

Aus dem Institut für Rechtsmedizin der  
Ludwig-Maximilians-Universität München

Vorstand: Prof. Dr. med. W. Eisenmenger

## Forensisch-biomechanische Aspekte des Faustschlags

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

vorgelegt von  
Stefan Michael Bremer  
aus  
München  
2008

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät  
der Universität München

Berichterstatter:

Prof. Dr. med. M. Graw

Mitberichterstatter:

Prof. Dr. Angela Schuh

Priv. Doz. Dr. Stefan Hinterwimmer

Mitbetreuung durch  
promovierte Mitarbeiter:

Dr. phil. N. Praxl

Ph. D. Jiri Adamec

Dekan:

Prof. Dr. med. D. Reinhardt

Tag der mündlichen Prüfung:

31. Juli 2008

meinen Eltern

und

meinen Schwestern



# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1	Rechtsmedizinische Relevanz des Themas . . . . .	1
<b>2</b>	<b>Theoretische Grundlagen</b>	<b>7</b>
2.1	Gewalt gegen den Körper . . . . .	7
2.2	Forensische Biomechanik . . . . .	9
2.2.1	Kinematik und Kinetik . . . . .	11
2.2.2	Anthropometrie . . . . .	11
2.2.3	Sensomotorik . . . . .	12
2.3	Subjektivität, „Wucht“ und Affekt . . . . .	12
2.3.1	Affekt und Maximalkraft . . . . .	13
2.4	Einschränkung . . . . .	15
2.4.1	Kinematische Kette „Mensch“ . . . . .	15
2.4.2	Schlagvielfalt/-technik . . . . .	15
2.4.3	Realität versus Versuch . . . . .	15
2.5	Voruntersuchungen aus der Literatur . . . . .	16
<b>3</b>	<b>Fragestellung</b>	<b>25</b>
<b>4</b>	<b>Material und Methode</b>	<b>27</b>
4.1	Technische Voraussetzungen . . . . .	27
4.1.1	Bewegungsanalysesystem . . . . .	27
4.1.2	Kraftmessplatte . . . . .	28
4.1.3	Software . . . . .	29
4.2	Fragebogen . . . . .	31
4.3	Versuchsgruppe . . . . .	31
4.3.1	Anthropometrie . . . . .	32
4.4	Schlagobjekte . . . . .	34
4.5	Markerverteilung . . . . .	34
4.6	Versuchsanordnung . . . . .	37
4.7	Versuchsdurchführung . . . . .	40
4.7.1	Versuchsablauf . . . . .	40
4.7.2	Auswertung . . . . .	43

---

4.7.3	Statistik . . . . .	45
<b>5</b>	<b>Ergebnisse</b>	<b>47</b>
5.1	Anthropometrie . . . . .	47
5.2	Subjektive „Wucht“-Einschätzung . . . . .	49
5.3	Bewegungsanalyse . . . . .	52
5.3.1	Schlaggeschwindigkeit in x-Richtung . . . . .	52
5.3.2	Schlaggeschwindigkeit im Raum . . . . .	56
5.4	Kraftmessung . . . . .	60
5.4.1	Bodenreaktionskraft in x-Richtung . . . . .	60
5.4.2	Bodenreaktionskraft im Raum . . . . .	64
5.5	Weiterführende Analysen . . . . .	68
<b>6</b>	<b>Diskussion</b>	<b>75</b>
6.1	Material und Methode . . . . .	75
6.2	Methodische Grundüberlegungen . . . . .	77
6.3	Anthropometrie . . . . .	79
6.4	Subjektive „Wucht“-Einschätzung . . . . .	80
6.5	Kinematische und dynamische Parameter . . . . .	81
6.5.1	Schlaggeschwindigkeit . . . . .	81
6.5.2	Bodenreaktionskraft . . . . .	83
6.6	Schlussfolgerung . . . . .	84
<b>7</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>85</b>
<b>A</b>	<b>Abkürzungen</b>	<b>87</b>
<b>B</b>	<b>Auszug aus dem Strafgesetzbuch</b>	<b>89</b>
<b>C</b>	<b>Fragebogen</b>	<b>93</b>
	<b>Danksagung</b>	<b>101</b>
	<b>Lebenslauf</b>	<b>103</b>

