sicherheitsposition. Am Algometer selbst ist zudem ein pneumatischer Sicherheitsschalter, der ein Entlüften der pneumatischen Kraftkopplung im Algometer und damit ein Abschalten des Kraftschlusses mit Zurückgleiten in eine sichere Ausgangsposition bewirkt.

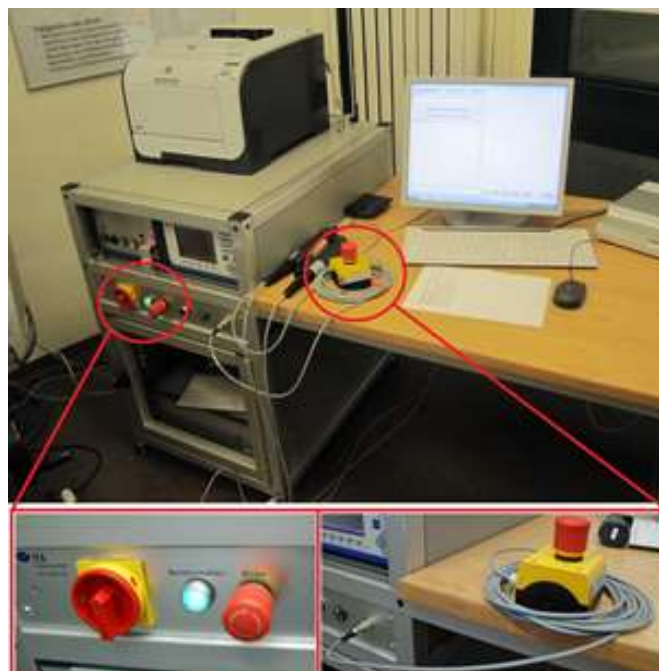


Abbildung 12 – Sicherheitsschalter

Eine weitere sicherheitsrelevante Ausstattung des Algometers ist der Maximalkraftbegrenzer (Abbildung 13). Hiermit legen die Untersucher die maximal zulässige Kraft, die das Algometer während eines Versuches ausübt, fest. Dieser Wert richtete sich in der Studie nach den probandenspezifischen Erfahrungswerten der Probemessungen und den jeweiligen Messlokalisationen. Wird der Grenzwert während einer Messung erreicht, stoppt das Algometer und fährt in eine Sicherheitsposition zurück.

Die Grenzkraftanzeige (rechts in Abbildung 13) war vom Probanden nicht einsehbar. Die Maximalkraft des Algometers liegt bei 500 N.

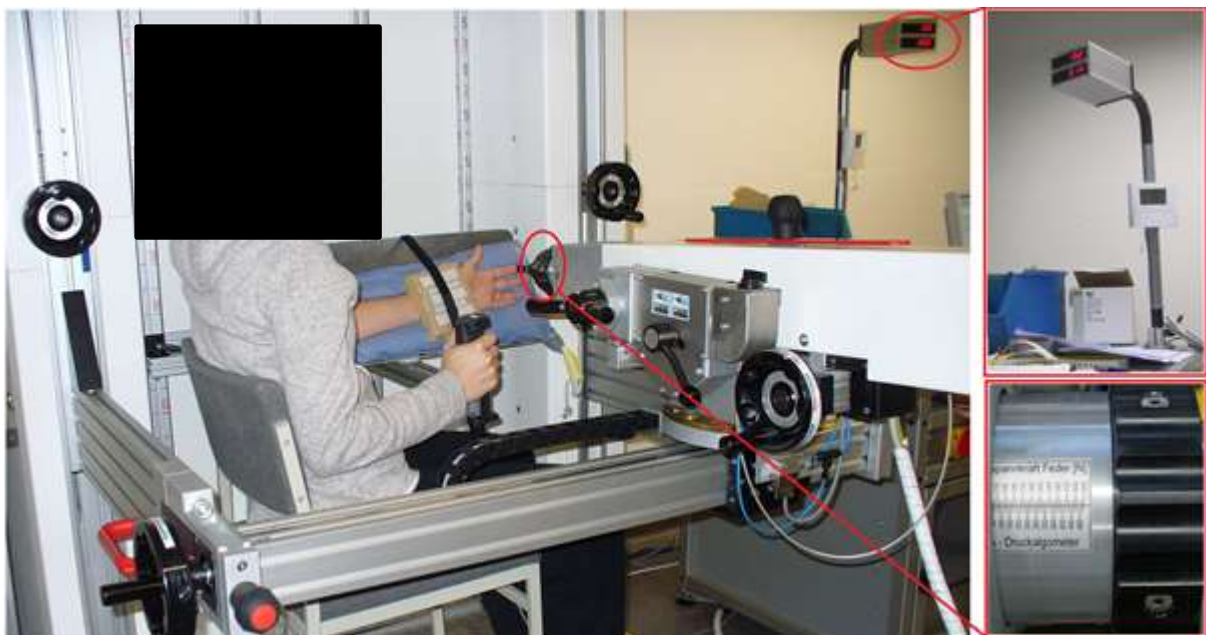


Abbildung 13 – Grenzkräfteeinstellung rechts oben: Display rechts unten: Einstellrad

Zur Versuchseinheit gehören zusätzlich ein Schreibtisch mit integrierter Mess- und Steuerungseinheit sowie informationstechnologische Gerätschaften (Abbildung 12 Seite 22). Auf dem Computer sind speziell für das Algometer geschriebene Programme installiert, welche den Untersuchern ein einfaches und sicheres Dokumentieren der Messwerte erlaubt.

Jeder Untersucher erhielt durch Mitarbeiter des IFA oder erfahrene Arbeitsgruppenmitglieder eine umfassende Einweisung in das Algometer samt Software. Das Algometer wurde nach Maschinenrichtlinie (Europäische Union 2006) zertifiziert und verfügt über ein CE-Zeichen.

5.3.1 Kraftanstieg

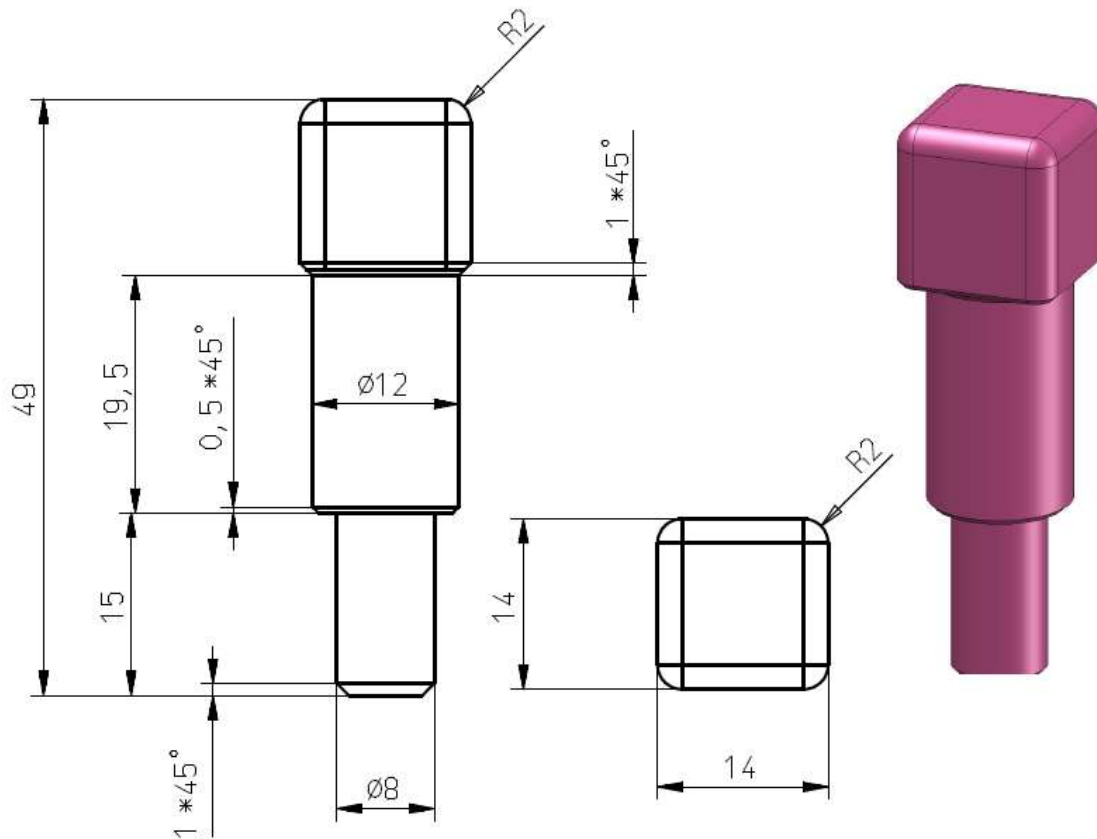
Der Kraftanstieg wurde in Vorversuchen zwischen 2 N/s und 10 N/s variiert, um einen ‚angemessenen‘ Kraftanstieg zu eruieren, bei dem die Dauer einer Messung noch adäquat, der Kraftanstieg jedoch nicht zu schnell war, was ggf. Verzerrungen durch Reaktionszeiten hervorgerufen hätte.

Als optimal für die überwiegende Anzahl der Messlokalisationen erwies sich ein Kraftanstieg von 5 N/s. Lediglich an den Messpunkten Kaumuskel sowie Halsmuskel, die sehr niedrige Druckschmerzschwellen aufwiesen, wurde ein Kraftanstieg von 2 N/s gewählt. Vorversuche zeigten, dass ein zu schnellerer Kraftanstieg hier zu starken Schmerzen und falsch hohen Messwerten führt.

5.3.2 Stößel

Der eigentliche Druckgeber, also der Teil des Algometers, der die Kraft auf den Körper übertrug, war der sog. Stößel. In diesem Fall wurde er den speziellen Anforderungen der Versuchseinrichtung und dem Vorhaben angepasst und vom IFA zur Verfügung gestellt.

Der Stößel bestand aus dem thermoplastischen Kunststoff Polyoxymethylen (POM). In Vorversuchen stellten sich Stößel aus Metall als kühlend und daher möglicherweise verzerrend auf die Druckschmerzschwellen heraus. Die Kantenlänge des quadratischen Stößels betrug 14 mm. Die Kanten waren abgerundet, um Missempfindungen oder Verletzungen zu vermeiden (Abbildung 14 Seite 25). Die Stößeloberfläche betrug daher ungefähr 1,96 cm².



 Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung		Maßstab: 2:1	
		Datei Nr. C: 051000284. SZ	
Für diese Zeichnung behalten wir uns alle Rechte vor gemäß DIN 34	Datum	Name	Benennung Stößel -KU (quadratisch)
	Bearb. 19.10.2011	W. Olbert	
Abweichung für Maße ohne Toleranzangabe nach DIN/ISO 2768.12	Rauheit für Oberflächenzeichen nach DIN/ISO 1302		Zeichn.Nr. 05-10-00-28-4
			Blatt Bl.

Abbildung 14 – Technische Beschreibung des Stößels. Quelle: Betriebsanleitung IFA (Ottersbach 2011)

Der Stößel war an der Aktuatorspitze mit Hilfe eines Bohrfutters befestigt, das man mit einem Bohrmaschinenschlüssel öffnen und schließen konnte. Diese Konstruktion (Abbildung 15 Seite 26) ermöglichte es, den Stößel bei Bedarf zu rotieren und an die Körperoberfläche der Messlokalisation zu adjustieren, um unangenehme Kanten oder einseitigen Druck zu vermeiden.



Abbildung 15 – a) Bohrfutter als Stößelhalterung; b) Adjustieren für Messung am Finger

Die Form des Stößels wurde auch wegen eines Druckmessfoliensystems zur Erfassung lokaler Druckspitzen an den Messlokalisationen gewählt.

Die Druckmessfolie sollte zwischen Stößel und Haut der Probanden positioniert werden. Runde Stößelformen sorgten für ein Abknicken der Folie, was eine adäquate Messung behinderte. Falten in der Folie führten zu stark schmerzhaften Ecken und möglicherweise verzerrten Schwellenwerten (Abbildungen 16 und 17). Druckschmerzmessungen waren mit dem vorhandenen System unmöglich.

In Vorversuchen erwiesen sich rechteckige Stößel in Kombination mit der Folie als optimaler. Das System musste optimiert werden und stand für diese Vorstudie nicht zur Verfügung.



Abbildung 16 – Abdruck der Druckmessfolie auf der Haut des Probanden, runder Stößel



Abbildung 17 – Verformung der Druckmessfolie nach einmaliger Messung mit einem runden Stößel

5.3.3 Lagerungsmaterialien

Ein kritisches Moment bei Druckschmerzschwellenmessungen ist eine ergonomische Lagerung der Probanden. Die Positionierung und Haltung darf den Probanden nicht anstrengen oder ermüden, keine unangenehmen Empfindungen oder Schmerzen (z.B. durch Ecken oder Kanten) hervorrufen und muss ein Widerlager darstellen, das Bewegungen der zu messenden Körperstelle verhindert.

In eingehenden Vorversuchen erwiesen sich die ursprünglich vom IFA zur Verfügung gestellten Lagerungsmaterialien (einige Vakuumkissen, Styropor- und Metallplatten sowie Bauteile der Firma item, Abbildung 18), mit Hilfe derer die Probanden innerhalb der Rahmenkonstruktion positioniert werden sollten, als nicht hinreichend praktikabel.

Deshalb wurden spezielle Lagerungshilfen erdacht, die sowohl für die Probanden als auch die Untersucher ein ergonomisches, effektives und effizientes Positionieren ermöglichten.



Abbildung 18 – Lagerungsmaterial: Vakuumkissen und Styroporplatten; Vorversuche

Ein hohes Maß an Flexibilität bei der Adjustierung und gleichzeitige Stabilität während der eigentlichen Messungen stellte eine enorme Herausforderung an die Materialien. Im Hinblick auf die Vielzahl der Messungen (pro Proband drei Messdurchgänge an 28 bzw. bei Männern 29 Körperstellen, siehe Kapitel 5.2) sollte ein Minimum an Lagerungseinstellungen sowie Umbauzeiten erreicht werden.

Die Erarbeitung der optimalen Lagerungseinstellungen begann mit dem Markieren sämtlicher potenzieller Messlokalisationen auf der Körperoberfläche eines Freiwilligen (Abbildung 19) mit anschließenden Positionierungsversuchen innerhalb



Abbildung 19 – Markierung potenzieller Messlokalisationen; Vorversuche

des Algometers. Dabei wurde darauf geachtet, innerhalb möglichst weniger Einstellungen sämtliche Messlokalisationen mit dem Stößel erreichen zu können (Abbildung 20). Anhand dieser Einstellungen wurden Konzepte für flexible, multifunktional einsetzbare, den Anforderungen entsprechende Lagerungselemente entworfen, die in enger Kooperation zwischen der AG Algometrie, dem IFA, der Schlosserei der Universitätsmedizin Mainz sowie der Firma item realisiert werden konnten (Kapitel 6.1).



Abbildung 20 – Lagerungsversuche für Extremität, Kopf und Brustkorb/Kopf

Analog zu den Lagerungselementen wurde auch die Rahmenkonstruktion des Algometers im Verlauf der Studie angepasst und optimiert, um ein möglichst effizientes Arbeiten zu ermöglichen (Abbildung 29 Seite 39).

5.4 Versuchsablauf

Der gesamte Versuchsablauf erstreckte sich in der Regel über ca. 2,5 Tage und beinhaltete die Voruntersuchungen, mindestens sieben Probemessungen, drei Messdurchgänge an den 29 (bzw. bei Frauen 28) Messlokalisationen, etwaige Wiederholungsmessungen sowie sämtliche klinische Untersuchungen.

Zunächst wurde an jeder Messlokalisation einmal gemessen (i.e. ein Messdurchgang), bevor der zweite Messdurchgang begann. Daher lag zwischen konsekutiven Messungen an einer Lokalisation in der Regel ein Abstand von mehr als einer Stunde. Bei Wiederholungsmessungen an derselben Messlokalisation wurde ein Mindestabstand von zehn Minuten zwischen den Messungen eingehalten.

Für zeitlich adäquate Messungen waren zwei Untersucher vonnöten. Es wurde darauf geachtet, dass Probanden und unmittelbar am Probanden agierende Untersucher (anamnestizieren, lagern, inspizieren, etc.) gleichen Geschlechts waren.

Die Probanden wurden gebeten, ausgeruht, nicht hungrig und in legerer Sportkleidung zu den Versuchstagen zu erscheinen. Alkoholgenuss vor und während der Untersuchungstage sollte vermieden werden. Bartträger wurden gebeten, sich nach Möglichkeit zu rasieren (Anhang 10.12).

Pausen wurden nach individueller Absprache, in den Umbaupausen sowie ab einem KSS-Wert von 7 ermöglicht.



Abbildung 21 – Messung im Kopfbereich, Proband mit Augenmaske und Augenklappe zum Schutz, Vorversuche

Die Probanden sollten die Messungen möglichst ohne äußere Einflüsse erleben. Um zumindest visuelle Reize (z.B. Algometer, Stößel, Untersucher) während der Messungen zu minimieren bzw. verhindern, wurde den Probanden nach erfolgter Positionierung und Lagerung eine Augenmaske aufgesetzt. Während Messungen im Kopf- und Gesichtsbereich (Schläfenregion, Kaumuskel, etc.) erhielten sie zusätzlich zur Augenmaske eine Schutzbrille oder Augenklappe, um sensible Weichteilregionen vor potenziellen Verletzungen zu schützen (Abbildung 21). Ferner lagen diverse Gekissen, Styroporkeile, Schaumstoffkissen und Klettbinden zur Positionierung und Fixierung bereit.

Direkt nach jeder einzelnen Messung füllte der Proband eine VAS ‚Aktueller Schmerz‘ aus, die bei höheren Angaben (>30 mm) mit der Schmerzvorerfahrung verglichen wurde, um ggf. sehr schmerzintensive Wahrnehmungen abzuklären. Etwaige Besonderheiten wie z.B. zu frühes oder spätes Betätigen des Tasters, Parästhesien durch Nervenreizungen, nicht plane Druckmessungen durch schräg aufgesetzte Stößel mit übermäßigem Druck an einer Kante oder sonstige Beobachtungen wurden notiert (Anhang 10.16). Sichtbare Veränderungen an der Haut wurden photographisch festgehalten.

In den Umbaupausen, in denen die Lagerungselemente an die neuen Messlokalisationen angepasst wurden, füllte der Proband die KSS und die Gesichtsskala aus.

5.4.1 Tag 1 (Voruntersuchung)

An Versuchstag 1, dessen Dauer drei Stunden nicht überstieg, durchliefen die Probanden klinische und psychologische Voruntersuchungen und lernten das Algometer im Rahmen der Probemessungen kennen.



Abbildung 22 – Probemessung mit einem handgeführten Algometer am Mittelfinger während der Voruntersuchung

Während der Voruntersuchung wurden drei Probemessungen mit einem handgehaltenen Algometer (Sauter FA 500, Greenwich, USA, Abbildung 22) an den oberen Extremitäten durchgeführt. Dies diente zum einen dem Kennenlernen des Prinzips der (Druck-) Schmerzschwellenmessung, zum anderen wurden die erhobenen Werte als grobe Anhaltspunkte für die Grenzkrafteinstellung des automatischen Algometers genutzt (vgl. Abbildung 13 Seite 23).

Bei erstmaligem Betreten des Algometer-Laborraums wurde der Proband aufgefordert den STAI-STATE sowie die KSS und die Gesichterskala auszufüllen. Anschließend bekam er eine Einführung in das Algometer mit genauen Erklärungen zum Ablauf der Messungen und der kommenden Versuchszeit. Insbesondere die Funktion des Zustimmungstasters wurde ausführlich erklärt und ein Testgerät zur Eingewöhnung bereitgestellt (Abbildung 11 Seite 22). Die strukturierte Probandeninformation dazu lautete:

„In Mittelstellung leuchtet die rote Lampe, sobald Sie den Taster loslassen oder durchdrücken erlischt die Lampe. Wenn Sie loslassen oder durchdrücken, bedeutet das in unserem Versuch, dass das Druckgefühl in gerade spürbaren Schmerz übergeht.“

Es folgten Demonstrationen der normalen Algometerfunktion, Grenzkraftüberschreitungen, Warngeräusche, Not-Aus-Funktionen, etc.

Anschließend wurden sieben Probemessungen durchgeführt (vgl. Tabelle 2 Seite 33), um dem Proband ein Gefühl für die Messungen mit dem Algometer und seiner persönlichen Druckschmerzschwelle zu geben. Diese Messungen fanden an nicht studienrelevanten Messlokalisationen statt. Der Untersucher las während der Messungen weitere Instruktionen vor (Anhang 10.15).

Während der Probemessungen konnten sich die Probanden an das Algometer gewöhnen und gleichzeitig die Vakuumkissen (Firma Schmidt GmbH, Garbsen; Abbildung 27 Seite 38) und Lagerungselementeinstellungen (Abbildung 28 Seite 38) für die folgenden Messtage präpariert und dokumentiert werden.

Vor und während der ersten Messung wurde folgende Instruktion vorgelesen:

„Eine Messung läuft folgendermaßen ab:

Zunächst kalibriert sich das Gerät, man hört dies durch leises Surren.

Nun müssen die Zustimmungstaster in Mittelstellung sein, damit die Messung beginnen kann.

Der Messvorgang beginnt mit einem Signalton und der Stößel fährt bis zu einem gewissen Druck auf Ihre Haut. Erst nach Ertönen des zweiten Signaltons beginnt die eigentliche Messung.

Nun beginnt sofort die Messung. Das Algometer fährt so lange vor, bis Sie den Taster loslassen.

Bitte lassen Sie genau in dem Moment los, in dem das Gefühl von einem Druck in einen gerade spürbaren Schmerz übergeht.“

Die Instruktion „Bitte lassen Sie genau in dem Moment los, in dem das Gefühl von einem Druck in einen gerade spürbaren Schmerz übergeht.“, wurde bei jeder Messung wiederholt.

Tabelle 2 – Untersuchungsprotokoll für Probemessungen an nicht studienrelevanten Messlokalisationen auf der dominanten (dom) und nicht-dominanten (ndom) Körperseite

Messung	Lokalisation	Besonderheit
1. Messung	Mittelfingerbeere dom	ohne Augenmaske
2. Messung	Mittelfingerendgelenk (dorsal) ndom	ohne Augenmaske
3. Messung	Mittelfingerendgelenk (palmar) dom	Augenmaske
4. Messung	Mittelfingerbeere ndom	Augenmaske
5. Messung	Stirn Außenseite rechts	Augenmaske, Kraftanstieg 2N/s
CAVE: Bei angespannten Probanden zunächst Stirn Außenseite links ohne Augenmaske messen		
6. Messung	oberhalb der Schläfe ndom	Augenmaske, Kraftanstieg 2 N/s
7. Messung	Wadenmuskel dom	Augenmaske

5.4.2 Tag 2 und 3 (Messtage)

An den Versuchstagen 2 und 3 wurden jeweils 1,5 Messdurchgänge absolviert. Nach jedem Durchgang wurden sämtliche Messlokalisationen auf Veränderungen untersucht. Die Messtage dauerten inklusive Umbau-, Mittags- und etwaiger Erholungspausen nicht länger als acht Stunden.

Zu Beginn des zweiten Versuchstages (i.e. erster Messtag) wurden vom Probanden der STAI-STATE sowie die KSS und die Gesichterskala ausgefüllt. Der Untersucher überprüfte den Gesundheitszustand (Anamnese, Blutdruck, Herzfrequenz) sowie die Messlokalisationen anhand eines Körperschema-Bogens (vgl. Anhang 10.14) auf Auffälligkeiten.

War seit der Einführung und den Probemessungen (Kapitel 5.4.1) mehr als ein Tag vergangen, wurde abermals eine einzelne Probemessung an einer nicht studienrelevanten Messlokalisation durchgeführt.

Anschließend wurden 1,5 Messdurchgänge nach der jeweils probandenspezifischen Randomisierung durchgeführt und nach jedem Messdurchgang sämtliche Messlokalisationen auf mögliche Veränderungen inspiziert.

Nach Abschluss des dritten Messdurchgangs wurde der Proband gebeten, eine kurze Rückmeldung zum Versuchsablauf und seinen Eindrücken zu geben (Anhang 10.17).

5.4.3 Exemplarische Darstellung einer einzelnen Messung

Bevor eine Messung gestartet wurde, wurden im PC-Programm die Grunddaten der Messung (Proband, Messlokalisation etc.) in einer Maske eingegeben.

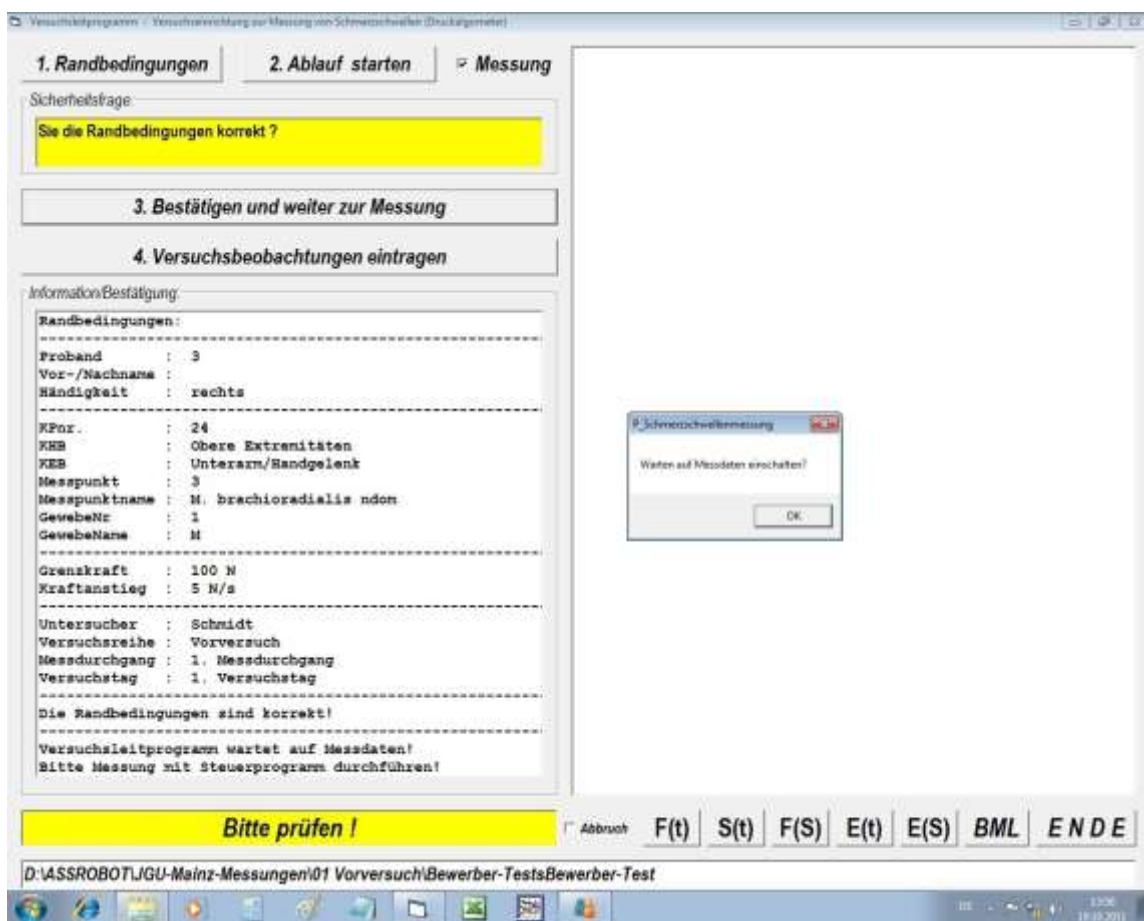


Abbildung 23 – Eingabemaske des Algotometer-PC-Programms

Anschließend wurde der Proband gelagert und der Stößel senkrecht über der Messlokalisation ausgerichtet (Abbildung 24 Seite 35). Sobald Proband und Untersucher ihre Taster drückten, wurde unter Aufsagen der Instruktionen die Messung gestartet.



Abbildung 24 – Lagerung einer Probandin
(a) Positionieren der Messlokalisierung
(b) Modellieren des Vakuumkissens
(c) Ausrichten des Algometers

Der Aktuator fuhr nach Ertönen eines ersten Warnsignals bis zu einer Kraft von 5 N an die Messlokalisierung heran und fuhr wieder zurück, bis eine Kraft von 2 N gemessen wurde (erstes Heranfahen und Kalibrierung, „Herantasten“, Abbildung 25).



Abbildung 25 – Stößel beim ersten Heranfahen („Herantasten“) an die Messlokalisierung Deltamuskel

Anschließend ertönte ein zweites Warnsignal und die eigentliche Messung mit 5 N/s Kraftanstieg (bzw. 2 N/s an Schläfe und Kaumuskel) wurde initiiert.

Nach Erreichen der Druckschmerzschwelle und Betätigen (loslassen/durchdrücken) des Zustimmungstasters durch den Probanden wurde die Messung abgeschlossen. Die Daten wurden automatisch an das Algometer und die Software übertragen und der Aktuator fuhr in die Ausgangsposition zurück.

6 Ergebnisse

Im Abschnitt 6.1 werden zunächst die Ergebnisse zu den Lagerungselementen präsentiert.

In den Abschnitten 6.2ff werden die Messergebnisse der Pilotstudie dargestellt.

6.1 Lagerungsmaterialien

Ein einziger Messdurchgang an 29 Messlokalisationen dauerte mit den ursprünglich vom IFA zur Verfügung gestellten Lagerungsmaterialien (Kapitel 5.3.3) ohne Pausen- und Erholungszeiten teilweise mehr als fünf Stunden. Durch Optimierung der Lagerungselemente und –einstellungen konnte dieser Zeitraum auf drei Stunden inklusive Pausen begrenzt werden. Die Gesamtversuchsdauer reduzierte sich dadurch um mehr als sechs Stunden.

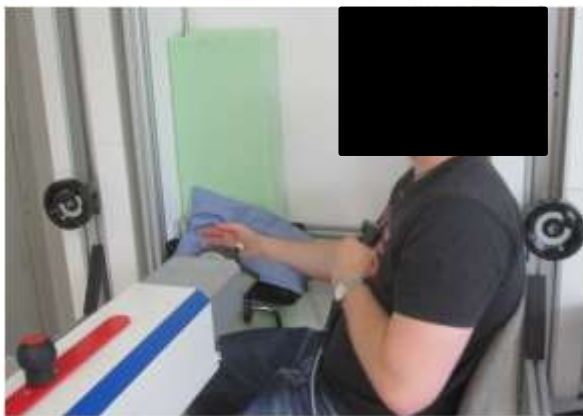


Abbildung 26 – Messung an der dominanten Hand,
links: Vorversuch mit unflexiblem Styroporkeil



rechts: Hauptversuch mit optimierten
Lagerungsmaterialien

Mit den Styroporplatten konnte keine ausreichende Fixierung der Probanden erreicht werden (Abbildung 26). Hinzu kam, dass nicht für alle Probandengrößen zurechtgeschnittene Styroporplatten bereitlagen. Diese jedoch für jeden einzelnen zurechtzuschneiden, bedeutete einen nicht zu rechtfertigen Aufwand in Bezug auf Zeit, Lagerung und Reinigung. Zudem sollten keine Styroporreste und- kugeln in die Mechanik des Algometers gelangen.

Ein weiterer wesentlicher Grund für die Zeiteinsparung waren die Vakuumkissen, die – einmal an den Probanden angepasst – beliebig oft in derselben stabilen, ergonomischen Form eingesetzt werden konnten (Abbildung 27 Seite 38).



Abbildung 27 – Vakuumpissen

Durch Markierungen an der Algoterrahmenkonstruktion sowie den einzelnen Lagerungselementen (Abbildung 28) konnte zügig eine erneute, praktisch identische Positionierung des Probanden und Algoters erreicht werden, was die Reproduzierbarkeit der Messungen enorm erhöhte.

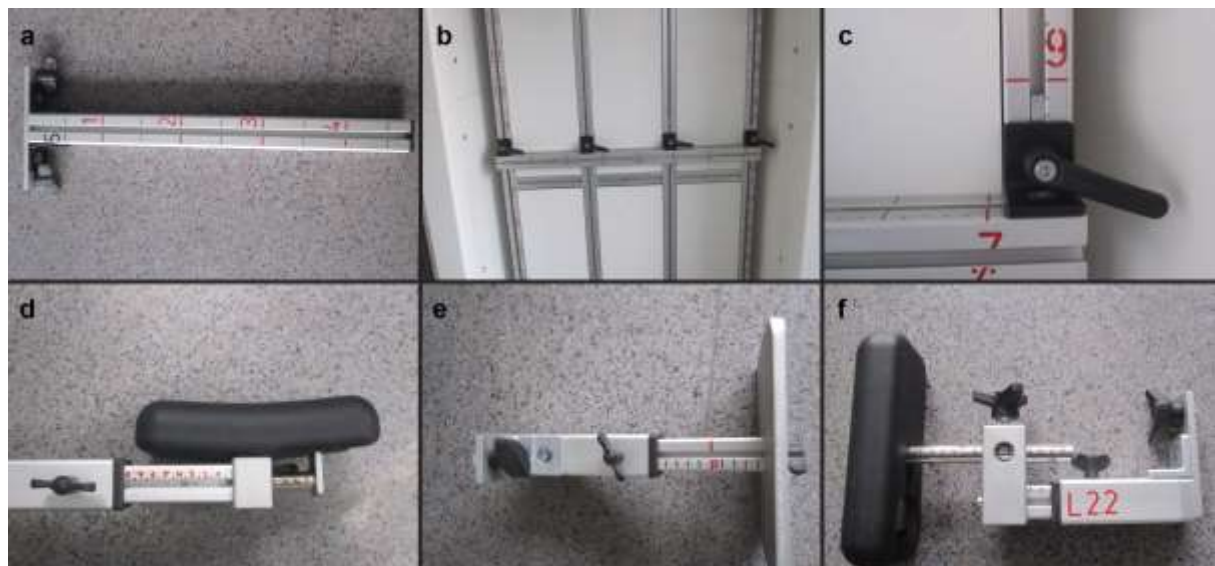


Abbildung 28 – diverse Lagerungselemente mit cm-Markierung

- a) Querträger für andere Elemente
- b) höhenverstellbarer Querträger an der Rückwand
- c) schnellverstellbarer Klemmhebel (Firma item)
- d) variable Kinnstütze mit Flügelschraube
- e) Metallplatte, durch Flügelschrauben höhen- und tiefenverstellbar
- f) Stützelement, höchst flexibel durch mehrere Dreisterngriffe (Firma Ganter)

Durch Veränderungen der Algoterrückwand (Abbildung 29 Seite 39) und leichter Optimierung der Rahmenkonstruktion konnten die Lagerungselemente vielseitiger eingesetzt und zeitsparender versetzt und montiert werden.



Abbildung 29 – Algoterrückwand vor (links) und nach (rechts) Optimierung

Für die Untersucher wurde eine genaue Anleitung erarbeitet, welche einen Messablauf, Anordnungen der Elemente und bebilderte Erklärungen zu den Lagerungsmaterialien beinhaltet.

Die einzelnen Lagerungsaufbauten sollen nachfolgend anhand der (Messgruppen-) Blöcke exemplarisch für einen Rechtshänder veranschaulicht werden.

Messungen des Blocks 1 wurden im Stehen durchgeführt. Für alle anderen Messungen nahm der Proband Platz auf einem Stuhl.

Der Lagerungsaufbau 1.1 (Abbildung 30 und Tabelle 3 Seite 40) diente Messungen über dem Dornfortsatz des 5. Lendenwirbelkörpers sowie am Wadenmuskel. Als Widerlager dienten jeweils ein Vakuumkissen und eine Metallplatte hinter der Messlokalisation. Der Proband stand mit dem Gesicht zur Algoterrückwand.

Durch Verschieben der Metallplatte im Beinbereich, Austausch der vorgeformten Kissen und Herumdrehen des Probanden wurde Aufbau 1.2 des Blocks realisiert (Abbildung 31 Seite 41).

Tabelle 3 – Block 1 mit nicht-dominanten Messstellen sowie dem Lendenwirbelkörper 5

Block 1	Lagerungs- aufbau	Messlokalisierung
	1.1	Dornfortsatz 5. Lendenwirbelkörper
	1.1	Wadenmuskel
	1.2	Schienbeinkante
	1.2	Kniescheibe
	1.2	Oberschenkel
	1.2	Beckenkammknochen

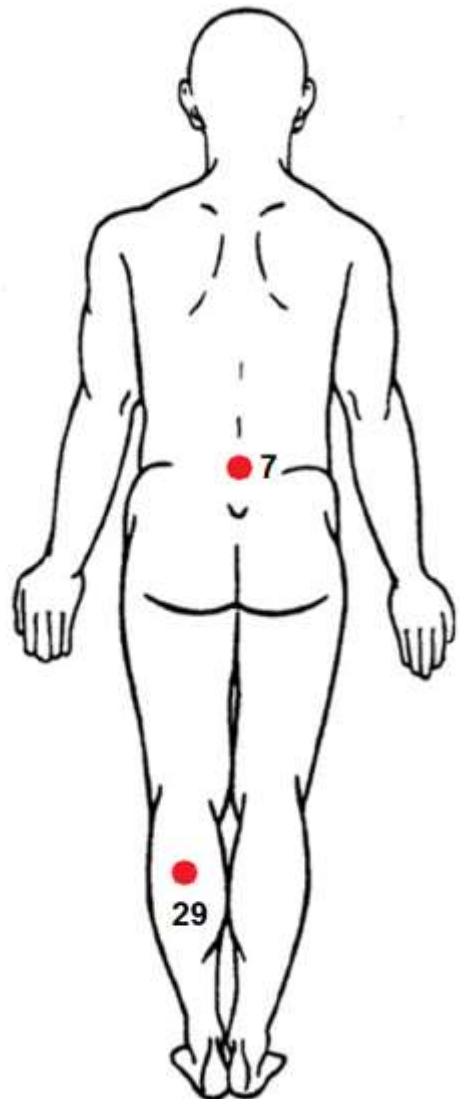


Abbildung 30 – Lagerungsaufbau 1.1 (links)
Proband mit Gesicht zur Rückwand, Messpunkte rot
markiert (rechts); vgl. Tabelle 1 Seite 16

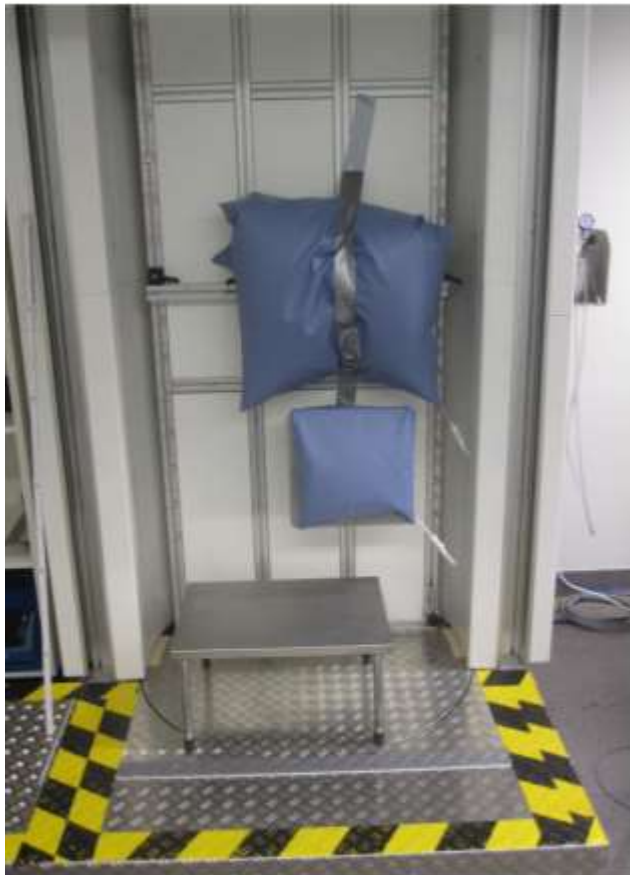
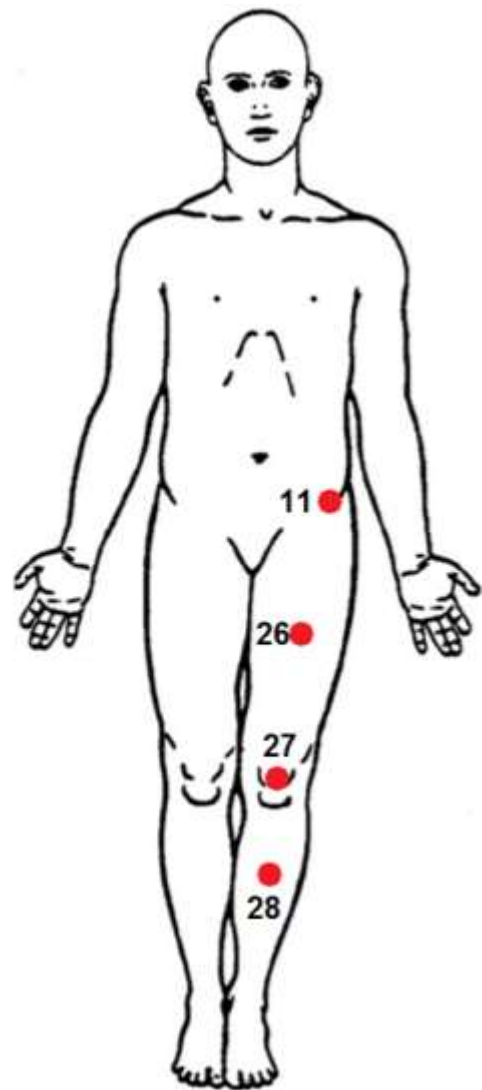


Abbildung 31 – Lagerungsaufbau 1.2 (links)
Proband mit Rücken zur Rückwand, Messpunkte rot
markiert (rechts); vgl. Tabelle 1 Seite 16



Zum Messblock 2 gehörte eine einzelne Messlokalisierung im Nackenbereich. Um eine angenehme, sitzende Position während der Messung zu gewährleisten, wurde die Bodenplatte verstellt und der Stuhl darauf positioniert. Ein Widerlager im Bereich des vorderen Schultergürtels verhinderte Bewegungen der Messstelle (Abbildung 32a-c Seite 42). Die Atmung des Probanden durfte dabei nicht behindert werden.

Tabelle 4 – Messlokalisierung des Blocks 2

Block 2	Lagerungs- aufbau	Messlokalisierung
	2.1	Dornfortsatz 7. Halswirbelkörper



Abbildung 32 – Lagerungseinstellung zur Messung im Nackenbereich. (a) gedrehte Algometerplattform, (b - c) Vakuumkissen als Widerlager; Messpunkt rot markiert (d); vgl. Tabelle 1 Seite 16

Während Messungen des Blocks 3 saß der Proband mit dem Rücken zur Algometerrückwand (Abbildung 33a Seite 43). Die Messungen wurden von frontal durchgeführt. Durch das Anbringen einer Kinnstütze (Abbildung 33b und c Seite 43) wurde die Stirnmessung ermöglicht.

Tabelle 5 – Block 3, Messungen überwiegend an nicht-dominanten Messstellen im Brust- und Bauchbereich sowie an der Stirn. Messungen am Brustmuskel wurden nur bei männlichen Probanden durchgeführt.

Block 3	Lagerungs- aufbau	Messlokalisation
	3.1	Bauchmuskel
	3.1	Brustbein
	3.1	Brustmuskel (nur Männer)
	3.1	Schultergelenk vorne
	3.2	Stirnmitte



Abbildung 33 – Messungen im Bauch-, Brust- und Gesichtsbereich (d), Messung an der Stirn mit Abstützen des Kinns (c). Messpunkte rot markiert (d); vgl. Tabelle 1 Seite 16

Block 4 beinhaltete Messungen der oberen Extremitäten. Durch einfaches Tiefenverstellen des Armlagerungselements (Abbildung 34a und b Seite 44) war dabei ein schneller Wechsel zwischen dominanter und nicht-dominanter Körperseite möglich, ohne dass der Proband neu positioniert werden musste.

Tabelle 6 – Block 4, dominante und nicht-dominante Körperstellen an der oberen Extremität. N. = nervus, Nerv.

Block 4	Lagerungs- aufbau	Messlokalisation
	4.1	Zeigefingerendgelenk
	4.1	Handrücken
	4.2	Zeigefingerbeere
	4.2	Handinnenfläche
	4.2	Daumenballen
	4.3	Speichenknochen
	4.3	N. medianus

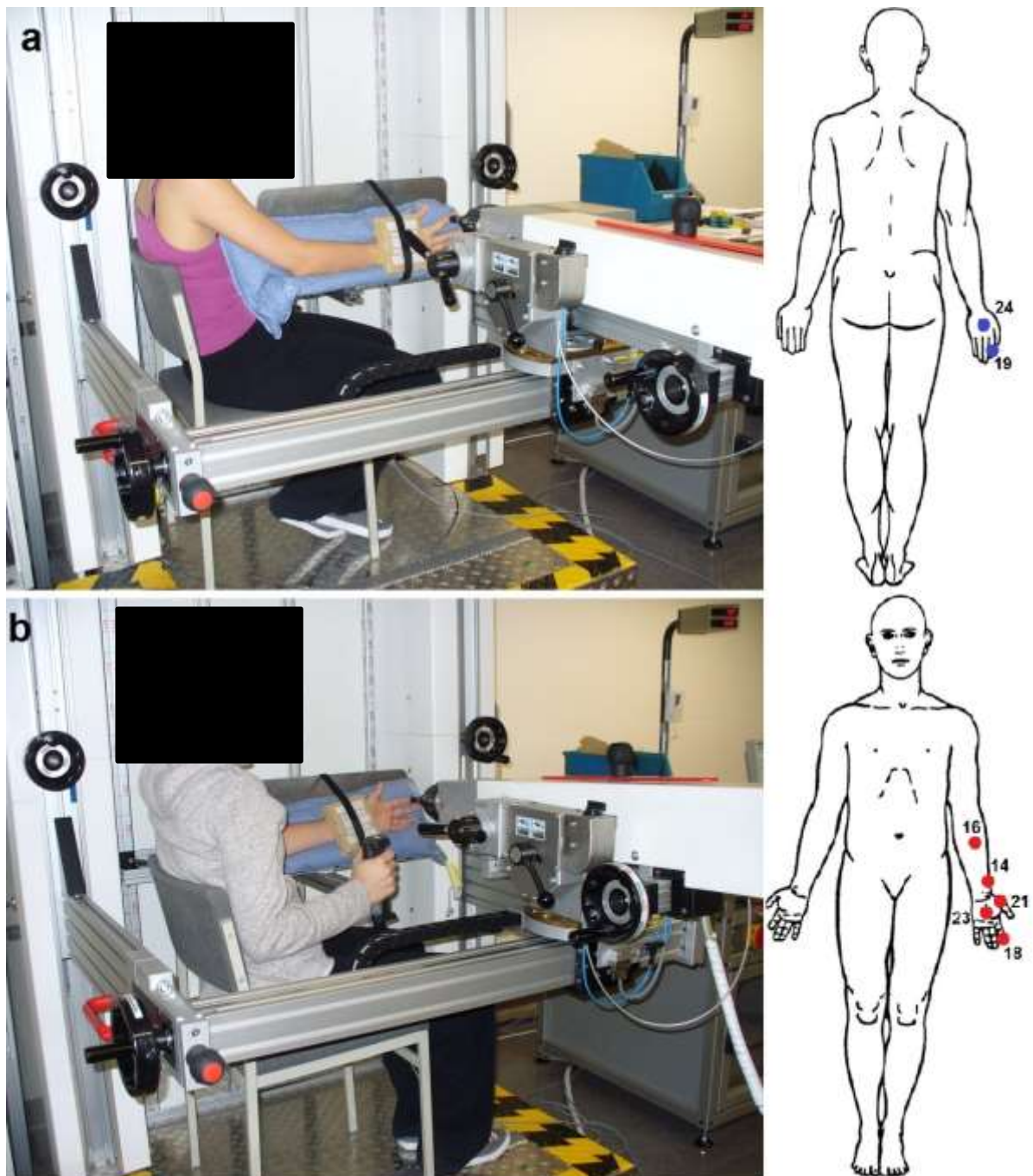


Abbildung 34 – Messungen an der dominanten (a, blau) und nicht-dominanten (b, rot) oberen Extremität; Messpunkte markiert; vgl. Tabelle 1 Seite 16

Block 5 umfasste neben Messungen der Extremitäten auch Messungen seitlich am Kopf (Abbildung 35a-e und Tabelle 7 Seite 45). Analog zum Aufbau des Blocks 4 wurde lediglich die Armhalterung verschoben sowie zusätzlich für die Kopfmessungen eine Halterung samt Kissen als Widerlager angebracht (Abbildung 35c Seite 45). Der Proband konnte währenddessen auf dem Stuhl sitzen bleiben. Längere Pausenzeiten wurden so vermieden.