# Abbildungsverzeichnis

1.1	zeitlicher Verlauf der Körperverletzungsdelikte aus PKS 2006 . . . . .	2
1.2	Tatmittelverteilung in Prozent . . . . .	3
1.3	Verteilung stumpfer Gewalt . . . . .	5
2.1	Übersicht Tatmittel . . . . .	8
2.2	Unterschied zwischen absoluter und relativer Maximalkraft . . . . .	14
4.1	Motion Analysis Kamera Typ Falcon . . . . .	28
4.2	Kistler Kraftmessplatte Typ 9287 B . . . . .	29
4.3	Kistler Ladungsverstärker Typ 9865 E . . . . .	29
4.4	Schema über Anthropometrische Vermessung der Körperproportionen . . .	33
4.5	Skizze der Markerverteilung . . . . .	36
4.6	Versuchsordnung in der Vogelperspektive . . . . .	38
4.7	Schematische Versuchsordnung . . . . .	39
4.8	EVaRT-Standbild in Neutralstellung . . . . .	41
4.9	EVaRT-Standbild zu Beginn der Schlagphase . . . . .	42
4.10	Korrektur Bioware Kraft in Schlagrichtung . . . . .	44
4.11	Koordinatensysteme v. EVaRT/Motion Analysis u. Bioware/Kistler . . . .	45
5.1	subjektive „Wucht“-Einschätzung beider Gruppen . . . . .	51
5.2	Schlaggeschwindigkeit in x-Richtung beider Gruppen . . . . .	59
5.3	Schlaggeschwindigkeit im Raum beider Gruppen . . . . .	59
5.4	Bodenreaktionskraft in x-Richtung beider Gruppen . . . . .	67
5.5	Bodenreaktionskraft im Raum beider Gruppen . . . . .	67
C.1	Fragebogen - 1. Seite . . . . .	93
C.2	Fragebogen - 2. Seite . . . . .	94
C.3	Fragebogen - 3. Seite . . . . .	95



# Tabellenverzeichnis

1.1	Auszug aus der PKS Berichtsjahr 2006 . . . . .	1
1.2	Tatmittelverteilung in Prozent . . . . .	3
1.3	Verletzungslokalisation getrennt nach Tatmittel . . . . .	4
1.4	Verletzungshäufigkeit getrennt nach Tatmittel . . . . .	4
1.5	Verteilung stumpfer Gewalt . . . . .	5
2.1	Gruppen der Karateka a. e. Voruntersuchung . . . . .	16
2.2	Faustgeschwindigkeit und Impuls auf Boxsack a. e. Voruntersuchung . . . .	17
2.3	„Kraftmaxima“ bei willkürlichem Fausteinsatz a. e. Voruntersuchung . . . .	17
2.4	Versuchsgruppe a. e. Voruntersuchung . . . . .	18
2.5	Faustgeschwindigkeiten a. e. Voruntersuchung . . . . .	18
2.6	Boxergruppen a. e. Voruntersuchung . . . . .	18
2.7	Faustgeschwindigkeiten bei Kontakt a. e. Voruntersuchung . . . . .	19
2.8	Überblick über Kontaktgeschwindigkeiten aus den Voruntersuchungen . . . .	20
2.9	Überblick über die maximale Faustgeschwindigkeit a. d. Voruntersuchungen	21
2.10	Überblick über die maximale Schlagkraft aus den Voruntersuchungen . . . .	22
2.11	Überblick über den Impuls aus den Voruntersuchungen . . . . .	22
4.1	Referenzgruppe . . . . .	32
4.2	Kampfsportgruppe . . . . .	32
4.3	Anthropometrische Vermessung der Körperproportionen . . . . .	33
4.4	Schlagobjekte . . . . .	34
4.5	Verteilung der Marker am Probanden . . . . .	35
5.1	Körpermasse und Schlagarmlänge beider Versuchsgruppen . . . . .	48
5.2	subjektive Einschätzung der „Wucht“ in der Referenzgruppe . . . . .	49
5.3	subjektive Einschätzung der „Wucht“ in der Kampfsportgruppe . . . . .	50
5.4	subjektive „Wucht“-Einschätzung beider Gruppen . . . . .	51
5.5	Schlaggeschwindigkeit in x-Richtung der Referenzgruppe . . . . .	53
5.6	Schlaggeschwindigkeit in x-Richtung der Kampfsportgruppe . . . . .	54
5.7	Schlaggeschwindigkeit in x-Richtung beider Gruppen . . . . .	55
5.8	Schlaggeschwindigkeit im Raum der Referenzgruppe . . . . .	56
5.9	Schlaggeschwindigkeit im Raum der Kampfsportgruppe . . . . .	57