Tabelle 7 – Messlokalisationen des Blocks 5 an dominanter und nicht-dominanter oberer Extremität sowie am Kopf

Block 5	Lagerungs- aufbau	Messlokalisation
	5.1	Deltamuskel
	5.1	Oberarmknochen
	5.1	Unterarmmuskel
	5.1	Handrücken
	5.1	Zeigefingerendgelenk
	5.2	Zeigefingerbeere
	5.2	Handinnenfläche
	5.3	Schläfe
	5.3	Kaumuskel
	5.3	Halsmuskel

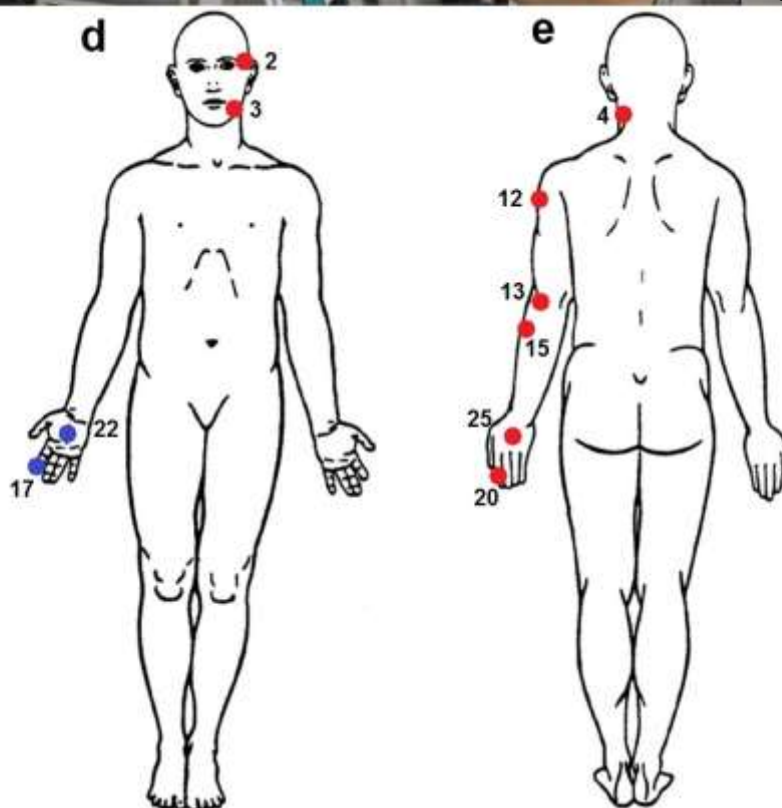
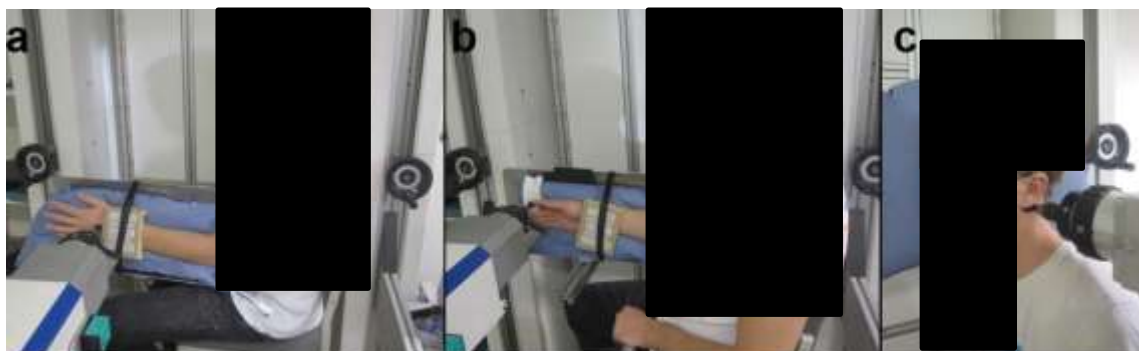


Abbildung 35a-e – Lagerungsaufbau und Messstellen an dominanter (b, blau) und nicht-dominanter (a, c, rot) Körperseite; Messpunkte markiert; vgl. Tabelle 1 Seite 16

6.1.1 Versuchseinrichtung und Algometer

Es gab weder technische Probleme noch Ausfälle des Algometers oder der eingesetzten Hilfsmittel.

Der Aktuator sorgte für einen praktisch konstanten Kraftanstieg (Abbildung 36), der – bis auf Messungen im Brust- und Bauchbereich aufgrund der Atemexkursionen (Abbildung 37) – quasi linear war.

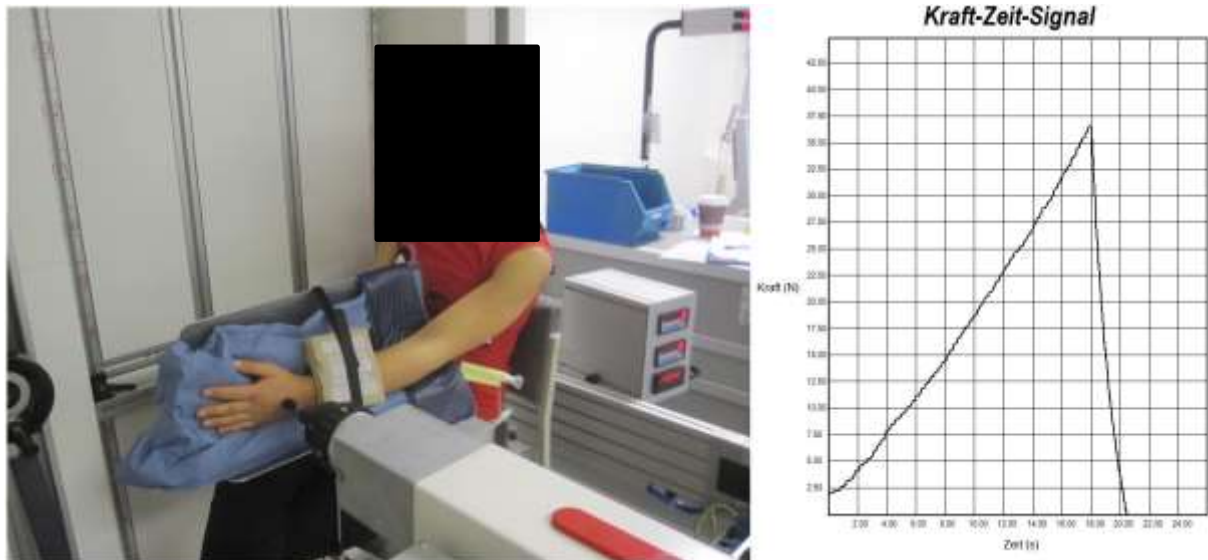


Abbildung 36 – linearer Kraft-Zeit-Verlauf während einer Messung am Handrücken



Abbildung 37 – nicht-linearer Kraftanstieg (durch Atemexkursion) während einer Messung am Brustmuskel, anspannungsbedingte, beschleunigte Atmung des Probanden

6.2 Druckschmerzschwellen

Die Druckschmerzschwellenwerte unterlagen sowohl einer inter- als auch intraindividuellen Streuung. Teilweise streuten die Messwerte erheblich, wie in Abbildung 38 sichtbar wird.

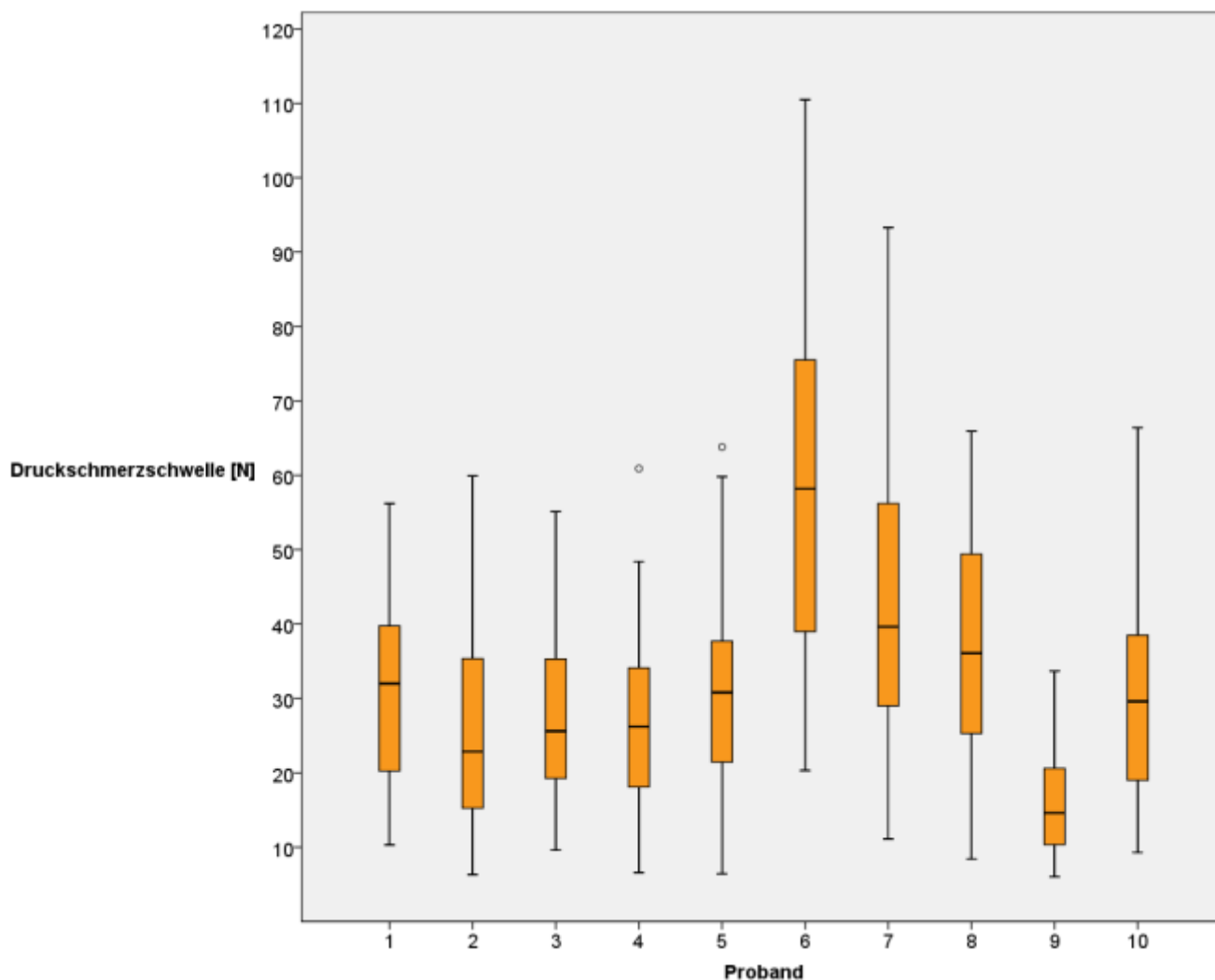


Abbildung 38 – Druckschmerzschwellenwerte aller Messungen eines Probanden (n = 87 Messungen, n = 84 Messungen bei weiblichen Probanden 2, 4, 7 und 9)

- = Ausreißer (1,5-3fache Boxenlänge von 1. bzw. 3. Quartil abweichend)
- ┌ = oberer Whisker (Werte innerhalb des 1,5fachen Interquartilsabstands)
- ▣ = 3. Quartil
- = Median
- ▤ = 1. Quartil
- └ = unterer Whisker (Werte innerhalb des 1,5fachen Interquartilsabstands)

Der höchste, jemals erhobene Kraftwert einer Messung lag bei 110,5 N (Stirn, Proband 6), der niedrigste bei 6,0 N (Bauchmuskel, Probandin 9).

Die durchschnittlich (Mittelwert aller drei Messungen, n = 10 Probanden) empfindlichsten Messlokalisationen waren Kaumuskel, Schläfe und Halsmuskel (13,3 N, 15,5 N und 16,4 N).

Die entsprechend unempfindlichsten Messstellen waren dominante Handinnenfläche, nicht-dominante Zeigefingerbeere und nicht-dominante Handinnenfläche (46,7 N, 45,7 N und 44,7 N).

Intraindividuell war die Streuung sehr verschieden. Werte von Probanden mit generell niedrigen Druckschmerzschwellen lagen näher beieinander, als von Probanden mit einer großen Spannweite von Werten (Abbildung 39 Seite 50).

Der maximale Unterschied der Druckschmerzschwelle (Mittelwert der drei Messungen) zwischen zwei Messlokalisationen betrug bei einem Probanden 83,9 N (Kaumuskel = 20,5 N; dominante Zeigefingerbeere = 104,4 N).

Auch an den einzelnen Messlokalisationen streuten die Werte unterschiedlich stark, wie in Tabelle 8 (Seite 49) und Abbildung 40 (Seite 51) zu sehen ist.

Bei zwei Probanden lag z.B. die durchschnittliche Druckschmerzschwelle (Mittelwert der drei Messungen) am Oberschenkel 102 N auseinander.

Die Druckschmerzschwellen können selbst an ähnlich beschaffenen Messlokalisationen sehr stark streuen, obwohl über gleichartigem Gewebe (z.B. Knochen) gemessen wurde. Beispielsweise war die durchschnittliche Druckschmerzschwelle (Mittelwert aller drei Messungen, n = 10 Probanden) an der Schläfe wesentlich niedriger als an der Stirn, obwohl es sich auch um eine knöcherne Struktur handelt (12,7 vs. 26,5 N).

Messlokalisierung		Druckschmerzschwelle (N)					
Nummer	Bezeichnung	medizinische Bezeichnung	Mittelwert	Median	SD	Minimum	Maximum
1	Stirnmitte	Os frontale	33,3	26,5	23,0	10,9	110,5
2	Schläfe ndom	Temporal ndom	15,5	12,7	8,1	6,6	40,8
3	Kaumuskel ndom	M. masseter ndom	13,3	11,5	5,4	6,3	26,3
4	Halsmuskel ndom	M. sternocleidomastoideus ndom	16,4	13,8	9,7	6,4	42,2
5	Dornfortsatz 7. Halswirbelkörper	Processus spinosus vertebrae cervicalis VII	25,4	23,3	13,6	10,3	74,4
6	Shouldergelenk vorne ndom	Processus coracoideus ndom	24,8	21,9	11,7	7,9	53,4
7	Dornfortsatz 5. Lendenwirbelkörper	Processus spinosus vertebrae lumbalis V	41,3	38,9	14,9	11,9	72,0
8	Brustbein	Sternum	31,1	28,7	14,3	11,8	80,1
9	Brustmuskel ndom (nur bei Männern)	M. pectoralis ndom	20,2	17,8	7,9	10,8	37,5
10	gerader Bauchmuskel ndom	M. rectus abdominis ndom	19,2	15,3	11,4	6,0	49,5
11	Beckenkammknochen ndom	Spina iliaca anterior superior ndom	25,9	24,7	9,7	7,4	47,1
12	Deltamuskel ndom	M. deltoideus ndom	28,4	25,2	13,5	10,6	64,5
13	Oberarmknochen ndom	Epicondylus lateralis humeri ndom	32,1	30,7	15,6	8,1	81,6
14	Speichenknochen ndom	Processus styloideus radii ndom	30,4	30,7	9,1	16,5	55,3
15	Unterarmmuskel ndom	M. extensor carpi ulnaris/radialis ndom	29,8	25,0	17,1	8,1	81,4
16	Mittelnerv	N. medianus ndom	34,5	30,9	16,4	11,7	72,2
17	Zeigefingerbeere dom	Phalanx distalis Dig. II (palmar) dom	43,2	36,6	25,8	12,3	108,6
18	Zeigefingerbeere ndom	Phalanx distalis Dig. II (palmar) ndom	45,7	43,4	18,6	16,0	91,2
19	Zeigefingerendgelenk dom, handrückenseitig	DIP Dig. II (dorsal) dom	38,6	41,1	14,6	14,3	67,6
20	Zeigefingerendgelenk ndom, handrückenseitig	DIP Dig. II (dorsal) ndom	33,3	33,2	14,3	12,8	77,8
21	Daumenballen ndom	Thenar ndom	32,8	34,0	12,5	11,8	56,3
22	Handinnenfläche dom	Palma manus dom	46,7	43,5	16,3	17,7	91,2
23	Handinnenfläche ndom	Palma manus ndom	44,7	43,3	17,5	17,6	93,3
24	Handrücken dom	Dorsum manus dom	35,6	35,3	12,9	15,7	63,8
25	Handrücken ndom	Dorsum manus ndom	36,2	31,5	18,4	12,1	76,6
26	Oberschenkelmuskel ndom	M. rectus femoris ndom	37,5	32,1	23,9	8,0	109,6
27	Kniescheibe ndom	Patella ndom	39,1	35,7	18,1	9,7	85,1
28	Schienbeinkante ndom	Tibia ndom	39,6	35,7	14,0	22,1	82,0
29	Wadenmuskel ndom	M. gastrocnemius ndom	42,7	43,6	22,6	7,3	99,8

Tabelle 8 – Druckschmerzschwellen aller Messlokalisierung, n = 10 Probanden, n = 6 Messungen für Messstelle Brustmuskel (nur m)
dom = dominante Körperseite, ndom = nicht-dominante Körperseite

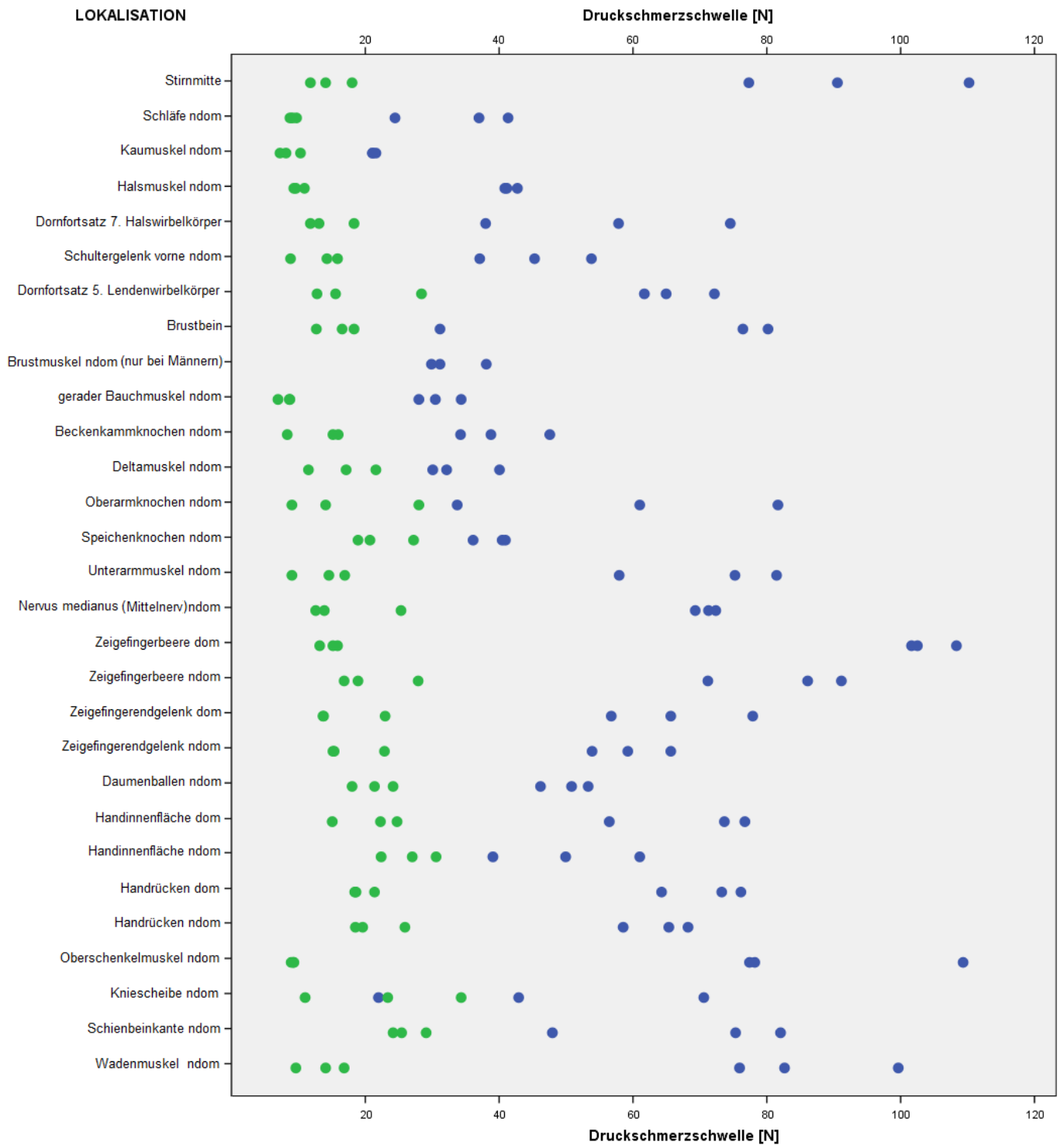


Abbildung 39 – Intra- und interindividueller Streuung der Werte; exemplarisch für Proband 6 (blau) und Probandin 9 (grün)
 ndom = nicht-dominante Körperseite, dom = dominante Körperseite

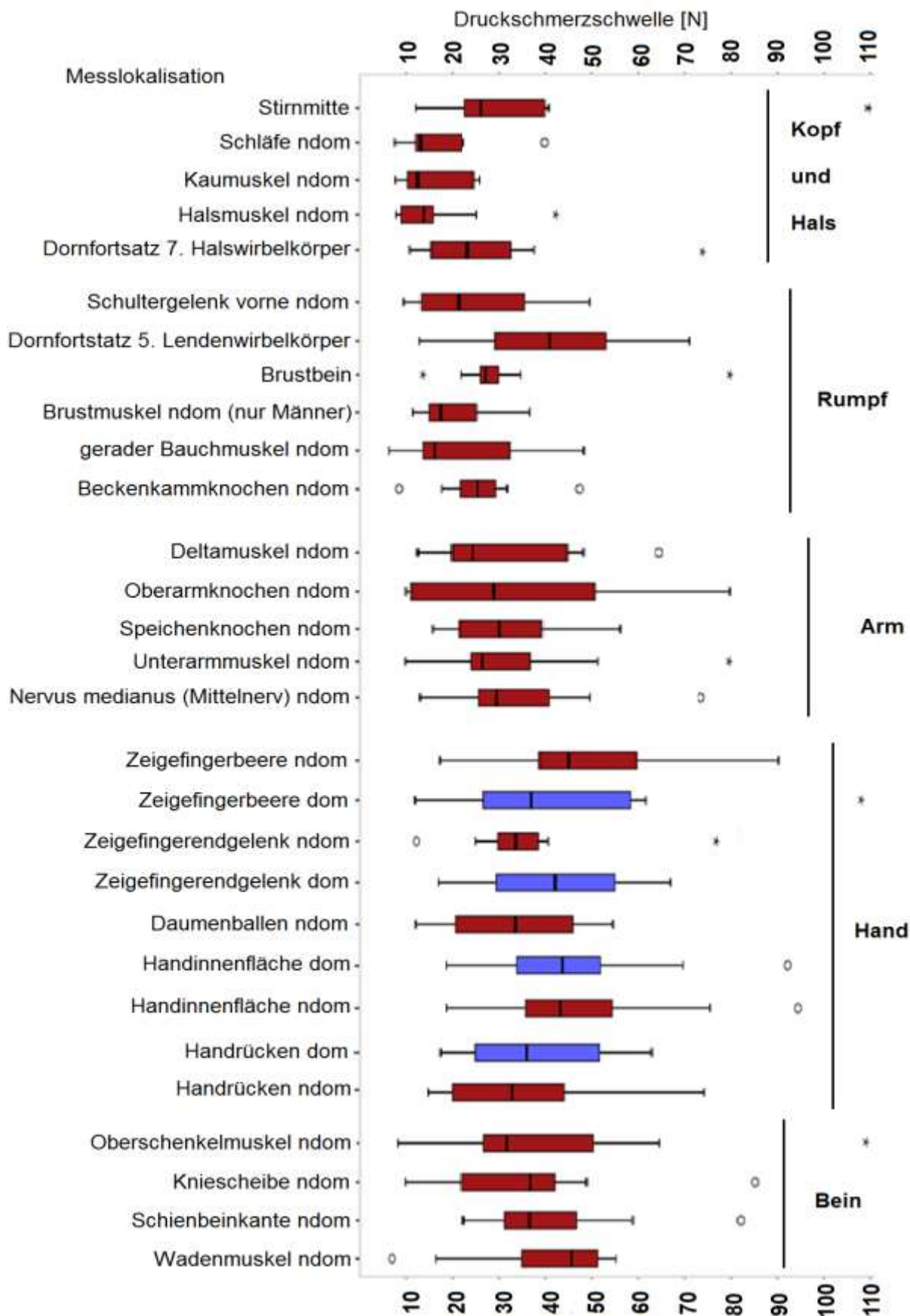


Abbildung 40 – Druckschmerzschwelle aller Messlokalisationen (mit Körperteilbereich), n = 10 Probanden, Messungen am Brustmuskel nur bei männlichen Probanden, dom = dominante Körperseite in blau, ndom = nicht-dominante Körperseite in rot dargestellt (Melia 2015)

- * = Extremwert (mehr als 3fache Boxenlänge von 1. bzw. 3. Quartil abweichend)
- o = Ausreißer (1,5-3fache Boxenlänge von 1. bzw. 3. Quartil abweichend)
- | = oberer Whisker (Werte innerhalb des 1,5fachen Interquartilsabstands)
-] = 3. Quartil
- | = Median
- [= 1. Quartil
- | = unterer Whisker (Werte innerhalb des 1,5fachen Interquartilsabstands)

6.2.1 Schmerzintensität

Die angegebene Schmerzintensität (VAS) lag im Median bei 6 mm (rechnerisch gerundetes Minimum 0 mm, Maximum 32 mm, Mittelwert 7,9 mm, vgl. Abbildung 41).

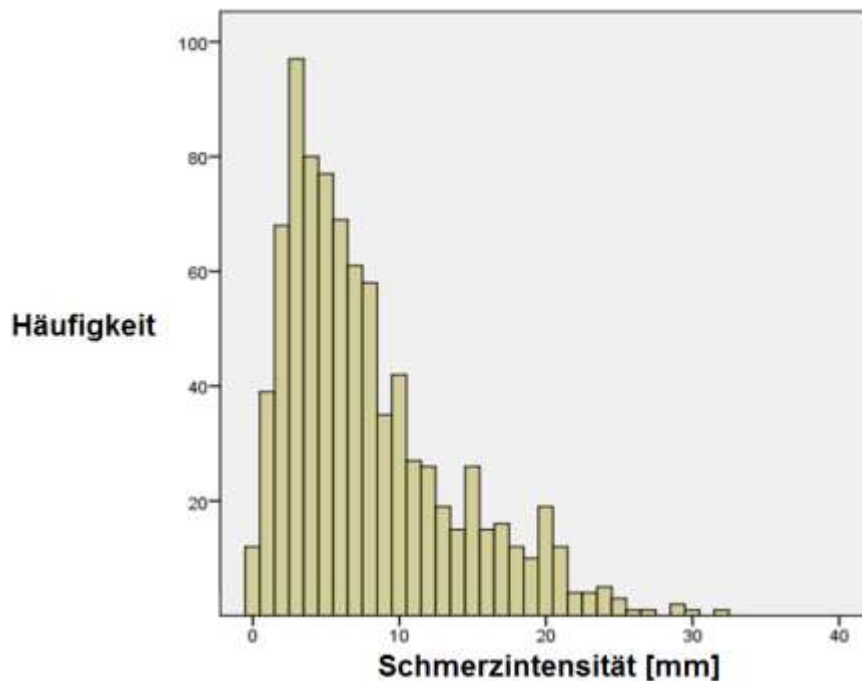


Abbildung 41 – Häufigkeitsverteilung der angegebenen Schmerzintensität auf einer VAS-Skala (0 – 10 cm, kein Schmerz – stärkster, vorstellbarer Schmerz)

Der höchste VAS-Wert lag bei 32 mm und wurde nach einer Messung an der dominanten Handinnenfläche mit einer Kraft von 54,9 N von Proband 10 angegeben. Die nächst höheren VAS-Werte lagen bei 30 mm (Oberarmknochen, 30,2 N, Proband 10) und jeweils 29 mm (nicht-dominantes Zeigefingerendgelenk, 41,6 N sowie Wadenmuskel, 7,3 N; beide Proband 2)

Der intensivste, jemals von einem Probanden vernommene Schmerz (Schmerzvorerfahrung) lag bei 76 mm (Minimum 26 mm, Median 65 mm, Mittelwert 58,10 mm).

6.2.2 Zustandsangst

Die Zustandsangst der Probanden (STAI-STATE, Abbildung 42) veränderte sich kaum zwischen den vier Erhebungszeitpunkten (Voruntersuchung, erstmaliges Betreten des Algometerraums, Beginn des ersten Messtages, Ende des zweiten Messtages) χ^2 -Test: 1,16, $p = .76$ (Friedman-Test) und war vergleichsweise niedrig. Der STAI-Mittelwert aller Probanden lag bei $37,4 \pm 5$ (männliche Probanden $36,7 \pm 1,6$; weibliche $38,6 \pm 2,5$).

Ein Proband erreichte mit 50 Punkten (bei theoretischen Summenwerten zwischen 20 und 80) bei der Voruntersuchung den höchsten Wert (weitere Werte des Probanden in chronologischer Reihenfolge: 37, 36 und 35).

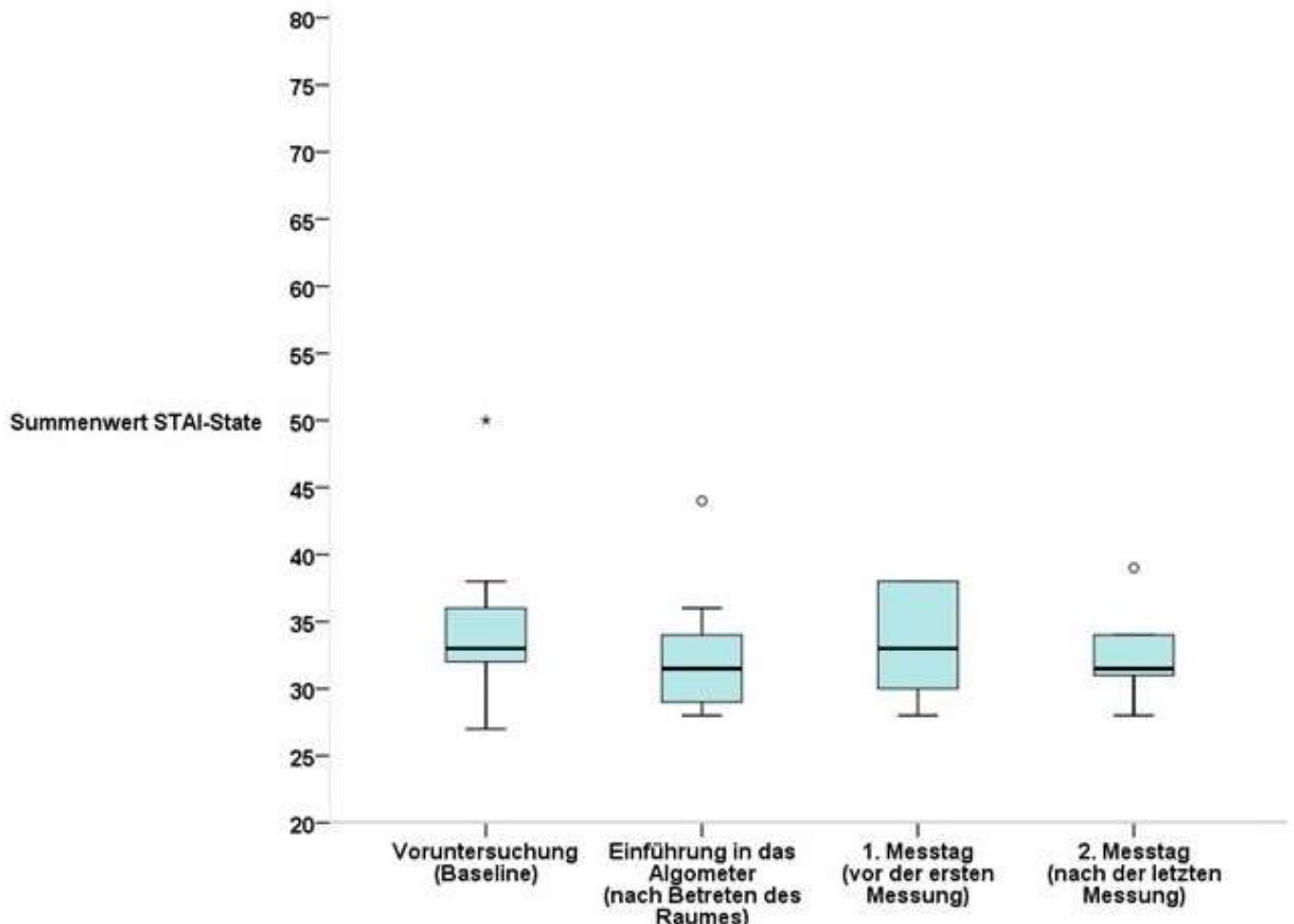


Abbildung 42 – STAI-Werte im Verlauf des Experiments (n = 10 Probanden) (Melia 2015)

- * = Extremwert (mehr als 3fache Boxenlänge von 1. bzw. 3. Quartil abweichend)
- = Ausreißer (1,5-3fache Boxenlänge von 1. bzw. 3. Quartil abweichend)
- ┌ = oberer Whisker (Werte innerhalb des 1,5fachen Interquartilsabstands)
- ▢ = 3. Quartil
- = Median
- ▣ = 1. Quartil
- └ = unterer Whisker (Werte innerhalb des 1,5fachen Interquartilsabstands)

6.3 Beobachtungen und Rückmeldungen der Probanden

Bei keinem der Probanden kam es während oder im Anschluss an die Messungen zu Veränderungen, Schürfungen oder sonstigen Verletzungen der Haut bzw. des umliegenden Gewebes. Kein Proband brach die Versuche ab.

Vier Probanden hatten während der Probemessungen Schwierigkeiten, ihre Druckschmerzschwelle zu definieren. Dieser Umstand konnte durch weitere Probemessungen vor den Hauptversuchen behoben werden.

Unangenehm empfanden drei Probanden das erste Heranfahren des Stößels vor der eigentlichen Messung (auf 5 N, vgl. Kapitel 5.4.3) an den Messlokalisationen Kaumuskel und Kopfwendemuskel. Ferner wurden vereinzelt Probleme bei Messungen an Brustmuskel, Brustbein und Bauch erwähnt, da Atembewegungen hier zu einem inkonstanten Druckanstieg führten. Probanden atmeten teilweise flacher und schneller oder hielten die Luft ganz an.

Die Probanden gaben in ihren Abschlussfragebögen überwiegend positive Rückmeldungen zur Versuchseinrichtung, dem Messverfahren und den Lagerungselementen.

a. repräsentative Auswahl positiver Rückmeldungen:

„insgesamt angenehme, wenn auch neue Situation“, „angenehme Temperatur, kein Durst oder Hunger“, „es ist nicht langweilig, die Pausen sind gut“, „die Messungen sind gut auszuhalten“, „die VAS mit der linken Hand auszufüllen geht gut [als Rechtshänder]“, „die Instruktionen und Fragebögen sind verständlich“, „die Kissen sind gut, wenn auch im ersten Moment etwas kühl“, „die Testmessungen waren gut“.

b. repräsentative Auswahl negativer Rückmeldungen:

„Die VAS musste zu oft ausgefüllt werden“, „ich hätte gern vor den Versuchen meine Schmerzgrenze überschreiten wollen“.

Bezogen auf alle Versuchstage und Probanden betrug der mediane KSS-Wert zu Messbeginn 3 (Minimum 2, Maximum 6); am Messende 4 (Minimum 3, Maximum 7). Bei den regelmäßig über den Tag verteilten Messungen der subjektiven Schläfrigkeit wurde einmalig um 16:04 am Ende eines Messtages ein Wert von 7 angegeben.

7 Diskussion

7.1 Material und Versuchseinrichtung

Die Anzahl der weit über 1.500 durchgeführten Messungen (zusammen mit den Probemessungen und mehreren Vorversuchen) ohne technische Zwischenfälle oder Materialschäden legt nahe, dass sowohl die Versuchseinrichtung selbst (inklusive Stößel, etc.), aber auch sämtliches Zubehör wie etwa die Lagerungsmaterialien für den Dauereinsatz geeignet sind.

Bei keiner Messung dieser Studie kam es zu Verletzungen des Gewebes, was darauf schließen lässt, dass Material und Versuchsablauf sicher sind und die erreichten Druckschmerzschwellen unter den Werten liegen, die bei gesunden Probanden im Falle von Kollisionen zu Folgeschäden führen würden. Lediglich unmittelbar nach vereinzelt Messungen wurden Stößelabdrücke im Gewebe sichtbar, die sich jedoch vollständig zurückbildeten (Abbildung 43).



Abbildung 43 – Stößelabdrücke an diversen Messlokalisationen
Handinnenfläche (a), Bauchmuskel (b), Oberschenkelmuskel (c), Wadenmuskel (d),
Zeigefingerendgelenk (e), Nervus medianus (f)

Im Gegensatz zu einigen wenigen Fallbeschreibungen (Jones 2007; Nussbaum und Downes 1998; Prushansky et al. 2004) bei denen nach wiederholten Messungen Veränderungen der Haut bzw. des darunter liegenden Gewebes beobachtet werden konnten, kam es bei keinem unserer Probanden zu bleibenden Schäden oder Veränderungen an den Messlokalisationen (Wunden, Blutungen, etc.).

7.1.1 Algometer

Nach einer Einführung konnte das Algometer ohne Einschränkungen von allen Untersuchern genutzt werden. Druckschmerzschwellenmessungen können problemlos und sicher mit dem neuartigen Algometer durchgeführt werden.

Die durchweg positiven Rückmeldungen zum Algometer und den eingesetzten Lagerungsmaterialien lassen auf große Zustimmung und Akzeptanz der Versuchsteilnehmer schließen, mit dem Algometer Schmerzversuche durchzuführen.

Der Aktuator sorgte zusammen mit der Steuerungssoftware für einen nahezu linearen Kraftanstieg, der nur bei unvermeidbaren Bewegungen der Probanden durch die Atmung inkonstant war. Das automatische Algometer ist handbetriebenen Algometern vorzuziehen. Nicht nur wegen etwaiger sehr hoher Kraftwerte, die einige Untersucher nicht aufbringen könnten (Nussbaum und Downes 1998). Auch die Konstanz des Druckanstieges bei mehreren aufeinanderfolgenden Messungen ist mit automatischen Algometern eher gewährleistet.

Sowohl die Gesamtdauer für sämtliche Messungen und Untersuchungen an einem Probanden als auch die Dauer eines einzelnen Messdurchganges scheinen adäquat und nicht ermüdend (Kola et al. 2012; James und Hardardottir 2002; Sprenger et al. 2012), wenn man die Angaben auf der KSS sowie Gesichterskala betrachtet. Die Rückmeldungen der Probanden zu Pausen und Ruhezeiten waren positiv.

7.1.2 Druckgeber (Stößel)

Die Werkzeuge, mit denen industrielle Roboter ausgestattet werden, existieren in den verschiedensten Formen und Materialien (z.B. Bitwerkzeuge) und weisen u.U. scharfe Kanten auf, die schon bei kurzzeitigen und *unterschwellig* Kontakten zu erheblichen Verletzungen führen können (Huelke et al. 2010). Daher ist eine direkte

Übertragbarkeit der hier mittels Plastikstößel erhobenen Druckschmerzschwellenwerte in die Arbeitswelt schwierig. Wichtiger erscheinen daher eine Gesamtbetrachtung des Arbeitsplatzes inklusive Roboter und das Ergreifen von Maßnahmen zur Risikominimierung. Ein Druckschmerzschwellenkataster kann lediglich ein Kriterium bzw. Anhaltspunkt für Arbeitsplatzsicherheit sein (Huelke 2014).

Sämtliche Messungen wurden mit direktem Hautkontakt durchgeführt. Ein etwaiger druckschmerzschwellenminimierender Charakter von persönlicher Schutzausrüstung, die Arbeiter normalerweise tragen, wurde nicht betrachtet.

Bei einigen Messungen berichteten unsere Probanden, dass lokale Druckspitzen mit stechendem Schmerz vor allem an den Rändern des Stößels wahrgenommen wurden. Dies ist ein Hinweis, dass selbst bei optimaler Lagerung und senkrechter Druckapplikation das lokale Gewebe eine bedeutende Rolle bei der Reizwahrnehmung spielen kann und die Druckverteilung unter dem Reizgeber nicht gleichmäßig ist. Aus diesem Grund wird auch die Kraftschwelle (N) anstelle der Druckschwelle (Kraft/Fläche) angegeben.

Finochietti et al. (2011a, 2011c) verwendeten auf Grund dieses Phänomens runde, kugelförmige Stößel. Dadurch wollten sie insbesondere Scherkräfte minimieren, die sich aus der Reizgeberform und dem zu messenden Gewebe ergeben und (minimierend) auf die Druckschmerzschwelle auswirken können.

In Zukunft sollten die Beschaffenheit des Gewebes (Haut, Muskel, Knochen, Schmerzrezeptordichte, etc.) und die Erfassung lokaler Druckspitzen in die Versuche einbezogen werden. Darüber hinaus sollten Versuche mit verschiedenen Reizgeberformen und –materialien durchgeführt werden.

Zwei männliche Probanden berichteten nach Messungen am Oberschenkel (M. rectus femoris) über ein kurzes Ziepen, das der Stößel beim Heranfahren durch „Ziehen“ an Haaren hervorrief. Dieser kurze Schmerzreiz ließ jedoch nach Angaben der Probanden schnell nach und war von anderer Qualität als der Druckschmerz, sodass die Messungen nicht beeinflusst wurden. Ein (verpflichtendes) Rasieren der Messlokalisationen verhindert diesen Umstand.

7.1.3 Zustimmtaster

Dadurch, dass die Probanden mittels Zustimmtaster selbst die Messungen beenden und die Werte *festhalten* konnten, kam es nicht zu Verfälschungen der Messwerte durch Reaktionszeiten der Untersucher. Dies leistet einen nicht unwesentlichen Beitrag zur Validität der Messwerte.

Die anschließende Erhebung der Schmerzintensität (VAS) samt etwaiger Besonderheiten sorgte dafür, dass unplausible Werte weitestgehend verhindert oder zumindest erkannt und (durch Wiederholungsmessungen) revidiert werden konnten. Als ebenso wertvoll befanden die Probanden die mindestens sieben Probemessungen (Johnston et al. 2008; Chesterton et al. 2003; Prushansky et al. 2004) während der Eingewöhnungsphase.

7.2 Messwerte

Es sei vorangestellt, dass die Anzahl der Probanden ($n = 10$) nicht für statistisch belastbare Aussagen über Druckschmerzschwellenwerte genügt. Dies war auch nicht Ziel der Studie. Jedoch können mögliche Tendenzen erkannt werden.

Die erhobenen Werte stehen im Einklang mit der bisherigen Literatur (Muttray et al. 2010). Obwohl die in der Literatur beschriebene Methodik sehr heterogen ist und direkte Vergleiche teilweise schwierig sind, spiegeln sich einige Aspekte bisheriger Ergebnisse in unseren Daten wider.

So lagen die *medianen* Schmerzschwellen an drei der vier dominanten Messlokalisationen (Zeigefingerendgelenk, Handrücken und Handinnenfläche) im direkten Vergleich höher als an den nicht-dominanten (Ozcan et al. 2004; Pauli et al. 1999; Pud et al. 2009; Muttray et al. 2010). Lediglich an der Zeigefingerbeere war dies nicht der Fall (Tabelle 8 Seite 59).

Tabelle 8 – Vergleich der Druckschmerzwellenwerte an dominanter (dom) und nicht-dominanter (ndom) Messlokalisation, n = 10 Probanden, Dig = lat. digitus, Finger, DIP = distales Interphalangealgelenk

Messlokalisation		Druckschmerzschwelle (N)		
Bezeichnung	medizinische Bezeichnung	Mittelwert	Median	SD
Zeigefingerbeere dom	Dig. II (Beere) dom	43,2	36,6	25,8
Zeigefingerbeere ndom	Dig. II (Beere) ndom	45,7	43,4	18,6
Zeigefingerendgelenk dom	Dig. II (DIP dorsal) dom	38,6	41,1	14,6
Zeigefingerendgelenk ndom	Dig. II (DIP dorsal) ndom	33,3	33,2	14,3
Handinnenfläche dom	Palma manus dom	46,7	43,5	16,3
Handinnenfläche ndom	Palma manus ndom	44,7	43,3	17,5
Handrücken dom	Dorsum manus dom	35,6	35,3	12,9
Handrücken ndom	Dorsum manus ndom	36,2	31,5	18,4

Die hohe intraindividuelle Streuung der Werte auch an gleichartig beschaffenen Messlokalisationen (z.B. nur Muskeln) ist ein Hinweis darauf, dass es keine „absolute“ Druckschmerzschwelle gibt und dass man nicht von einzelnen Messlokalisationen auf andere schließen kann. Zur Erarbeitung eines umfassenden Katasters sollten daher sämtliche relevanten Körperregionen messtechnisch erfasst werden.

Die konstant niedrigen VAS-Werte „aktueller Schmerz“ (Median 6 mm, Mittelwert 7,9 mm) lassen darauf schließen, dass die Instruktionen verstanden und durchweg umgesetzt wurden.

Die überwiegend niedrige Zustandsangst nah an den Mittelwerten der Eichstichprobe (Spielberger 1983) lassen darauf schließen, dass die Probanden nicht ängstlich waren und die Druckschmerzschwellen nicht durch Ängstlichkeit beeinflusst wurden. Demgegenüber stehen Mittelwerte der Zustandsangst von z.B. 47 vor einer chirurgischen Zahnsanierung (Hermes et al. 2004, Tabelle 10 Seite 60).

Es ist jedoch anzumerken, dass bei der Zustandsangst (STAI-STATE) im Gegensatz zum Persönlichkeitsmerkmal Angst (STAI-TRAIT) die *Veränderung* der Werte anstelle der absoluten Werte zu betrachten sind.