5.10 Schlaggeschwindigkeit im Raum beider Gruppen . . . . .	58
5.11 Bodenreaktionskraft in x-Richtung der Referenzgruppe . . . . .	61
5.12 Bodenreaktionskraft in x-Richtung der Kampfsportgruppe . . . . .	62
5.13 Bodenreaktionskraft in x-Richtung beider Gruppen . . . . .	63
5.14 Bodenreaktionskraft im Raum der Referenzgruppe . . . . .	64
5.15 Bodenreaktionskraft im Raum der Kampfsportgruppe . . . . .	65
5.16 Bodenreaktionskraft im Raum beider Gruppen . . . . .	66
5.17 Parameter in Schlagrichtung und im Raum . . . . .	68
5.18 trainierter/nicht-trainierter Probanden . . . . .	69
5.19 Schlagarmlänge/Handgeschwindigkeit . . . . .	70
5.20 Körpermasse/Bodenreaktionskraft . . . . .	71
5.21 Subjektivität/Schlaggeschwindigkeit u. Bodenreaktionskraft . . . . .	72
5.22 Schlaggeschwindigkeit u. Bodenreaktionskraft/Schlagobjekte . . . . .	73

# Kapitel 1

## Einleitung

### 1.1 Rechtsmedizinische Relevanz des Themas

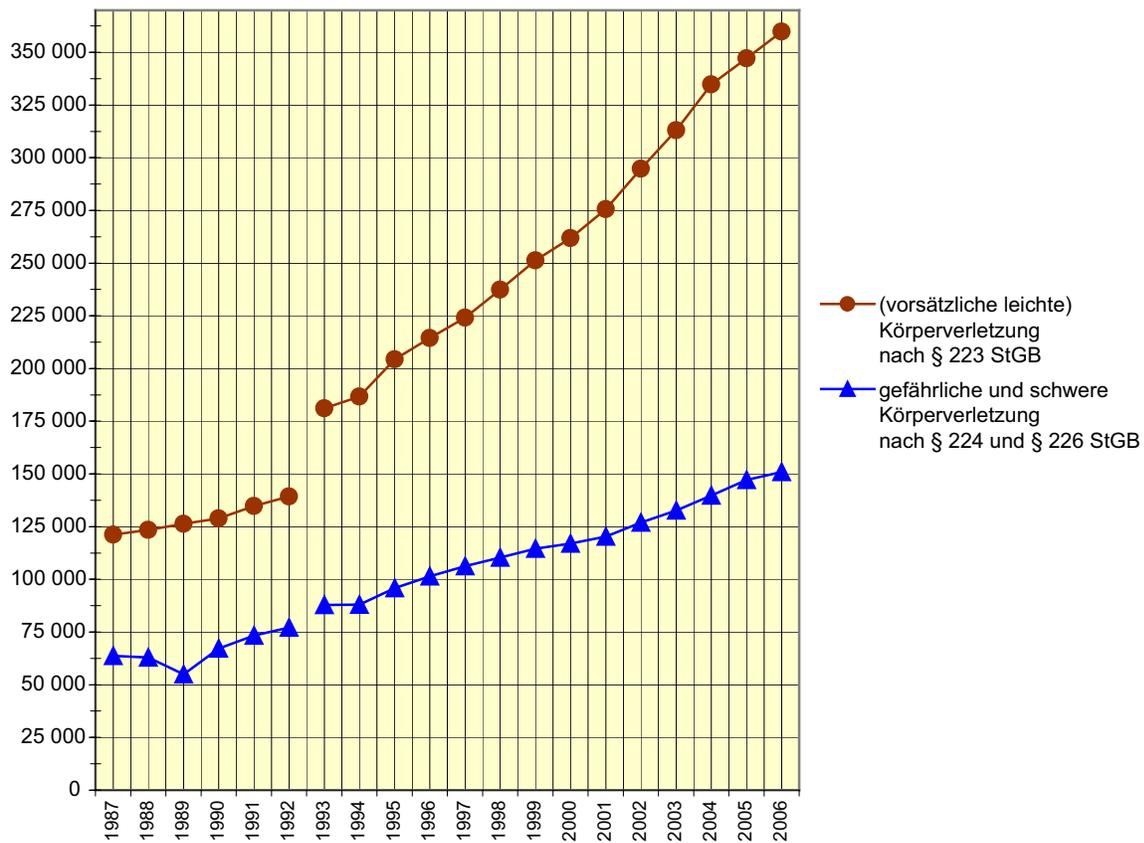
Im alltäglichen Geschehen des Rechtsmediziners als Sachverständiger vor Gericht bzw. als Gutachter steht nicht selten die Thematik eines Gewaltverbrechens im Brennpunkt. Im Detail ist dem Sachverständigen die Aufgabe übertragen, die rekonstruktive Korrelation von Verletzungsbefunden bei Straftaten mit dem Tatgeschehen zu prüfen (Madea, 2003).