Tabelle 10 – Zustandsangst-Mittelwerte verschiedener Studien im Vergleich Mittelwerte und Standardabweichung männlicher (m) und weiblicher (w) Probanden Falls angegeben

Studie (Teilnehmeranzahl)	Zustandsangst	
	Mittelwert m (w)	SD
diese Studie (10)	36,7 (38,6)	1,58 (2,5)
Eichstichprobe (2385)	38,6 (38,1)	9,82 (10,3)
vor Zahnsanierung, Kontrollgruppe (25, davon 10 weiblich) Hermes et al. 2004)	47,6	13,99
vor Zahnsanierung, Hypnosegruppe (25, davon 14 weiblich; Hermes et al. 2004)	50,4	11,49
Notfallzahnbehandlung („outpatient dental emergency care“) (73, davon 34 weiblich; Weisenberg et al. 1974)	42,32	k.A.
Zahnextraktion eines oder mehrerer 3. Molaren (102, davon 66 weiblich; Garip et al. 2004)	37,5 (45,2)	8,1 (10,2)
(nicht näher beschriebene) Zahnbehandlung, Kontrollgruppe (61, davon 37 weiblich; Michalek-Sauberer et al. 2012)	54,0	11,6

Ein relativ hoher Wert (50 von Proband 1 bei der Voruntersuchung) verringerte sich im weiteren Verlauf. Das könnte ein Hinweis darauf sein, dass die Eingewöhnungsphase einen angstmindernden Effekt haben könnte.

7.3 Limitationen

Wie schon in früheren Kapiteln dargelegt, ist Schmerz ein subjektives Erlebnis. Auch wenn es gewisse Korrelationen zwischen wahrgenommenem Schmerz und physischen Reaktionen wie Herzfrequenz, Blutdruck oder Nervenpotentialen gibt (Kadetoff und Kosek 2007; Rolke et al. 2006; Jeitziner et al. 2012; Namer und Handwerker 2009; Simone 1994; Marchettini et al. 1996; Simone et al. 1997; Keogh et al. 2005; Keogh 2014; Vigil und Alcock 2014; Vigil et al. 2014), sind allein die Angaben der jeweiligen Probanden (oder Patienten) ausschlaggebend.

Jedoch ist nicht auszuschließen, dass verschiedene psychologische Faktoren die Angaben der Probanden beeinflussen. Ein erheblicher Einflussfaktor könnte hierbei die soziale Erwünschtheit sein, durch die Testpersonen ihr Verhalten bzw. ihre Angaben an vermeintliche Erwartungen anpassen, also „unwahre“ Angaben machen. Ein Faktor, der diesen Effekt womöglich verstärken kann, ist das

Untersuchergeschlecht. So berichten Aslaksen et al. (2007), dass männliche Probanden weiblichen Untersuchern gegenüber eine geringere Schmerzintensität angaben, als männlichen Untersuchern. Gijbbers et al. (2005) fanden bei einem ähnlichem Experiment höhere Schmerzschwellen.

Die standardisierte, strukturierte Versuchsdurchführung mit Vorlesen der jeweiligen Instruktionen, das „Verblinden“ der Probanden und gleichgeschlechtliche Untersucher minimierten diese möglichen psychologischen Einflüsse.

Es gibt Hinweise, dass angespannte oder gedehnte Muskeln niedrigere Schmerzschwellen aufweisen als entspannte (Kadetoff und Kosek 2007; Andersen et al. 2006; Finocchietti et al. 2011). Jedoch wurden etwaige Muskelvorspannungen in dieser Studie nicht näher erörtert. Insbesondere an der Messlokalisierung Wadenmuskel, an welcher stehenderweise (also mit angespanntem Muskel) gemessen wurden, hätte dies Einfluss haben können. Nicht bekannt ist, ob Kollisionen an Arbeitsplätzen mit kollaborierenden Robotern eher mit entspannten oder angespannten Muskeln vorkommen.

An Messlokalisationen mit durchweg niedrigen Druckschmerzschwellenwerten (insbesondere Kaumuskel und Kopfwendemuskel) lag die Kraft von 5 N beim ersten Heranfahen des Stößels (vgl. Kapitel 5.4.3) sehr nah an den Schwellenwerten einiger Probanden. Hierdurch könnten bereits lokale Schmerzmediatoren ausgeschüttet und die eigentliche Schmerzmessung beeinflusst worden sein (Fein 2014). Eine Anpassung der Algometerprogrammierung sollte diskutiert werden.

Auch kann diskutiert werden, ob Messungen im Liegen genauere Werte hervorbringen würden, da die Probanden sich komplett entspannen und damit noch besser auf die Schmerzschwelle konzentrieren könnten (Johnston et al. 2008; Brennum et al. 1989; Sterling et al. 2000; Sterling et al. 2002). Jedoch steht dabei der Bezug zur Praxis in Frage.

7.3.1 Studienpopulation

Die geringe Teilnehmerzahl dieser Studie (n = 10) macht zwar eine Auswertung der erhobenen Werte schwierig bzw. lässt keine statistisch signifikanten Aussagen zu, jedoch genügte sie zur Etablierung der Methode sowie Konstruktion und Testung der

Lagerungselemente.

Zur Etablierung einer neuen Messmethode gehört auch die Anwendung an Probanden der eigentlichen Zielgruppen (in diesem Fall z.B. Metallarbeiter). Leider ließ sich dies aus organisatorischen und monetären Gründen nicht realisieren.

Ein Aspekt, der nicht gezielt von Probanden erhoben wurde, war deren Einstellung zu masochistischem Verhalten. Hierzu gibt es kaum Literatur. Jedoch berichten Defrin et. al (2015) in einer Fall-Kontroll-Studie über erhöhte Druckschmerzschwellen in der Gruppe der „Masochisten“. Bei zukünftigen Untersuchungen sollten masochistische Tendenzen der Probanden mit einem – falls möglich – validierten Fragebogen erfasst und ggf. bei der Auswertung berücksichtigt werden.

8 Zusammenfassung

Zur Erstellung eines Druckschmerzschwellenkatasters des menschlichen Körpers für industrielle Arbeitsplätze mit kollaborierenden Robotern sollten im Rahmen dieser Studie Lagerungselemente und eine Messmethode für ein neuartiges, automatisches Algometer entwickelt und getestet werden.

Es wurden zehn gesunde Probanden (6 männliche) im Alter zwischen 19 und 67 Jahren (Mittelwert: 29) eingeschlossen. Ausschlusskriterien waren Klaustrophobie, psychische Störungen, erhöhte Blutungsneigung, Wunden, Narben oder Hautkrankheiten an den Messlokalisationen, sowie schmerzbeeinflussende Medikamenteneinnahme oder Krankheitszustände (z.B. Nervenschäden).

Die Druckschmerzschwellen wurden mittels eines neuartigen, automatischen Algometers in drei blockrandomisierten Durchgängen erhoben. Die Messungen fanden an 29 für den Arbeitsschutz relevanten Körperstellen statt; bei weiblichen Probanden wurde der Brustmuskel ausgelassen (nur 28 Messlokalisationen).

Reizgeber war ein planer, quadratischer Plastikstößel mit 14 mm langen, abgerundeten Kanten und einer Oberfläche von ca. 1,96 cm². Der Kraftanstieg betrug konstant 5 N/s; 2 N/s an zwei sensiblen Messstellen (Schläfe, Kaumuskel).

Die Messungen wurden mittels eines speziellen Tasters von den Probanden beendet, sobald das Druckgefühl an der Messstelle in einen gerade spürbaren Schmerz überging. Direkt nach jeder Messung wurde mittels einer 10 cm visuellen Analogskala (VAS) die Intensität von „kein Schmerz“ bis „stärkster, vorstellbarer Schmerz“ angegeben.

Die Lagerungsmaterialien bestanden aus variabel einstellbaren Metallschienen und -platten, Polstermaterialien und speziellen Vakuumkissen, in denen die Probanden zügig, problemlos und bequem gelagert werden konnten.

Kein Proband entwickelte nach den Messungen bleibende Hautveränderungen oder Blutungen. Die Schmerzschwellen streuten sowohl intra- als auch interindividuell, was mit der bisherigen Literatur in Einklang steht.

Die Schmerzintensität (VAS) betrug maximal 32 mm (Minimum 0 mm, Mittelwert 6 mm) und lässt darauf schließen, dass die Instruktionen verstanden und konsequent umgesetzt wurden.

9 Literatur

Akerstedt T, Gillberg M (1990) Subjective and objective sleepiness in the active individual. *Int J Neurosci* 52:29–37.

Alloui A, Zimmermann K, Mamet J, Duprat F (2006) TREK-1, a K⁺ channel involved in polymodal pain perception. *EMBO J* 25:2368–2376. doi:10.1038/sj.emboj.7601116.

Andersen H, Arendt-Nielsen L, Danneskiold-Samsøe B, Graven-Nielsen T (2006) Pressure pain sensitivity and hardness along human normal and sensitized muscle. *Somatosens Mot Res* 23:97–109. doi:10.1080/08990220600856255.

Andrews FM, Withey SB (1976) *Social Indicators of Well-Being; Americans' Perceptions of Life Quality*. Boston: Springer US.

Aviram J, Shochat T, Pud D (2014) Pain Perception in Healthy Young Men Is Modified by Time-Of-Day and Is Modality Dependent. *Pain Medicine* (Malden, Mass.) (epub ahead of print). doi:10.1111/pme.12665.

Bagriantsev SN, Gracheva EO, Gallagher PG (2014) Piezo proteins: regulators of mechanosensation and other cellular processes. *Journal of biological Chemistry* 289:31673–31681. doi:10.1074/jbc.R114.612697.

Baum C, Huber C, Schneider R, Lautenbacher S (2011) Prediction of experimental pain sensitivity by attention to pain-related stimuli in healthy individuals. *Percept Mot Skills* 112:926–946.

Beck A. T., Steer RA, Brown GK (1996) *Beck Depression Inventory*. San Antonio: The Psychological Corporation.

Behrens R, Lerez C, Elkmann N, Jachau K, Schmid S (2014) Biomechanische Belastungsgrenzen; Studie zur Unterstützung der Normungsarbeit im Bereich der kollaborierenden Roboter, Sankt Augustin.

Benson S, Kattoor J, Wegner A, Hammes F, Reidick D, Grigoleit J, Engler H, Oberbeck R, Schedlowski M, Elsenbruch S (2012) Acute experimental endotoxemia induces visceral hypersensitivity and altered pain evaluation in healthy humans. *Pain* 153:794–799. doi:10.1016/j.pain.2011.12.001.

BGIA (2009) *BG/BGIA-Empfehlungen für die Gefährdungsbeurteilung nach Maschinenrichtlinie; Gestaltung von Arbeitsplätzen mit kollaborierenden Robotern*, Fassung vom Februar 2011, Sankt Augustin.

Borkenau P, Ostendorf F (1993) *NEO-Fünf-Faktoren Inventar nach Costa und McCrae (NEO-FFI)*. Göttingen: Hogrefe.

- Brennum J, Kjeldsen M, Jensen K, Staehelin Jensen T (1989) Measurements of human pressure-pain thresholds on fingers and toes. *Pain* 38:211–217. doi:10.1016/0304-3959(89)90240-6.
- Chesterton LS, Barlas P, Foster NE, Baxter G, Wright CC (2003) Gender differences in pressure pain threshold in healthy humans. *Pain* 101:259–266. doi:10.1016/S0304-3959(02)00330-5.
- Cornwall A, Donderi DC (1988) The effect of experimentally induced anxiety on the experience of pressure pain. *Pain* 35:105–113. doi:10.1016/0304-3959(88)90282-5.
- Coste B, Houge G, Murray MF, Stitzel N, Bandell M, Giovanni MA, Philippakis A, Hoischen A, Riemer G, Steen U, Steen VM, Mathur J, Cox J, Lebo M, Rehm H, Weiss ST, Wood JN, Maas RL, Sunyaev SR, Patapoutian A (2013) Gain-of-function mutations in the mechanically activated ion channel PIEZO2 cause a subtype of Distal Arthrogyposis. *P Natl Acad Sci USA* 110:4667–4672. doi:10.1073/pnas.1221400110.
- Coste B, Mathur J, Schmidt M, Earley TJ, Ranade S, Petrus MJ, Dubin AE, Patapoutian A (2010) Piezo1 and Piezo2 are essential components of distinct mechanically activated cation channels. *Science (New York, N.Y.)* 330:55–60. doi:10.1126/science.1193270.
- Defrin R, Arad M, Ben-Sasson MP, Ginzburg K (2015) Attitudes and emotions towards pain and sensitivity to painful stimuli among people routinely engaging in masochistic behaviour. *Eur J Pain*. doi:10.1002/ejp.662.
- Del Valle, Cobo T, Cobo JL, Vega JA (2012) Mechanosensory neurons, cutaneous mechanoreceptors, and putative mechanoproteins. *Microscopy Research and Technique* 75:1033–1043. doi:10.1002/jemt.22028.
- Derogatis LR, Melisaratos N (1983) The Brief Symptom Inventory: an introductory report. *Psychological Medicine* 13:595–605.
- DIN (2012) Industrieroboter - Sicherheitsanforderungen - Teil 1: Roboter (ISO 10218-1:2011). Berlin: Beuth.
- Dougher MJ, Goldstein D, Leight KA (1987) Induced anxiety and pain. *J Anxiety Disord* 1:259–264. doi:10.1016/0887-6185(87)90030-2.
- Drenth JP, Waxman SG (2007) Mutations in sodium-channel gene SCN9A cause a spectrum of human genetic pain disorders. *J Clin Invest* 117:3603–3609. doi:10.1172/JCI33297.
- Drew LJ, Rugiero F, Cesare P, Gale JE, Abrahamsen B, Bowden S, Heinzmann S, Robinson M, Brust A, Colless B, Lewis RJ, Wood JN, Vossahl L (2007) High-Threshold Mechanosensitive Ion Channels Blocked by a Novel Conopeptide Mediate Pressure-Evoked Pain. *PLoS ONE* 2:e515. doi:10.1371/journal.pone.0000515.

Dubin AE, Patapoutian A (2010) Nociceptors: the sensors of the pain pathway. *J Clin Invest* 120:3760–3772. doi:10.1172/JCI42843.

Dubin AE, Schmidt M, Mathur J, Petrus MJ, Xiao B, Coste B, Patapoutian A (2012) Inflammatory signals enhance piezo2-mediated mechanosensitive currents. *Cell Rep* 2:511–517. doi:10.1016/j.celrep.2012.07.014.

Europäische Union (2006) Richtlinie 2006/42/EG des europäischen Parlaments und des Rates vom 17. Mai 2006 über Maschinen und zur Änderung der Richtlinie 95/16/EG; Maschinenrichtlinie 2006/42/EG, http://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=uriserv:OJ.L_.2006.157.01.0024.01.DEU.

Fein A (2014) Nociceptors and the perception of pain. Revidierte Fassung, Zugegriffen: 22. März 2015. <http://cell.uchc.edu/pdf/fein/Revised%20Book%202014.pdf>.

Fillingim RB, King CD, Ribeiro-Dasilva MC, Rahim-Williams B, Riley JL (2009) Sex, gender, and pain: a review of recent clinical and experimental findings. *J Pain* 10:447–485. doi:10.1016/j.jpain.2008.12.001.

Finocchietti S (2011) Deep tissue biomechanics during pressure-induced pain [Habilitationsschrift]. Aalborg: Universität Aalborg

Finocchietti S, Arendt-Nielsen L, Graven-Nielsen T (2012) Tissue characteristics during temporal summation of pressure-evoked pain. *Exp Brain Res* 219:255–265. doi:10.1007/s00221-012-3085-9.

Finocchietti S, Mørch CD, Arendt-Nielsen L, Graven-Nielsen T (2011) Effects of Adipose Thickness and Muscle Hardness on Pressure Pain Sensitivity. *Clin J Pain* 27:414–424. doi:10.1097/AJP.0b013e31820c5353.

Gibson SJ, Farrell M (2004) A Review of Age Differences in the Neurophysiology of Nociception and the Perceptual Experience of Pain. *Clin J Pain* 20:227–239.

Gijsbers K, Nicholson F (2005) Experimental pain thresholds influenced by sex of experimenter. *Percept Mot Skills* 101:803–807. doi:10.2466/pms.101.3.803-807.

Göbel H (1988) Über die Schwierigkeit einer umfassenden Definition des Phänomens Schmerz. *Schmerz*:89–93.

Goeij M de, van Eijk, Lucas T, Vanelderen P, Wilder-Smith OH, Vissers KC, van der Hoeven, Johannes G, Kox M, Scheffer GJ, Pickkers P (2013) Systemic inflammation decreases pain threshold in humans in vivo. *PLoS ONE* 8:e84159. doi:10.1371/journal.pone.0084159.

Golshani AE, Kamdar AA, Spence SC, Beckmann NM (2014) Congenital indifference to pain: an illustrated case report and literature review. *J Radiol Case Rep* 8:16–23. doi:10.3941/jrcr.v8i8.2194.

Greenspan JD, Craft RM, LeResche L, Arendt-Nielsen L, Berkley KJ, Fillingim RB, Gold MS, Holdcroft A, Lautenbacher S, Mayer EA, Mogil JS, Murphy AZ, Traub RJ (2007) Studying sex and gender differences in pain and analgesia: a consensus report. *Pain* 132 (Suppl 1):26–45. doi:10.1016/j.pain.2007.10.014.

Handwerker HO (2007) Von Descartes bis zur fMRI. Schmerztheorien und Schmerzkonzepte. *Schmerz* 21:307-10, 312-7. doi:10.1007/s00482-007-0563-2.

Huelke M, Umbreit M, Ottersbach HJ (2010) Sichere Zusammenarbeit von Mensch und Industrieroboter. *MM Maschinenmarkt* 33:32–34.

Huelke M (14.02.2014) Kollaborierende Roboter – Zum Stand von Forschung, Normung und Validierung. Vortrag. Wuppertal.

James JE, Hardardottir D (2002) Influence of attention focus and trait anxiety on tolerance of acute pain. *Br J Health Psychol* 7:149–162.

Janssen SA, Arntz A (1996) Anxiety and pain: attentional and endorphinergic influences. *Pain* 66:145–150. doi:10.1016/0304-3959(96)03031-X.

Jeitziner M, Schwendimann R, Hamers JPH, Rohrer O, Hantikainen V, Jakob SM (2012) Assessment of pain in sedated and mechanically ventilated patients: an observational study. *Acta Anaesthesiol Scand* 56:645–654. doi:10.1111/j.1399-6576.2012.02660.x.

Jensen K, Andersen HØ, Olesen J, Lindblom U (1986) Pressure-pain threshold in human temporal region. Evaluation of a new pressure algometer. *Pain* 25:313–323. doi:10.1016/0304-3959(86)90235-6.

Johnston V, Jimmieson NL, Jull G, Souvlis T (2008) Quantitative sensory measures distinguish office workers with varying levels of neck pain and disability. *Pain* 137:257–265. doi:10.1016/j.pain.2007.08.037.

Jones DH (2007) Test-Retest Reliability of pressure pain threshold measurements of the upper limb and torso in young healthy women. *J Pain* 8:650–656.

Jones MD, Booth J, Taylor JL, Barry BK (2014) Aerobic training increases pain tolerance in healthy individuals. *Med Sci Sports Exer* 46:1640–1647. doi:10.1249/MSS.0000000000000273.

Kadetoff D, Kosek E (2007) The effects of static muscular contraction on blood pressure, heart rate, pain ratings and pressure pain thresholds in healthy individuals and patients with fibromyalgia. *Eur J Pain* 11:39–47. doi:10.1016/j.ejpain.2005.12.013.

- Kállai I, Barke A, Voss U (2004) The effects of experimenter characteristics on pain reports in women and men. *Pain* 112:142–147. doi:10.1016/j.pain.2004.08.008.
- Kim SE, Coste B, Chadha A, Cook B, Patapoutian A (2012) The role of *Drosophila* Piezo in mechanical nociception. *Nature* 483:209–212. doi:10.1038/nature10801.
- Klauenberg S, Maier C, Assion H, Hoffmann A, Krumova EK, Magerl W, Scherens A, Treede R, Juckel G (2008) Depression and changed pain perception: Hints for a central disinhibition mechanism. *Pain* 140:332–343. doi:10.1016/j.pain.2008.09.003.
- Kohllöffel LU, Koltzenburg M, Handwerker HO (1991) A novel technique for the evaluation of mechanical pain and hyperalgesia. *Pain* 46:81–87. doi:10.1016/0304-3959(91)90037-X.
- Kola S, Walsh JC, Hughes BM, Howard S (2012) Attention focus, trait anxiety, and pain perception in patients undergoing colonoscopy. *Eur J Pain* 16:1532–2149.
- Kudo M (2005) Initial Injection Pressure for Dental Local Anesthesia: Effects on Pain and Anxiety. *Anesth Prog* 52:95–101.
- Kurban M, Wajid M, Shimomura Y, Christiano AM (2010) A nonsense mutation in the SCN9A gene in congenital insensitivity to pain. *Dermatology* 221:179–183. doi:10.1159/000314692.
- Lacroix-Fralish ML, Mogil JS (2009) Progress in genetic studies of pain and analgesia. *Annu Rev Pharmacol* 49:97–121. doi:10.1146/annurev-pharmtox-061008-103222.
- Lautenbacher S, Kunz M, Strate P, Nielsen J, Arendt-Nielsen L (2005) Age effects on pain thresholds, temporal summation and spatial summation of heat and pressure pain. *Pain* 115:410–418. doi:10.1016/j.pain.2005.03.025.
- Lee W, Leddy HA, Chen Y, Lee SH, Zelenski NA, McNulty AL, Wu J, Beicker KN, Coles J, Zauscher S, Grandl J, Sachs F, Guilak F, Liedtke WB (2014) Synergy between Piezo1 and Piezo2 channels confers high-strain mechanosensitivity to articular cartilage. *P Natl Acad Sci USA* 111:E5114–E5122. doi:10.1073/pnas.1414298111.
- Levine FM, de Simone LL (1991) The effects of experimenter gender on pain report in male and female subjects. *Pain* 44:69–72. doi:10.1016/0304-3959(91)90149-R.
- Lewin GR, Moshourab R (2004) Mechanosensation and pain. *J Neurobiol* 61:30–44. doi:10.1002/neu.20078.
- List T, Helkimo M, Karlsson R (1991) Influence of pressure rates on the reliability of a pressure threshold meter. *J Craniomandib Disord* 5:173–178.
- Luxembourg B, Krause M, Lindhoff-Last E (2007) Basiswissen Gerinnungslabor. *Deutsches Ärzteblatt* 104:1489–1498.

- Marchettini P, Simone DA, Caputi G, Ochoa J (1996) Pain from excitation of identified muscle nociceptors in humans. *Brain Res* 740:109–116. doi:10.1016/S0006-8993(96)00851-7.
- McCoy K (2010) Thresholds and tolerance of physical pain among young adults who self-injure. *Pain Res Manage* 15:371–377.
- McKemy DD (2011) A spicy family tree: TRPV1 and its thermoceptive and nociceptive lineage. *EMBO J* 30:453–455. doi:10.1038/emboj.2010.350.
- Melia M, Schmidt M, Geissler B, König J, Krahn U, Ottersbach HJ, Letzel S, Muttray A (2015) Measuring mechanical pain: The refinement and standardization of pressure pain threshold measurements. *Behav Res* 47(1):216-27. doi:10.3758/s13428-014-0453-3
- Melvin JW, Snyder RG (1973) Response of human larynx to blunt loading. *SAE*:101–114. doi:10.4271/730967.
- Merskey H, Bogduk N (1994) Classification of Chronic Pain; Part III: Pain Terms, A Current List with Definitions and Notes on Usage International Association for the Study of Pain. Zugegriffen: 04. März 2015. <http://www.iasp-pain.org/Taxonomy#Pain>.
- Mishra SK, Tisel SM, Orestes P, Bhangoo SK, Hoon MA (2011) TRPV1-lineage neurons are required for thermal sensation. *EMBO J* 30:582–593. doi:10.1038/emboj.2010.325.
- Mollet GA, Harrison DW (2006) Emotion and Pain: A Functional Cerebral Systems Integration. *Neuropsychol Rev* 16:99–121. doi:10.1007/s11065-006-9009-3.
- Mutschler I, Ball T, Wankerl J, Strigo IA (2012) Pain and emotion in the insular cortex: evidence for functional reorganization in major depression. *Neurosci Lett* 520:204–209. doi:10.1016/j.neulet.2012.03.095.
- Muttray A, Rodday V, Geißler B, Letzel S (2010) Literaturstudie zum Forschungsprojekt: „Ermittlung der Schmerzempfindlichkeit diverser Körperbereiche des Menschen bei mechanischer Exposition in der Mensch-Maschine-Schnittstelle“. Institut für Arbeits-, Sozial- und Umweltmedizin, Universitätsmedizin der Johannes Gutenberg-Universität Mainz.
- Muttray A (2012) Kollaborierende Roboter - eine Herausforderung auch für den Betriebsarzt. *Arbeitsmed Sozialmed Umweltmed* 47:591–597.
- Namer B, Handwerker HO (2009) Translational nociceptor research as guide to human pain perceptions and pathophysiology. *Exp Brain Res* 196:163–172. doi:10.1007/s00221-009-1777-6.

- Nie H, Arendt-Nielsen L, Andersen H, Graven-Nielsen T (2005) Temporal summation of pain evoked by mechanical stimulation in deep and superficial tissue. *J Pain* 6:348–355. doi:10.1016/j.jpain.2005.01.352.
- Nie H, Arendt-Nielsen L, Madeleine P, Graven-Nielsen T (2006) Enhanced temporal summation of pressure pain in the trapezius muscle after delayed onset muscle soreness. *Exp Brain Res* 170:182–190. doi:10.1007/s00221-005-0196-6.
- Nie H, Graven-Nielsen T, Arendt-Nielsen L (2009) Spatial and temporal summation of pain evoked by mechanical pressure stimulation. *Eur J Pain* 13:592–599. doi:10.1016/j.ejpain.2008.07.013.
- Nielsen PK, Andersen LL, Olsen HB, Rosendal L, Sjøgaard G, Søgaard K (2010) Effect of physical training on pain sensitivity and trapezius muscle morphology. *Muscle Nerve* 41:836–844. doi:10.1002/mus.21577.
- Nilius B, Honoré E (2012) Sensing pressure with ion channels. *Trends Neurosci* 35:477–486. doi:10.1016/j.tins.2012.04.002.
- Nussbaum EL, Downes L (1998) Reliability of clinical pressure-pain algometric measurements obtained on consecutive days. *Phys Ther* 78:160–169.
- Ohrbach R, Crow H, Kamer A (1998) Examiner expectancy effects in the measurement of pressure pain thresholds. *Pain* 74:163–170. doi:10.1016/S0304-3959(97)00174-7.
- Oldfield RC (1971) The Assessment and analysis of handedness The Edingurgh Inventory. *Neuropsychologia* 9:97–113.
- Ottersbach HJ (2011) Bedienungsanleitung der Versuchseinrichtung zur Messung von Schmerzschwellen des Menschen (Kurzbezeichnung: Druckalgometer). Version 09. IFA, Sankt Augustin.
- Ozcan A, Tulum Z, Plnar L, Baskurt F (2004) Comparison of Pressure Pain Threshold, Grip Strength, Dexterity and Touch Pressure of Dominant and Non-Dominant Hands within and Between Right- and Left-Handed Subjects. *J Korean Med Sci* 19:874–878.
- Pauli, Wiedemann, Nickola (1999) Pressure pain thresholds asymmetry in left- and right-handers: Associations with behavioural measures of cerebral laterality. *Eur J Pain* 3:151–156. doi:10.1053/eujp.1999.0108.
- Piggin R (2005) Developments in industrial robotic safety. *Ind Robot* 32:303–311. doi:10.1108/01439910510600146.

Polianskis R, Graven-Nielsen T, Arendt-Nielsen L (2001) Computer-controlled pneumatic pressure algometry--a new technique for quantitative sensory testing. *Eur J Pain* 5:267–277. doi:10.1053/eujp.2001.0245.

Prushansky T, Dvir Z, Defrin-Assa R (2004) Reproducibility Indices Applied to Cervical Pressure Pain Threshold Measurements in Healthy Subjects. *Clin J Pain* 20:341–347.

Pud D, Golan Y, Pesta R (2009) Hand dominance--A feature affecting sensitivity to pain. *Neurosci Lett* 467:237–240. doi:10.1016/j.neulet.2009.10.048.

Racine M, Tousignant-Laflamme Y, Kloda LA, Dion D, Dupuis G, Choinière M (2012) A systematic literature review of 10 years of research on sex/gender and experimental pain perception; Part 1: Are there really differences between women and men? *Pain* 153:602–618. doi:10.1016/j.pain.2011.11.025.

Rasband MN, Park EW, Vanderah TW, Lai J, Porreca F, Trimmer JS (2001) Distinct potassium channels on pain-sensing neurons. *P Natl Acad Sci USA* 98:13373–13378. doi:10.1073/pnas.231376298.

Reid KI, Gracely RH, Dubner RA (1994) The influence of time, facial side, and location on pain-pressure thresholds in chronic myogenous temporomandibular disorder. *J Orofac Pain* 8:258–265.

Rhudy JL (2005) Gender Differences in Pain: Do Emotions Play a Role? *Gend Med* 2:208–226.

Rolke R, Baron R, Maier C, Tölle T, Treede R, Beyer A, Binder A, Birbaumer N, Birklein F, Bötefür I, Braune S, Flor H, Hüge V, Klug R, Landwehrmeyer G, Magerl W, Maihöfner C, Rolko C, Schaub C, Scherens A, Sprenger T, Valet M, Wasserka B (2006) Quantitative sensory testing in the German Research Network on Neuropathic Pain (DFNS): Standardized protocol and reference values. *Pain* 123:231–243. doi:10.1016/j.pain.2006.01.041.

Saito T, Ikeda H (2005) Measurement of Human Pain Tolerance to Mechanical Stimulus of Human-collaborative Robots; Specific Research Reports of the National Institute of Industrial Safety 33:15–23.

Sarlani E, Grace EG, Reynolds MA, Greenspan JD (2004) Sex differences in temporal summation of pain and aftersensations following repetitive noxious mechanical stimulation. *Pain* 109:115–123. doi:10.1016/j.pain.2004.01.019.

Schmidt R, Lang F, Heckmann M (2010) *Physiologie des Menschen; mit Pathophysiologie*. Heidelberg: Springer.

Simone DA (1994) Identification of muscle afferents subserving sensation of deep pain in humans. *J Neurophysiol* 72:883–889.

- Simone DA, Marchettini P, Ochoa JL (1997) Primary afferent nerve fibers that contribute to muscle pain sensation in humans. *Pain Forum* 6:207–212. doi:10.1016/S1082-3174(97)70004-7.
- Song J, Merskey H, Noh S, Sullivan S (1993) The Effect of Controlling for Anxiety and Depression upon the Threshold for Pressure Pain in Three Comparison Groups. *J Musculoskeletal Pain* 1:73–88.
- Spielberger CD (1983) *Manual for the State-Trait Anxiety Inventory*. Palo Alto: Consulting Psychologist Press.
- Sprenger C, Eippert F, Finsterbusch J, Bingel U, Rose M, Büchel C (2012) Attention Modulates Spinal Cord Responses to Pain. *Curr Biol* 22:1–4.
- Staud R, Cannon RC, Mauderli AP, Robinson ME, Price DD, Vierck CJ (2003) Temporal summation of pain from mechanical stimulation of muscle tissue in normal controls and subjects with fibromyalgia syndrome. *Pain* 102:87–95.
- Staud R, Price DD, Janicke D, Andrade E, Hadjipanayis AG, Eaton WT, Kaplan L, Wallace MR (2011) Two novel mutations of SCN9A (Nav1.7) are associated with partial congenital insensitivity to pain. *Eur J Pain* 15:223–230.
- Sterling M, Jull G, Carlsson Y, Crommert L (2002) Are cervical physical outcome measures influenced by the presence of symptomatology? *Physiother Res Int* 7:113–121. doi:10.1002/pri.248.
- Sterling M, Treleaven J, Edwards S, Jull G (2000) Pressure pain thresholds of upper limb peripheral nerve trunks in asymptomatic subjects. *Physiother Res Int* 5:220–229. doi:10.1002/pri.202.
- Tesarz J, Schuster AK, Hartmann M, Gerhardt A, Eich W (2012) Pain perception in athletes compared to normally active controls: A systematic review with meta-analysis. *Pain* 153:1253–1262. doi:10.1016/j.pain.2012.03.005.
- Umbreit M (18.09.2013) Normative Anforderungen nach EN ISO 10218-1, 10218-2 und ISO TS 15066. *Der sanfte Roboter – Assistenzroboter mit Kraft- und Druckbegrenzung*. Workshop. Erlangen.
- VDI (1990) *Montage- und Handhabungstechnik; Handhabungsfunktionen, Handhabungseinrichtungen; Begriffe, Definitionen, Symbole*. ICS: 25.040.30. Berlin: Beuth.
- Vigil JM, Alcock J (2014) Tough guys or sensitive guys? Disentangling the role of examiner sex on patient pain reports. *Pain Res Manage* 19:9–12.

Vormittag I (2011) Investigation of Examiner Effects on Test Takers in Standardized Achievement Tests with Special Regard to Gender. [Dissertation]. Berlin: Freie Universität Berlin.

Vowles KE, McNeil DW, Sorrell JT, Lawrence SM (2006) Fear and pain: investigating the interaction between aversive states. *J Abnorm Psychol* 115:821–833.

Ward GR (1995) Robot safety. *Ind Robot* 22:10–13.

Weinman J, Wright S, Johnston M (Hrsg) (1995) Measures in health psychology: A user's portfolio; Causal and control beliefs. Windsor: NFER-NELSON.

Weltärztebund (2013) Deklaration von Helsinki - Ethische Grundsätze für die medizinische Forschung am Menschen. Zugegriffen: 21. März 2015.

<http://www.wma.net/en/30publications/10policies/b3/index.html>.

Williamson A, Hoggart B (2005) Pain: a review of three commonly used pain rating scales. *J Clin Nurse* 14:798–804. doi:10.1111/j.1365-2702.2005.01121.x.

Wittchen H, Perkonigg A (1997) DIA-X-Screening Verfahren: Fragebogen DIA-SSQ: Screening für psychische Störungen; Fragebogen DIA-ASQ: Screening für Angststörungen; Fragebogen DIA-DSQ: Screening für Depressionen. Frankfurt: Swets & Zeitlinger.

10 Anhang

10.1 Screening-Fragebogen

Name: _____ Vorname: _____ Alter: _____
Nationalität: _____ Muttersprache: _____
Größe: ___m Gewicht: ___kg Festnetznummer: _____ (für Rückfragen)
Mobiltelefon: _____ Email: _____
Geschlecht: männlich weiblich
Händigkeit: rechts links beidseits

Bitte kreuzen Sie die entsprechende Antwort an:

Haben Sie Herz-Kreislauf-Probleme? ja nein
(z.B. niedrigen Blutdruck, Krampfadern, Thrombosen, Herzinfarkt)

Haben Sie Probleme (oder Angst) in engen Räumen? ja nein
(z.B. Probleme im Aufzug, Panik vor kleinen Räumen, Klaustrophobie, etc.)

Haben Sie eine erhöhte Blutungsneigung? ja nein
(z.B. schnell Nasenbluten, blaue Flecke nach leichten Stößen, etc. bei Frauen: besonders starke Regelblutungen)

Haben Sie oft Schmerzen oder chronische Schmerzen? ja nein

Leiden Sie an Muskelverspannungen oder Gelenkproblemen? ja nein

Nehmen Sie Schmerz- oder sonstige Medikamente ein? ja nein
Falls ja: Welche und wie regelmäßig: täglich häufig selten fast nie
Welche: _____
(z.B. Aspirin, ASS, Paracetamol, Novalgin, Ibuprofen, Opiate, Blutdrucksenker, Insulin, etc.)

Haben oder hatten Sie Verletzung/Wunden/Narben? ja nein
Falls ja: Wo am Körper und **welche Art** von Verletzung:

Haben Sie eine anerkannte Behinderung? ja nein
Falls ja: Welche und GdB:

Haben Sie Atemprobleme oder manchmal Luftnot? Ja nein
Sind oder waren Sie in psychologischer/
psychotherapeutischer/neurologischer Behandlung? Ja nein
Falls ja: Grund der
Behandlung: _____

Haben Sie sonstige ernsthafte Erkrankungen, z.B. der **Haut**, über die noch nicht gesprochen wurde? Falls ja, beschreiben Sie diese bitte: (z.B. Neurodermitis, Akne, Psoriasis, etc.)

10.2 Fragebogen zur Blutungsneigung

Fragebogen zur Evaluierung einer erhöhten Blutungsneigung

(nach Luxembourg et al. 2007)

Datum:.....

Name:.....Vorname:.....Geburtsdatum:.....

Bitte beantworten Sie die folgenden Fragen:

1. Haben Sie bei sich selbst vermehrt Nasenbluten, auch ohne erkennbaren Grund, festgestellt? Ja Nein

2. Treten oder traten bei Ihnen vermehrt – ohne sich anzustoßen – „blaue Flecke“ oder kleine, punktförmige Blutungen auf? Ja Nein

Wenn Sie diese Frage mit „Ja“ beantwortet haben, geben Sie bitte an, ob diese Symptome auch am Körperrumpf oder anderen, für Sie ungewöhnlichen Stellen aufgetreten sind:

.....

3. Haben Sie bei sich selbst Zahnfleischbluten ohne erkennbaren Grund festgestellt? Ja Nein

4. Treten Blutungen oder blaue Flecke mehr als ein- bis zweimal pro Woche auf? Ja Nein

5. Haben Sie den Eindruck, dass es bei Schnitt- oder Schürfwunden (zum Beispiel Rasieren) länger nachblutet? Ja Nein

6. Traten bei Ihnen bereits einmal längere und verstärkte Nachblutungen nach oder während Operationen (beispielsweise Mandeloperation, Blinddarmoperation, Geburten) auf? Ja Nein

7. Traten bei Ihnen längere und verstärkte Nachblutungen nach oder während dem Ziehen von Zähnen auf? Ja Nein

8. Wurden Ihnen bei einer Operation bereits einmal Blutkonserven oder Blutprodukte gegeben? Ja Nein

Bitte geben Sie die Art der Operation(en) an:

.....

9. Gab oder gibt es in der Familie Fälle von Blutungsneigungen? Ja Nein

10. Nehmen Sie Schmerz- oder Rheumamittel ein? Ja Nein

Wenn ja, bitte Namen der Medikamente eintragen:.....

11. Nehmen Sie weitere Medikamente ein? Ja Nein

Wenn ja, bitte Namen der Medikamente eintragen:.....

Folgende Frage ist nur von Frauen/Mädchen zu beantworten:

12. Haben Sie den Eindruck, dass Ihre Monatsblutungen verlängert (> 7 Tage) und/oder verstärkt (häufiger Tamponwechsel) sind? Ja Nein

10.3 Probandeninformation für Vorstudien-Probanden

[aus Datenschutzgründen wurden in dieser Dissertation Emailadressen und Telefonnummern gestrichen]

Probandeninformation zum Forschungsprojekt: „Experimentelle Ermittlung der Schmerzempfindlichkeit wichtiger Körperbereiche des Menschen bei mechanischer Exposition in der Mensch-Maschine-Schnittstelle“

Sehr geehrte/r Frau/Herr

wir bitten Sie um Ihre freiwillige Teilnahme an der oben genannten Studie. Bitte lesen Sie den nachfolgenden Text aufmerksam durch.

Ziele des Forschungsvorhabens

Bisher galt im Arbeitsschutz das Prinzip, Menschen und Roboter mit sich bewegenden Teilen durch Zäune oder Lichtschranken voneinander zu trennen, um Kollisionen auszuschließen. Seit wenigen Jahren werden zunehmend Arbeitsplätze mit sogenannten kollaborierenden Robotern geschaffen, die mit dem Menschen quasi Hand in Hand arbeiten. Diese Arbeitsweise beinhaltet ein erhöhtes Risiko von Kollisionen. Vorläufige Normen zum Schutz der Arbeiter sind überwiegend technisch basiert. Derzeit fehlen noch wesentliche medizinische Grundlagen für die Normensetzung. Ein Teilaspekt sind die Druckschmerzschwellen bei einem Kontakt des menschlichen Körpers mit einem Gegenstand. Als Druckschmerzschwelle ist derjenige Druck definiert, bei dem während einer langsamen Zunahme des Drucks das Druckgefühl in einen Schmerz übergeht. In unserem aktuellen Forschungsprojekt sollen die Druckschmerzschwellen an verschiedenen Körperpartien experimentell ermittelt werden.

Das Forschungsprojekt wird durch die Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung gefördert.

Untersuchungsablauf

Nach dem Abschluss von Vorversuchen werden in einer Vorstudie 10 Probanden eingeschlossen. Die Studie erstreckt sich über insgesamt drei verschiedene Tage: Tag 1 für die Voruntersuchung, das Kennenlernen der Messmethoden und erste Messungen von Schmerzschwellen, Tag 2 für die Messung von Schmerzschwellen sowie Tag 3 ebenfalls für die Messung von Schmerzschwellen und für die Abschlussuntersuchung. Die Termine werden mit Ihnen abgesprochen.

Im Einzelnen sieht der Untersuchungsablauf wie folgt aus: Zunächst erfolgt eine eingehende *Voruntersuchung (Tag 1)*, die ca. 3 Stunden dauert. Sie umfasst die Aufklärung und Ihre Einwilligung, die Erhebung der Arbeitsanamnese und Krankengeschichte, eine körperliche Untersuchung, das Ausfüllen von Fragebögen sowie die Erklärung und Demonstration der Algometrie. Mit „Algometrie“ wird die Methode der Schmerzschwellenmessung bezeichnet, die Messgeräte als „Algometer“. Eine Blutentnahme ist nicht vorgesehen.

An den *Tagen 2 und 3* werden die Schmerzschwellen an verschiedenen Körperpartien (Kopf, Rumpf, Arme und Beine) in 3 Durchgängen gemessen. Insgesamt werden ca. 90 Messungen mit einem automatischen Algometer durchgeführt. Immer dann, wenn Sie einen beginnenden Schmerz wahrnehmen, drücken Sie einen Schalter, womit die Messung – und damit die Druckapplikation – sofort beendet wird. Ggf. kann auch der Untersucher die Messung beenden. Ein Prototyp des Geräts ist in Abbildung 1 dargestellt.

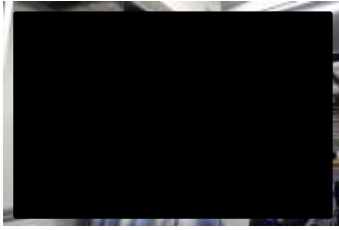


Abbildung 1: Prototyp des Algometers

Die Messungen erfolgen direkt auf der Haut, die entsprechenden Körperstellen müssen dafür entkleidet werden. Bitte tragen Sie passende Kleidung oder bringen Sie sie mit, z.B. Sportkleidung, ggf. auch eine kurze Sporthose für Oberschenkelmessungen.

Außerdem füllen Sie Fragebögen aus. Nach einer Abschlussuntersuchung ist das Experiment beendet.

Wichtig ist, dass Sie an allen Tagen in ausgeruhtem Zustand erscheinen.

Die Gesamtdauer der Studienteilnahme beläuft sich auf etwa 19 Stunden.

Nutzen und Risiken

Der *Nutzen für die Allgemeinheit* besteht im Gewinn wissenschaftlicher Erkenntnisse. Diese sollen zu einer verbesserten Unfallprävention an Arbeitsplätzen mit kollaborierenden Robotern beitragen.

Ihr persönlicher Nutzen besteht in der Vergütung. Diese beträgt pauschal 190€.

Im Einzelfall kann ein gesundheitlicher Nutzen für Sie darin bestehen, dass bei der ärztlichen Voruntersuchung zuvor nicht bekannte, behandelbare Gesundheitsstörungen entdeckt werden. In diesem Fall würde der untersuchende Arzt dies mit Ihnen besprechen und – sofern Sie damit einverstanden sind – Ihren Hausarzt informieren.

Im Folgenden müssen wir Sie auf mögliche *Risiken* hinweisen.

Das Prinzip der Schmerzschwellenmessung besteht darin, den Druck so lange zu steigern, bis das Gefühl des Drucks in einen Schmerz übergeht. Die einzelnen Messungen sind also nicht völlig schmerzfrei, sondern werden erst dann beendet, wenn Sie einen leichten Schmerz spüren. An gefährdeten Körperstellen, wie z.B. Auge, Kehlkopf oder Genitalien, werden grundsätzlich keine Messungen durchgeführt. Eine eingehende Literaturrecherche ergab, dass bei einer solchen Vorgehensweise keine ernsthaften Gesundheitsstörungen zu erwarten sind. In Einzelfällen wurden nach wiederholten Messungen (bis zu 12 an derselben Stelle) Hautreizungen berichtet. Vereinzelt wurden auch leichte Einblutungen an den Messstellen beschrieben, jedoch war in dieser Studie nicht gewährleistet, dass Probanden mit einer verzögerten Blutgerinnung ausgeschlossen waren. In unserer Studie stellt eine Störung der Blutgerinnung (Blutungsneigung) ein Ausschlusskriterium dar.

Das Algometer ist zertifiziert und hat ein CE-Zeichen. Je nach Körperregion ist ein maximaler Druck eingestellt, der nicht überschritten werden darf. Die Sicherheitsvorrichtungen werden regelmäßig, u.a. vor jedem Versuchstag, überprüft. Für ein technisches Versagen der Überwachungsfunktion wurde eine durchschnittliche Wahrscheinlichkeit von einem Ausfall in 10 bis 100 Millionen Stunden (1.142 bzw. 11.416 Jahre) vom Hersteller berechnet. Dies entspricht der höchsten Sicherheitsstufe, die bei Maschinen realisiert werden kann. In dem theoretischen Fall des technischen Versagens kann eine ungebremste Zunahme des Druckes durch zwei von der elektrischen Steuerung unabhängige, rein mechanische Maßnahmen verhindert werden: Der Untersucher kann durch das Drücken eines pneumatischen Not-Halt-Tasters das Algometer vom Probanden mechanisch entkoppeln, indem er die Druckluft entweichen lässt. Das Algometer fährt dann schnell in eine sichere Position zurück. Außerdem ist jederzeit eine mechanische Entlastung des Probanden mit dem Handrad des manuell zu betätigenden Positionszylinders, auf dem das Druckalgometer montiert ist, möglich.

Versicherungsschutz

Eine Wegeunfallversicherung einschließlich Aufenthaltsversicherung ist bei der SV Sparkassen Versicherung AG Hessen-Nassau-Thüringen, (Tel. xxxx) abgeschlossen. Die maximale Versicherungssumme beträgt 100.000,00 €. Bitte beachten Sie im Schadensfall genau die Versicherungsbedingungen, die Ihnen zusammen mit der Probandeninformation ausgehändigt werden. Im Hinblick auf das Wegerisiko weisen wir darauf hin, dass nur die direkten An- und Abfahrtswege zu und von dem Studienzentrum mitversichert sind. Der Versicherungsschutz entfällt, wenn die Wegedauer ohne Not verlängert oder der Weg selbst durch rein private und eigenwirtschaftliche Maßnahmen (z. B. Einkauf, Besuch von Gaststätten zu Privatzwecken) unterbrochen wird.

Bezüglich anderer Risiken ist die Universitätsmedizin (früherer Name: Universitätsklinik) der Johannes Gutenberg-Universität Mainz Träger der Haftpflicht für die Versuche. Die Universitätsmedizin steht für das Verhalten ihrer Mitarbeiter ein. Haftpflicht setzt ein Verschulden, d.h. Vorsatz oder Fahrlässigkeit, voraus. Die so genannte Gefährdung ist nicht im Versicherungsschutz enthalten. Hinsichtlich des Versicherungsschutzes weisen wir Sie deshalb vorsorglich darauf hin, dass – mit Ausnahme des oben angesprochenen Versicherungsschutzes – Gesundheitsschäden oder sonstige Beeinträchtigungen, die bei Ihnen im Zusammenhang mit der Teilnahme an der Studie auftreten, ohne dass den Arzt, einen der beteiligten Wissenschaftler oder einen Ihrer Erfüllungsgehilfen (z. B. Mitarbeiter) ein schuldhaftes Fehlverhalten trifft, nicht versichert sind.

Sollten bei Ihnen Gesundheitsstörungen auftreten, die möglicherweise in irgendeinem Zusammenhang mit dem Forschungsvorhaben stehen könnten, bitten wir Sie, sich auch umgehend bei der Sie betreuenden Ärztin, Frau Dr. med. Britta Geißler, Fachärztin für Innere Medizin (Institut für Arbeits-, Sozial- und Umweltmedizin, Tel. 06131-17xxxx, Sekretariat 06131-17xxxx, Fax 06131-17xxxx), oder bei Herrn Prof. Dr. med. A. Muttray (Institut für Arbeits-, Sozial- und Umweltmedizin, Tel. 06131-17xxxx, Sekretariat 06131-17xxxx, Fax 06131-17xxxx) zu melden.

Datenschutz

Im Rahmen der Studie werden persönliche Daten und medizinische Befunde über Sie erhoben. Die Weitergabe, Speicherung und Auswertung dieser studienbezogenen Daten erfolgt nach den gesetzlichen Bestimmungen. Die pseudonymisierten (d.h. codiert ohne Angabe von Namen, Anschrift, Initialen oder Ähnlichem) Daten werden zur Erstellung von Statistiken und für wissenschaftliche Veröffentlichungen verwendet werden. Sollte personenbezogenes Bildmaterial für eine wissenschaftliche Veröffentlichung benötigt werden, werden Sie vorher um Ihre schriftliche Einwilligung gebeten.

Teilnahme und Rücktritt

Ihre Teilnahme an den Versuchen ist freiwillig. Sollten während der Versuche Fragen oder Probleme auftreten, können Sie sich jederzeit an uns wenden. Sie sind berechtigt, jederzeit von den Versuchen ohne Angabe von Gründen zurückzutreten, ohne Nachteile befürchten zu müssen.

Aufklärende/r Arzt/Ärztin ist:

Frau Dr. med. B. Geißler, Fachärztin für Innere Medizin, Institut für Arbeits-, Sozial- und Umweltmedizin).

Bei Interesse melden Sie sich bitte bei Frau Dr. Geißler (Kontaktdaten siehe oben) oder Herrn Martin Schmidt

Mainz, den

.....

Prof. Dr. med. Dipl.-Ing. S. Letzel

Institut für Arbeits-, Sozial- und Umweltmedizin, Universitätsmedizin der Johannes Gutenberg-Universität Mainz

.....

Prof. Dr. med. A. Muttray

Institut für Arbeits-, Sozial- und Umweltmedizin, Universitätsmedizin der Johannes Gutenberg-Universität Mainz

.....

Frau Dr. med. B. Geißler, Fachärztin für Innere Medizin

Institut für Arbeits-, Sozial- und Umweltmedizin, Universitätsmedizin der Johannes Gutenberg-Universität Mainz

10.4 Einwilligungserklärung

**Einwilligungserklärung zur Teilnahme an dem Forschungsprojekt:
„Experimentelle Ermittlung der Schmerzempfindlichkeit wichtiger Körperbereiche des Menschen bei
mechanischer Exposition in der Mensch-Maschine-Schnittstelle“**

Ich erkläre mich bereit, an der oben genannten Studie freiwillig teilzunehmen. Ich bin in einem persönlichen Gespräch ausführlich und verständlich über Wesen, Bedeutung, Risiken und Tragweite der Studie aufgeklärt worden. Ich hatte die Gelegenheit zu einem Beratungsgespräch. Alle meine Fragen wurden zufriedenstellend beantwortet, ich kann jederzeit neue Fragen stellen. Ich habe darüber hinaus den Text der Studienaufklärung gelesen und verstanden.

Ich hatte ausreichend Zeit, mich zu entscheiden. Mir ist bekannt, dass ich jederzeit und ohne Angabe von Gründen meine Einwilligung zur Teilnahme an der Studie zurückziehen kann (mündlich oder schriftlich), ohne dass mir daraus Nachteile entstehen.

Ich bestätige, dass ich 30 Tage vor dem geplanten Beginn der Studie an keiner anderen Studie teilgenommen habe, kein Blut gespendet sowie vollständige und wahrheitsgemäße Angaben zu Vorerkrankungen, zur Einnahme von Medikamenten und Genussmitteln/Drogen gemacht habe.

Ich habe gelesen und verstanden und bin damit einverstanden, dass meine studienbezogenen Gesundheitsdaten pseudonymisiert (d.h. codiert ohne Angabe von Namen, Anschrift, Initialen oder Ähnlichem) erhoben, auf Datenträgern gespeichert und ausgewertet werden; die Weitergabe an Dritte einschließlich Publikation erfolgt ausschließlich in anonymisierter Form, d.h. die Daten können nicht meiner Person zugeordnet werden.

Sollte im Einzelfall Bildmaterial (Fotos oder kurzes Video) mit meiner Person für eine wissenschaftliche Publikation, z. B. einen Vortrag, benötigt werden, so erfolgt eine Veröffentlichung nur nach einer vorherigen schriftlichen Einwilligung. Ich wurde darüber informiert, dass bei einer fehlenden Einwilligung für die Veröffentlichung personenbezogener Aufnahmen keinerlei Nachteile für mich entstehen und auch die Teilnahme an der Studie nicht davon abhängt.

Mit der Veröffentlichung von Bildmaterial für eine wissenschaftliche Publikation bin ich

Einverstanden

Nicht einverstanden

(bitte Zutreffendes ankreuzen).

Ein Exemplar der Studieninformation und Einwilligungserklärung habe ich erhalten, gelesen und verstanden.

Mainz, den.....

Aufklärender Arzt/Ärztin:.....

.....

.....

(Unterschrift **Proband/in**)

(Unterschrift Arzt/Ärztin)

.....

.....

(Name in **Druckschrift**)

(Name in **Druckschrift**)

Ich habe das Aufklärungsgespräch geführt und die
Einwilligung des Teilnehmers eingeholt.

10.5 Edinburgh Handedness Inventory

Sehr geehrte/r Frau/ Herr,

bitte kreuzen Sie (X) in der entsprechenden Spalte an, mit welcher Hand Sie die nachfolgenden Tätigkeiten *vorzugsweise* ausführen. Wenn Sie die eine Hand so sehr bevorzugen, dass Sie nie versuchen würden, die andere zu verwenden, sofern es nicht zwingend notwendig wäre, notieren Sie bitte zwei Kreuze (XX). Wenn Sie bei einer Tätigkeit wirklich beide Hände gleich häufig benutzen sollten, setzen Sie bitte ein „X“ in beide Spalten. Für einige Tätigkeiten werden beide Hände benötigt. In diesen Fällen wird derjenige Teil der Aufgabe bzw. der Gegenstand, für den die Präferenz der Hand gefragt ist, angegeben.

Bitte beantworten Sie alle Fragen. Sollten Sie überhaupt keine Erfahrung mit einem Gegenstand oder einer Aufgabe haben, lassen Sie das entsprechende Feld frei.

		LINKS	RECHTS
1	Schreiben		
2	Zeichnen		
3	Werfen		
4	Schneiden mit der Schere		
5	Zähneputzen		
6	Schneiden m. Messer (ohne Gabel)		
7	Löffel halten		
8	Mit dem Besen fegen (obere Hand)		
9	Streichholz anzünden (Hand am Streichholz)		
10	Öffnen einer Kiste (Hand am Deckel)		
i	Welchen Fuß bevorzugen Sie beim Fußballspielen (oder Wegschießen von Gegenständen)?		
ii	Welches Auge benutzen Sie, wenn Sie nur mit einem Auge sehen?		

L.Q.		<i>Füllen Sie diese Kästchen bitte nicht aus</i>	DECILE	
------	--	---	--------	--

10.6 Instruktionen – Einführung Labor

Einführung – Labor

Sehr geehrte/r Proband/in,

herzlich Willkommen im Algometrielabor.

Vor Beginn müssen wir Sie mit einigen Sicherheitsbestimmungen vertraut machen.

Bitte halten Sie sich stets an die Anweisungen der Untersucher. Dies dient Ihrer Sicherheit.

Sollten Sie irgendwelche Probleme oder Fragen haben, zögern Sie bitte nicht, dies den Untersuchern mitzuteilen. Sollte es Ihnen nicht wohl sein und Sie das Experiment unterbrechen wollen, ist das jederzeit möglich.

Im Labor können Sie essen und trinken, zum Rauchen müssen Sie vor den Haupteingang gehen. Bitte benutzen Sie – außer in Notfällen – nur den Haupteingang, da alle anderen Türen alarmgesichert sind.

Bitte betreten Sie zu Ihrer eigenen Sicherheit keine anderen Laborräume.

Während der Messungen möchten wir Sie bitten ihr Handy auszuschalten und Ihren Schmuck abzulegen. Die Messtechnik kann sehr empfindlich auf Störungen reagieren.

In medizinischen Notfällen erreichen sie über das Telefon im Labor das innerklinische Notfallteam, wenn Sie die 18 wählen.

10.7 Instruktionen – Einführung Handalgometer

Sehr geehrte/r Proband/in,

bevor Sie zu Vorversuchen in das Algometrielabor gehen, müssen orientierende Druckschmerzschwellenmessungen mit einem Handalgometer durchgeführt werden.

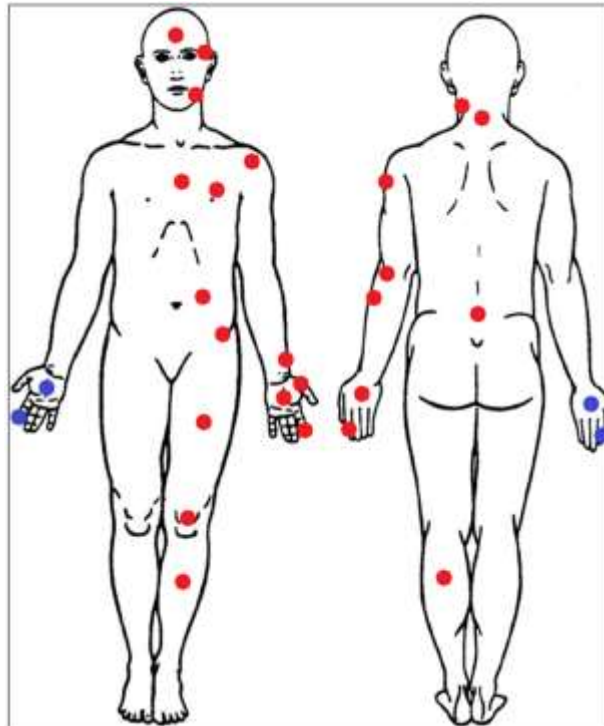
Diese Algometer wird durch den Untersucher per Hand an verschiedenen Stellen Ihres Körpers verwendet und dient zur groben Einschätzung Ihrer Schmerzschwelle.

Die erhobenen Werte dienen der späteren Sicherheitseinstellung des automatischen Algometers.

10.8 Instruktionen – Ablaufplan

Ein Messtag wird wie folgt ablaufen:

- Zunächst werden Sie einen kurzen Fragebogen ausfüllen
- Danach werden Druckschmerzschwellenmessungen an 28 bzw. 29 Messstellen, die über den gesamten Körper verteilt sind, durchgeführt. (Siehe Bild)



- An jeder Messstelle wird insgesamt dreimal gemessen, mit einem gewissen zeitlichen Abstand zwischen den Einzelmessungen. Daher verteilen sich die Messungen auf zwei Messtage.
- Nach jeder Messung werden Sie kurz nach Ihrem Empfinden gefragt.
- Sollten Messungen abgebrochen worden oder ungültig sein, müssen diese nachgeholt werden.
- Zwischen einigen Messungen muss die Anlage umgebaut werden. In dieser Zeit können Sie sich entspannen, rauchen oder auf Toilette gehen.
- Am Ende eines Messtages werden Sie noch einen Fragebogen zu Ihrem Befinden ausfüllen und die Messstellen werden inspiziert.
- Sie erhalten eine Augenmaske, die Sie aufsetzen und während jeder Einzelmessung über die Augen ziehen.

Am Einführungstag werden Sie eine Einführung in das Algometer erhalten und einige Probemessungen durchführen, damit Sie Ihre Druckschmerzschwelle sowie das Algometer und den Zustimmungstaster kennenlernen können.

10.9 Instruktionen – Algometrie und Sicherheit

Sehr geehrte/r Proband/in,

wir werden Ihnen nun das „Algometer“ vorstellen. Das Gerät ist zur Messung von Druckschmerzschwellen konstruiert worden.

Das Algometer ist an einer verstellbaren Achse montiert und kann je nach Bedarf ausgerichtet werden. Sie sitzen auf einem Stuhl und die zu messende Körperpartie wird so gelagert, dass sie gut vom Algometer erreicht werden kann (Beispiel siehe Bild 1).

Für die Lagerung verwenden wir mehrere Hilfsmittel.

Wichtig ist, dass Sie ruhig und bequem sitzen bzw. positioniert sind, damit Sie sich auf die Messung konzentrieren können.

Sollte eine Lagerung unangenehm sein, sie z.B. beengen, oder ein „Kribbeln“ hervorrufen, teilen Sie dies bitte unverzüglich den Untersuchern mit.

Wenn wir mit der Lagerung und Fixierung fertig sind, erhalten Sie Ihren Zustimmungstaster

Anschließend positionieren wir das Algometer. Wichtig ist, dass sie sich währenddessen nicht stärker bewegen, damit es nicht zur Kollision zwischen Ihnen und dem Algometer kommt.

Bitte achten Sie während der Algometer-Positionierung auf die Anweisungen der Untersucher und darauf, dass Sie sich nicht im Bereich beweglicher Algometer-Elemente befinden.

Bei Messungen am Kopf erhalten Sie eine Schutzbrille für die Augen, die Sie über der Augenmaske aufsetzen.

Sobald die Ausrichtung des Algometers fertig ist, ziehen Sie Ihre Augenmaske über die Augen und sollten sich nicht mehr bewegen; die Messung kann nun beginnen.

Das Algometer funktioniert nur, wenn die Zustimmungstaster (siehe Bild 2) in Mittelstellung gedrückt werden. Sowohl Sie als Proband, als auch ein Untersucher müssen während einer Messung den Taster drücken.

Die Taster haben drei Stellungen:

1. – Loslassen = wenn man nicht drückt oder loslässt; eine Messung ist nicht möglich beziehungsweise wird abgebrochen
2. – Mittelstellung = Zustimmung; nur jetzt kann eine Messung durchgeführt werden
3. – Durchdrücken = komplett durchgedrückt; eine Messung ist nicht möglich beziehungsweise wird abgebrochen



Bild 1 – Messung am Bauch



Bild 2 – Zustimmungstaster

Sie haben nun die Gelegenheit, den Taster an einer Test-Einheit auszuprobieren; wenn Sie ihn in Mittelstellung halten leuchtet eine rote Lampe an der Test-Einheit; sobald sie loslassen oder durchdrücken erlischt die Lampe, dies entspricht einer Messbeendigung bzw. -abbruch.

Der Zustimmungstaster hat den Sinn, uns mitzuteilen, wann Ihre Schmerzschwelle erreicht ist! Sobald das Gefühl an der Messstelle von einem Druckgefühl in einen gerade spürbaren Schmerz übergeht, drücken Sie bitte den Taster bzw. lassen ihn los.

(Entweder Stellung 1 = Loslassen oder Stellung 3 = Durchdrücken)

In diesem Moment wird das Algometer die Messung beenden, den Druck aufheben und in die Startposition zurückfahren.

Zu Ihrer Sicherheit gibt es die sogenannte „Grenzkraft-Einstellung“.

Bei Überschreiten der Grenzkraft fährt das Algometer in eine Sicherheitsposition zurück.

Am Algometer wird diese je nach Gewebeart und Messstelle so verändert, dass bei kritischen Stellen ein geringerer Maximaldruck zugelassen wird.

Außerdem gibt es mehrere NOT-AUS-Knöpfe an verschiedenen Stellen.

Eine Messung läuft folgendermaßen ab:

Zunächst kalibriert sich das Gerät, man hört dies durch leises Surren.

Nun müssen die Zustimmungstaster in Mittelstellung sein, damit die Messung beginnen kann.

Der Messvorgang beginnt mit einem Signalton und der Stößel fährt bis zu einem gewissen Druck auf Ihre Haut. Erst nach Ertönen des zweiten Signaltons beginnt die eigentliche Messung.

Nun fährt das Algometer so lange vor, bis Sie den Zustimmungstaster loslassen oder durchdrücken.

Bitte tun Sie dies in dem Moment, wo das Gefühl an der Messstelle von Druck in gerade spürbaren Schmerz übergeht.

10.10 Fragebogen Schmerzvor erfahrung

**Schmerzvor erfahrung
(VAS)**

Studienabschnitt:
Probandennummer:
Datum & Uhrzeit:

Was war der stärkste Schmerz den Sie je erlebt haben?

Wo haben Sie den Schmerz verspürt? _____

Wie würden Sie ihn beschreiben (z.B. stechend, brennend, zerreißend, vernichtend)?

Wann trat er auf (Datum) und in welcher Situation? _____

Welche Ursache hatte der Schmerz? _____

Wie lange hat er angedauert? _____

Wie häufig haben Sie ihn bisher erlebt? _____

Zur Beantwortung der folgenden Frage setzen Sie bitte ein „x“ auf die Linie:

Wie stark war der stärkste Schmerz den Sie je erlebt haben?



10.11 Liste mit Messlokalisationen und Beschreibungen zum Auffinden

Stirnmitte	Strecke Nasenwurzel (oberer Ansatz der Nase, zwischen den Augen gelegen) - Schädelbasis (unterster/caudalster Punkt der crista occipitalis externa des Hinterhauptknochens), die Strecke zehnteln, das erste Zehntel dieser Streckenlänge ab Nasenwurzel abmessen und auf der Medianlinie den Messpunkt markieren
Temporal ndom (Schläfe)	Horizontale durch die beiden seitlichen Augenwinkel legen, auf dieser Horizontalen 2 cm seitlich/lateral des äußeren Augenwinkels/des Angulus oculi lateralis den Messpunkt markieren (liegt der so ermittelte Messpunkt auf der Schläfenarterie (pulsierendes Gefäß) oder einer dicken Schläfenvene, nach oben/unten/zur Seite hin ausweichen und neue Lokalisation des Messpunktes im Protokoll dokumentieren
M. masseter ndom (Kaumuskel)	den Probanden bitten, etwa 3 sec auf die Zähne zu beißen, dabei am Unterkieferwinkel den Kaumuskel ertasten und den Messpunkt am prominentesten Punkt des Muskelbauches markieren; falls der Muskelbauch beim ersten Mal nicht eindeutig zu lokalisieren ist, Vorgang wiederholen.
M. sternocleidomastoideus ndom (Halsmuskel)	Der Proband wird aufgefordert, den Kopf gegen Widerstand (Hand des Untersuchers) zur Seite zu wenden, dabei beobachtet und palpiert man das Hervortreten des Musculus sternocleidomastoideus auf der Gegenseite und markiert den Messpunkt auf dem Muskel unmittelbar unterhalb des Processus mastoideus.
Dornfortsatz des Halswirbelkörpers C7	in der Medianlinie vom Hinterhaupt über den Nacken über der Wirbelsäule entlang der tastbaren Dornfortsätze nach unten fahren, der prominenteste Dornfortsatz entspricht dem des Halswirbelkörpers 7.
Schultergelenk vorne ndom (Proc. coracoideus)	Am Unterrand des Schlüsselbeinknochens von innen nach außen Richtung Schultergelenk entlangfahren. Am äußeren Ende trifft man auf einen Knochenvorsprung, den processus coracoideus.
Dornfortsatz des Lendenwirbelkörpers L5	Oberkante des hinteren Beckenkamms beidseits ertasten und durch horizontale Linie verbinden, Schnittpunkt dieser Linie mit der Wirbelsäule markiert den 5. Lendenwirbelkörper, in der Mittellinie der Wirbelsäule nach unten den nächstgelegenen Dornfortsatz ertasten und markieren
Sternum (Brustbein)	Messpunkt auf Höhe des 3. ICR (Zwischenrippenraum) in der Mittellinie des Brustbeins markieren.
M. pectoralis ndom (Brustmuskel) (nur bei Männern)	Vertikale 1 durch den oberen Ausläufer der vorderen Achselfalte. Vertikale 2 entspricht der Midsternallinie (Vertikale durch die Mitte des Brustbeins). Mittig zwischen diese beiden Vertikalen (1 und 2) 3. Vertikale legen. Schnittpunkt der Horizontalen durch Punkt 8 (Brustbeinmitte) mit Vertikale 3.
M. rectus abdominis ndom (gerader Bauchmuskel)	Vertikale 1 durch den oberen Ausläufer der vorderen Achselfalte. Vertikale 2 entspricht der Midsternallinie (Vertikale durch die Mitte des Brustbeins). In der Mitte dieser beiden Vertikalen (1 und 2) 3. Vertikale legen. Messpunkt ist der Schnittpunkt der Vertikalen 3 mit einer Linie, die vom mittleren untersten Rand des Brustbeins zum vorderen oberen Darmbeinstachel (Spina iliaca anterior superior) führt.
Spina iliaca anterior superior ndom (Beckenkammknochen)	von der Leistenbeuge aus nach oben gehen und den vorderen oberen Darmbeinstachel/ Spina iliaca anterior superior (Beckenkammknochen) markieren

M. deltoideus ndom (Deltamuskel)	Strecke zwischen Punkt 6 (Proc. coracoideus) und Punkt 13 (Epicondylus lateralis humeri) ausmessen und auf dieser Linie den Übergang vom 1. oberen zum 2. oberen Viertel als Messpunkt an der Außenseite des Oberarms im Bereich des Deltamuskels markieren.
Epicondylus lateralis ndom (Oberarmknochen)	seitlichen Ellenbogengelenkspalt aufsuchen (als Orientierung dient die Ellenbogenbeugefalte, Ellenbogengelenkspalt durch Palpation bestimmen) und von dort aus 1 cm nach oben Richtung Schultergelenk gehen und am seitlichen Oberarmknochens den tastbaren Epicondylus lateralis humeri als Messpunkt markieren.
Processus styloideus radii ndom (Speichenknochen)	seitlichen daumenseitigen Handgelenkspalt (als Orientierung dient die Handgelenksbeugefalte, Handgelenkspalt durch Palpation bestimmen) aufsuchen. Schulterwärts hiervon ragt der seitliche untere Rand des Speichenknochens hervor. Diesen Vorsprung bezeichnet man als Griffelfortsatz (Processus styloideus radii). Diesen markieren.
M. extensor carpi ulnaris/radialis ndom (Unterarmmuskel)	Strecke zwischen Punkt 13 (Epicondylus lateralis humeri) und Punkt 14 (Processus styloideus radii) vierteln, Messpunkt am Übergang vom ersten oberen zum 2. oberen Viertel markieren.
N. medianus ndom (Mittelnerv)	Festlegung des Punktes in der ärztlichen Voruntersuchung: den N. medianus in der medialen Ellenbeuge medial der Bizepssehne durch Druckpalpation identifizieren: bei leicht gebeugtem Ellenbogen in der Ellenbeuge die Bizepssehne palpieren, den Bereich medial der Bizepssehne an verschiedenen Stellen tief eindrücken und den Probanden bitten, den Punkt zu benennen, an dem der Druck am unangenehmsten bzw. schmerzhaft ist oder ein in den Unterarm bzw. in den Daumen, Zeige- und Mittelfinger austrahlender Schmerz provoziert werden kann.
Phalanx distalis Dig. II (palmar) dom (Zeigefingerbeere)	höchste Erhebung der Fingerbeere in der Mittellinie des Zeigefingers
Phalanx distalis Dig. II (palmar) ndom (Zeigefingerbeere)	höchste Erhebung der Fingerbeere in der Mittellinie des Zeigefingers
DIP Dig. II (dorsal) dom (Zeigefingerendgelenk handrückenseitig)	über dem handrückenseitigen Gelenkspalt zwischen Fingerend- und -Mittelglied in der Mittellinie des Zeigefingers
DIP Dig. II (dorsal) ndom (Zeigefingerendgelenk handrückenseitig)	über dem handrückenseitigen Gelenkspalt zwischen Fingerend- und -Mittelglied in der Mittellinie des Zeigefingers
Daumenballen ndom (Muskel über dem Knochen)	Schnittpunkt (S1) zwischen Mittellinie des Mittelfingers mit der körperfernsten/distalsten Handgelenksbeuge-(haut)falte. Strecke zwischen S1 und der handflächenseitigen Daumen-Zeigefingerfalte (Winkel) ausmessen und in der Mitte dieser Strecke den Messpunkt auf dem Daumenballen markieren.
Handinnenfläche dom (Palma manus)	auf der Mittellinie des Mittelfinger die Strecke zwischen der Fingerfalte am Übergang von Fingergrundglied zu Mittelhandknochen und dem Schnittpunkt der Mittellinie des Mittelfingers mit der körperfernsten/distalsten Handgelenks-beuge(haut)falte ausmessen und in der Mitte dieser Strecke den Messpunkt in der Handinnenfläche markieren
Handinnenfläche ndom (Palma manus)	auf der Mittellinie des Mittelfinger die Strecke zwischen der Fingerfalte am Übergang von Fingergrundglied zu Mittelhandknochen und dem Schnittpunkt der Mittellinie des Mittelfingers mit der körperfernsten/distalsten Handgelenks-beuge(haut)falte ausmessen und in der Mitte dieser Strecke den Messpunkt in der Handinnenfläche markieren.

<p>Handrücken dom (Dorsum manus)</p>	<p>Horizontale durch die höchsten Erhebungen der Mittelhandknochenköpfchen legen (diese lassen sich besser abgrenzen, wenn der Proband einen Faustschluss macht), direkt unterhalb dieser Linie Messpunkt im Dreieck zwischen den Fingerstrecksehnen des Mittel- und Ringfingers markieren . Verlaufen dicke Venenstränge in diesem Bereich ggf. ausweichen auf das Dreieck zwischen den Fingerstrecksehnen des Mittel- und Zeigefingers und dies im Protokoll dokumentieren</p>
<p>Handrücken ndom (Dorsum manus)</p>	<p>Horizontale durch die höchsten Erhebungen der Mittelhandknochenköpfchen legen (diese lassen sich besser abgrenzen, wenn der Proband einen Faustschluss macht), direkt unterhalb dieser Linie Messpunkt im Dreieck zwischen den Fingerstrecksehnen des Mittel- und Ringfingers markieren . Verlaufen dicke Venenstränge in diesem Bereich ggf. ausweichen auf das Dreieck zwischen den Fingerstrecksehnen des Mittel- und Zeigefingers und dies im Protokoll dokumentieren</p>
<p>M. rectus femoris ndom (Oberschenkelmuskel)</p>	<p>Verbindungsline zwischen vorderem oberen Darmbeinstachel /Spina iliaca anterior superior (Beckenkammknochen) und mittiger Kniescheibenoberkante, auf dieser Linie Punkt am Übergang vom unteren zum mittleren Drittel im Bereich der Oberschenkelmuskulatur markieren</p>
<p>Patella ndom (Kniescheibe)</p>	<p>am unteren Winkel der Kniescheibe (Apex) den Messpunkt in der Mittellinie der Kniescheibe markieren</p>
<p>Tibiakante ndom (Schienbeinkante)</p>	<p>Strecke zwischen seitlichem/lateralen Kniegelenkspalt (als Orientierung dient die Kniegelenksbeugefalte, Kniegelenkspalt durch Palpation bestimmen) und Spitze des Außenknöchels/Malleolus lateralis dritteln und am Übergang vom oberen zum mittleren Drittel in der Mittellinie über der planen nach innen zeigenden Schienbeinkante den Messpunkt markieren</p>
<p>M. gastrocnemius ndom (Wadenmuskel)</p>	<p>Verbindungsline seitlicher/lateraler Kniegelenkspalt (als Orientierung dient die Kniegelenksbeugefalte, Kniegelenkspalt durch Palpation bestimmen)und Spitze des Außenknöchels/Malleolus lateralis, auf dieser Linie Punkt am Übergang vom oberen zum mittleren Drittel bestimmen und auf gleicher Höhe über der prominentesten Vorwölbung der äußeren Wadenmuskulatur (Musculus gastrocnemius lateralis) Messpunkt markieren.</p>

10.12 Merkblatt Probandeninstruktion für die Versuchstage

Bitte kommen Sie **ausgeruht** zur Untersuchung (genügend Nachtschlaf). Bitte machen Sie in den 5 Tagen vor dem Experiment **keinen Nachtdienst**.

Bitte trinken Sie am Vortag des Experiments ab 18 Uhr **keinen Alkohol** mehr.

Frühstücken Sie **normal** am Untersuchungstag.

Bitte bringen Sie sich für den Untersuchungstag ausreichend **Verpflegung und Getränke** mit.

Bitte bringen Sie für den Untersuchungstag **bequeme Sportkleidung**, außerdem eine **kurze Hose/Shorts** (für Messungen am Bein) mit.

Frauen sollten zusätzlich ein **Top** (am besten mit Spagettiträgern) mitbringen (für die Messungen am Oberkörper).

Falls Sie lange Haare haben, bringen Sie bitte **Haarspangen bzw. Haargummis** mit.

Wir möchten die Männer bitten, sich am Morgen des Untersuchungstages im Gesicht zu rasieren. Falls Sie Bartträger sind, können Sie den Bart selbstverständlich stehenlassen.

Falls Sie Brillenträger / Kontaktlinsenträger sind, bringen Sie bitte zum oben genannten Termin Ihre **Brille / Kontaktlinsen** mit.

Vielen Dank für Ihre Mithilfe.

Mit freundlichen Grüßen

Prof. Dr. med. A. Muttray

Dr. med. B. Geißler

Dipl.-Psych. M. Melia

10.13 Aktuelle Schläfrigkeit

Name:	Vorname:	Probandennummer:
Datum:	Uhrzeit:	

5.1 Karolinska Sleepiness Scale

Bitte bewerten Sie Ihre momentane Müdigkeit/Schläfrigkeit, indem Sie das Kästchen neben der entsprechenden Zahl zwischen 1 und 9 ankreuzen.

- 1 = sehr wach
- 2 = zwischen sehr wach und wach-normaler Zustand
- 3 = wach-normaler Zustand
- 4 = zwischen wach-normaler Zustand und weder wach noch schläfrig
- 5 = weder wach noch schläfrig
- 6 = zwischen weder wach noch schläfrig und schläfrig, aber keine Probleme wach zu bleiben
- 7 = schläfrig, aber keine Probleme wach zu bleiben
- 8 = zwischen schläfrig, aber keine Probleme wach zu bleiben und sehr schläfrig, große Probleme wach zu bleiben
- 9 = sehr schläfrig, große Probleme wach zu bleiben, mit dem Schlaf kämpfend

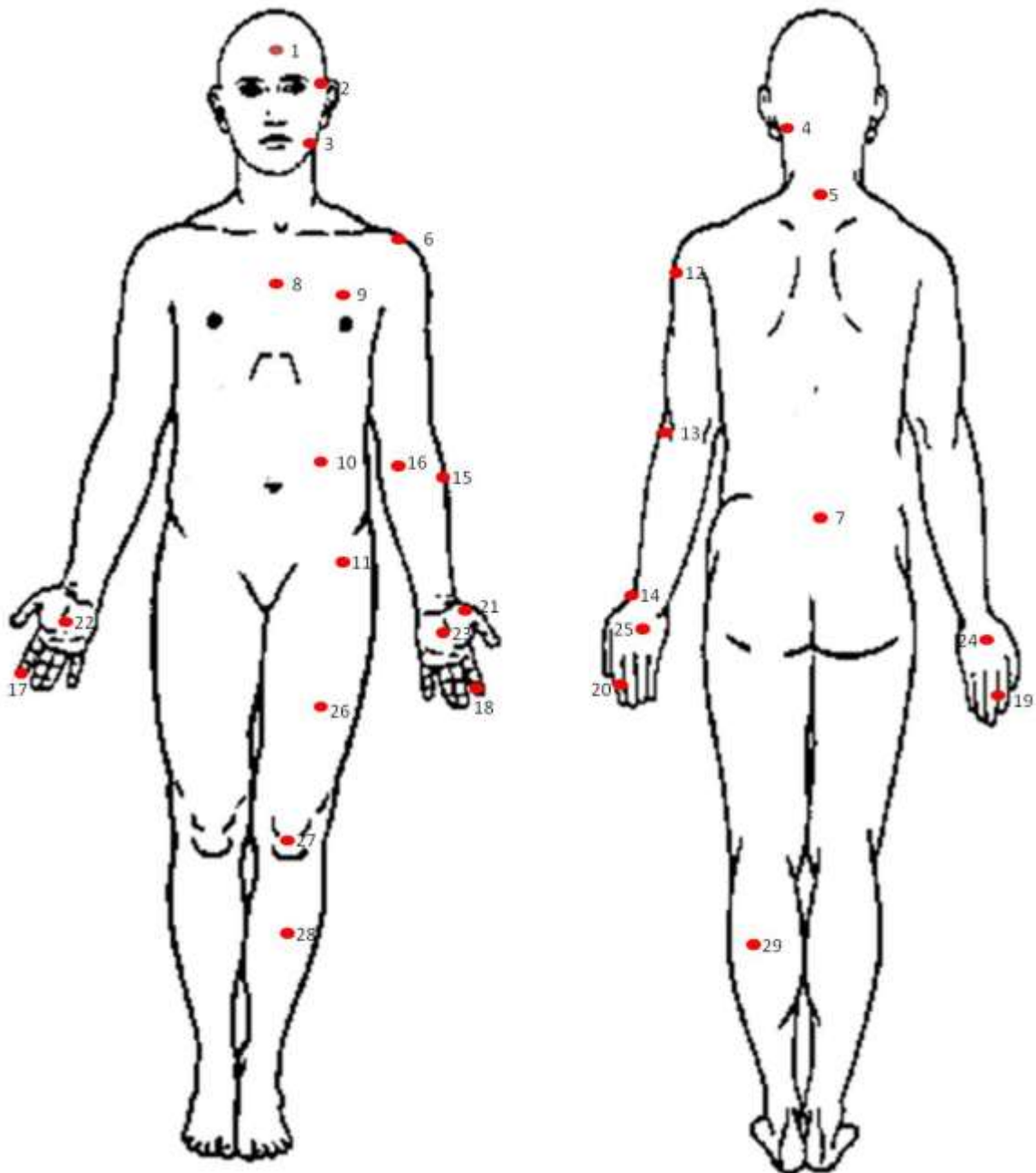
10.14 Dokumentationsbogen am Experimenttag

Name:	Vorname:	Probandennummer:
-------	----------	------------------

Datum: **tt.mm.jjjj**

Experimenttag: 0 1 2 3 4 5

Uhrzeit: **hh:min:min**



10.15 Probemessungen und Einführung in das Algometer

Einführung in das Algometer

Raum vorbereiten: Raum lüften, PCs hochfahren, Virendatenbank updates prüfen, Sicherheitsfunktionsprüfung durchführen

"Bitte nicht stören" Schild anbringen

KSS + VAS-Schmerz ausdrucken

Proband bitten am Schreibtisch Platz zu nehmen

STAI-STATE (PC) (2)

KSS (1) + Gesichterskala momentanes Befinden

Allgemeine Erklärung Versuchsablauf: Wesentliche Punkte die angesprochen werden müssen

- Ziel der Studie: Normierung der sog. Schmerzschwelle = schwächster Druck der als schmerzhaft empfunden wird
- 28 (bei Frauen) bzw. 29 (bei Männer) Messstellen, die über den gesamten Körper verteilt sind
- 3 X gemessen, mit einem gewissen zeitlichen Abstand zwischen den Einzelmessungen.
- Am Tag der Messung mit Augenmaske. (zur Förderung der Konzentration auf die SS)
- Angaben über zeitlichen Ablauf

Vorstellen des Algometers : Aufklären und Einführung in das Algometer

- Sie werden auf einem Stuhl/Hocker so gelagert, dass das Algometer die zu messenden Stellen an ihrem Körper gut erreicht werden kann
- Für die Lagerung verwenden wir mehrere Hilfsmittel. (Kissen, Schienen etc.)
- Wichtig ist, dass Sie ruhig und bequem sitzen bzw. positioniert sind
- Nach Lagerung und Fixierung --> Zustimmungstaster
- Zustimmungstaster hat den Sinn, uns mitzuteilen, wann Ihre Schmerzschwelle erreicht ist.
- Sobald das Druckgefühl in gerade spürbaren Schmerz übergeht, lassen Sie los.
- Danach ist die Messung beendet und das Gerät fährt in die Startposition zurück
- Bei der Messung an Brust/Rücken ist es wichtig, dass Sie normal weiteratmen

Demonstration des Zustimmungstasters

Zeigen der Test-Einheit (Zustimmungstaster)

„In Mittelstellung leuchtet die rote Lampe, sobald Sie loslassen oder durchdrücken erlischt die Lampe. Wenn Sie loslassen oder durchdrücken dann bedeutet das in unserem Versuch, dass das Druckgefühl in gerade spürbaren Schmerz übergeht.“

Vorstellen und Demonstration der Sicherheitsfunktionen

- Das Algometer funktioniert nur, wenn zwei Zustimmungstaster in Mittelstellung gedrückt werden. Deshalb müssen Proband und Untersucher während einer Messung den Taster auf Mittelstellung drücken.
- Zu Ihrer Sicherheit gibt es die Begrenzung der maximalen Kraft
- Bei Überschreiten der Grenzkraft fährt das Algometer in eine Sicherheitsposition zurück.
- Außerdem gibt es 2 Notfallknöpfe die das Gerät sofort deaktivieren

Demonstration der Grenzkraftüberschreitung und sonstiger möglicher Vorkommnisse/Geräusche (Hydraulikhebel etc.)

Höhe, Breite und Tiefe der Lagerungsposition für den ersten Messtag in entsprechender Tabelle eintragen

1. Messung Dig. III (Beere)(Mittelfingerbeere) dom

Lagerungseinstellung und Kissen vorbereiten

Anpassung des Vakuumkissens

Platzierung und Fixierung des Probanden.

Vorlesung der standardisierten Instruktion

Eine Messung läuft folgendermaßen ab:

Zunächst kalibriert sich das Gerät, man hört dies durch leises Surren.

Nun müssen die Zustimmungstaster in Mittelstellung sein, damit die Messung beginnen kann.

Der Messvorgang beginnt mit einem Signalton und der Stößel fährt bis zu einem gewissen Druck auf Ihre Haut. Erst nach Ertönen des zweiten Signaltons beginnt die eigentliche Messung.

Beginn der ersten Probemessung

Begleitende Beschreibung des Messvorgangs

1. Drücken des Knopfs: "Die Messung beginnt in wenigen Sekunden"

2. erster Signalton: Stößel fährt vor: "Der Stößel fährt solange nach vorne, bis ein Widerstand erkannt wird,

dann stoppt das Algometer"

3. zweiter Signalton: "Nun beginnt sofort die Messung. Das Algometer fährt so lange vor, bis Sie den Taster loslassen"

"Bitte lassen Sie genau in dem Moment los, in dem das Gefühl von einem Druck in einen gerade spürbaren Schmerz übergeht."

3. Proband lässt los: "Der Messvorgang ist beendet und die Daten werden gespeichert"

Markierung des Vakuumkissens mit Post-It (Probanden Nummer+ Lagerungsnummer)

2. Dig. III (DIP dorsal) ndom

Anpassung des Vakuumkissens

Platzierung und Fixierung des Probanden

Beginn der Messung

Begleitende Beschreibung des Messvorgangs

1. Drücken des Knopfs: "Die Messung beginnt in wenigen Sekunden"

2. erster Signalton: Stößel fährt vor: "Der Stößel fährt solange nach vorne, bis ein Widerstand erkannt wird,

dann stoppt das Algometer"

3. zweiter Signalton: "Nun beginnt sofort die Messung. Das Algometer fährt so lange vor, bis Sie den Taster loslassen"

"Bitte lassen Sie genau in dem Moment los, in dem das Gefühl von einem Druck in einen gerade spürbaren Schmerz übergeht."

3. Proband lässt los: "Der Messvorgang ist beendet und die Daten werden gespeichert"

Markierung des Vakuumkissens mit Post-It (Probanden Nummer+ Lagerungsnummer)

3. Messung Dig. III (DIP dorsal) dom Innenseite

Platzierung und Fixierung des Probanden

Aufsetzen der Augenmaske

Beginn der Messung

Begleitende Beschreibung des Messvorgangs

1. Drücken des Knopfs: "Die Messung beginnt in wenigen Sekunden"
2. erster Signalton: Stößel fährt vor: "Der Stößel fährt solange nach vorne, bis ein Widerstand erkannt wird,
dann stoppt das Algometer"
3. zweiter Signalton: "Nun beginnt sofort die Messung. Das Algometer fährt so lange vor, bis Sie den Taster loslassen"
"Bitte lassen Sie genau in dem Moment los , in dem das Gefühl von einem Druck in einen gerade spürbaren Schmerz übergeht."

3. Proband lässt los: "Der Messvorgang ist beendet und die Daten werden gespeichert"

Markierung des Vakuumkissens mit Post-It (Probanden Nummer+ Lagerungsnummer)

4. Messung Dig. III (Mittelfingerbeere) ndom

Platzierung und Fixierung des Probanden

Aufsetzen der Augenmaske

Beginn der Messung

"Bitte lassen Sie genau in dem Moment los , in dem das Gefühl von einem Druck in einen gerade spürbaren Schmerz übergeht."

3. Proband lässt los: "Der Messvorgang ist beendet und die Daten werden gespeichert"

Markierung des Vakuumkissens mit Post-It (Probanden Nummer+ Lagerungsnummer)

5. Messung Stirn Außenseite rechts

CAVE: Bei angespannten Probanden vorher Stirn Außenseite links ohne Augenmaske messen

Platzierung und Fixierung des Probanden

Aufsetzen der Augenmaske

Aufsetzen der Schutzbrille

Beginn der Messung

Begleitende Beschreibung des Messvorgangs

1. Drücken des Knopfs: "Die Messung beginnt in wenigen Sekunden"

2. erster Signalton: Stößel fährt vor: "Der Stößel fährt solange nach vorne, bis ein Widerstand erkannt wird, dann stoppt das Algometer"

3. zweiter Signalton: "Nun beginnt sofort die Messung. Das Algometer fährt so lange vor, bis Sie den Taster loslassen"

"Bitte lassen Sie genau in dem Moment los , in dem das Gefühl von einem Druck in einen gerade spürbaren Schmerz übergeht."

3. Proband lässt los: "Der Messvorgang ist beendet und die Daten werden gespeichert"

6. Messung oberhalb der Schläfe ndom

Platzierung und Fixierung des Probanden

Aufsetzen der Augenmaske

Aufsetzen der Schutzbrille

Beginn der Messung

Begleitende Beschreibung des Messvorgangs

1. Drücken des Knopfs: "Die Messung beginnt in wenigen Sekunden"

2. erster Signalton: Stößel fährt vor: "Der Stößel fährt solange nach vorne, bis ein Widerstand erkannt wird, dann stoppt das Algometer"

3. zweiter Signalton: "Nun beginnt sofort die Messung. Das Algometer fährt so lange vor, bis Sie den Taster loslassen"

"Bitte lassen Sie genau in dem Moment los , in dem das Gefühl von einem Druck in einen gerade spürbaren Schmerz übergeht."

3. Proband lässt los: "Der Messvorgang ist beendet und die Daten werden gespeichert"

"Vorsicht: Bitte nicht Bewegen bis ich den Stößel zurück gefahren habe"

7.Messung M. gastrocnemius dom

Platzierung und Fixierung des Probanden

Aufsetzen der Augenmaske

Beginn der Messung

Begleitende Beschreibung des Messvorgangs

1. Drücken des Knopfs: "Die Messung beginnt in wenigen Sekunden"

2. erster Signalton: Stößel fährt vor: "Der Stößel fährt solange nach vorne, bis ein Widerstand erkannt wird, dann stoppt das Algometer"

3. zweiter Signalton: "Nun beginnt sofort die Messung. Das Algometer fährt so lange vor, bis Sie den Taster loslassen"

"Bitte lassen Sie genau in dem Moment los , in dem das Gefühl von einem Druck in einen gerade spürbaren Schmerz übergeht."

3. Proband lässt los: "Der Messvorgang ist beendet und die Daten werden gespeichert"

"Vorsicht: Bitte nicht Bewegen bis ich den Stößel zurück gefahren habe"

KSS (2) + Gesichterskala momentanes Befinden

klinische Untersuchung Abschnitt 3 (Dokumentationsbogen Untersuchung der Messpunkte am Ende der Messung)

entsprechende Beobachtungen (z.B. Hämatome) mit Kamera dokumentieren. Punkte mit Maßband fotografieren

10.16 VAS ‚Aktueller Schmerz‘

Name:	Vorname:	Probandennummer:	Lfd.Nr.
Datum:	Uhrzeit:	Studienabschnitt:	

VAS (Druckschmerz) Messlokalisierung: _____

Wie intensiv fühlte sich der Schmerz bei der/den vorangegangenen Messung/-en an?

Bitte geben Sie das Maximum der **Schmerzintensität** an.

*zur Beantwortung der Frage setzen Sie bitte ein „ x “ **auf** die Linie*

kein Schmerz _____ maximal vorstellbarer Schmerz

Bei Verkantungen während der Messung oder ungleichmäßigem Druck geben Sie bitte an, an welcher Stelle es am stärksten drückte:



10.17 Bewertung des Experiments durch den Probanden

Bewertung des Experiments durch den Probanden

ProbandennummerUntersucher..... Datum

Gibt es Mängel, die der Versuchsbetreuung aufgefallen sind:

ja, welche? keine

Wie war Ihr Eindruck insgesamt?

.....

Sind Ihnen besondere Dinge aufgefallen?

ja, was? nein

Waren die Instruktionen verständlich oder sollte anders erklärt werden?

ja nein, Begründung:

Sind die Fragebögen verständlich?

ja nein, Begründung:

Wie empfanden Sie die Lautstärke der Umgebung (Autos, Maschinen, etc.)?

.....

Wie empfanden Sie die Messungen allgemein?

.....

Empfanden Sie spezielle Bedingungen/Situationen als unangenehm?

ja, was? nein

Hatten Sie Mühe, Ihre Schmerzschwelle zu definieren bzw. den Übergang von Druck in Schmerz zu erkennen?

ja, bei welchen Messungen? nein

Hörten Sie störende Geräusche, z.B. Krankenwagen?

ja, bei welche? nein

War die Temperatur angenehm?

ja nein, warum?

11 Danksagung

Die Studie wurde von der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (DGUV) gefördert.

Besonderer Dank gilt den Mitarbeitern des Instituts für Arbeitsschutz (IFA) und [in online-Version gelöscht] der Berufsgenossenschaft Holz und Metall (BGHM).

Danken möchte ich der Firma item Industrietechnik GmbH, [in online-Version gelöscht], für die Beratung und Bereitstellung von Material sowie den Schlossereimitarbeitern der Universitätsmedizin Mainz.

Ich danke dem Expertengremium der Robotik, das im Januar 2012 die Versuchsräumlichkeiten besichtigt und konstruktive Rückmeldungen gegeben hat.

Den Teilnehmern dieser Studie, die sich freiwillig Schmerzen aussetzten, sei für ihre Teilnahme gedankt.

Herzlichst möchte ich allen aktuellen und ehemaligen Mitgliedern der Arbeitsgruppe Algometrie, im Speziellen [in online-Version gelöscht] für seine Anregungen, Kritik und Ausdauer, danken.