Wie aus der Tabelle 1.1 ersichtlich, waren von 534.337 erfassten Fälle von Körperverletzungsdelikten in der Bundesrepublik Deutschland im Berichtsjahr 2006 laut der Polizeilichen Kriminalstatistik (PKS) des Bundeskriminalamtes Wiesbaden allein 67,4% vorsätzliche leichte Körperverletzungen (Bundeskriminalamt, 2007).

Straftaten(gruppen)	erfasste Fälle			Verteilung in %		
	2006	2005	2004	2006	2005	2004
Körperverletzung insgesamt	534337	517377	497365	-	-	-
Körperverletzung mit Todesfolge	171	173	220	0,03	0,03	0,04
gefährliche und schwere Körperverletzung	150874	147122	139748	28,2	28,4	28,1
Misshandlung von Schutzbefohlenen	4342	4149	4176	0,8	0,8	0,8
(vorsätzliche leichte) Körperverletzung	<b>359901</b>	347207	334827	<b>67,4</b>	67,1	67,3

**Tabelle 1.1:** Auszug aus der PKS Berichtsjahr 2006 - (Bundeskriminalamt, 2007)

erfasste Fälle



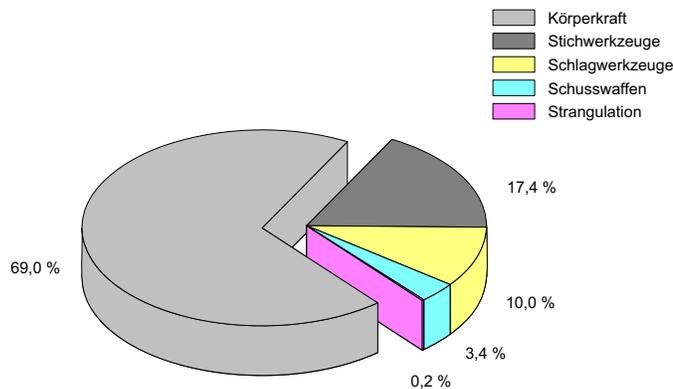
Hinweis: 1987 – 1990: alte Länder  
 1991 – 1992: alte Länder mit Berlin  
 ab 1993: Bundesgebiet insgesamt

**Abbildung 1.1:** zeitlicher Verlauf der Körperverletzungsdelikte aus PKS 2006 - (Bundeskriminalamt, 2007)

Die Untersuchung von Misliwetz aus dem Jahre 1989, in der 1.029 Begutachtungsfälle unter anderem auf die Tatmittelverteilung bei vorsätzlicher Körperverletzung über einem Zeitraum von 7 Jahren untersucht wurden, zeigte, dass unter der Sparte der vorsätzlichen Körperverletzung bei 69,0% als Tatmittel blosse Körperkraft herangezogen wurde. Somit wurde über zwei Drittel von vorsätzlichen Körperverletzung ohne Einsatz eines Tatmittels im Sinne eines Gegenstandes verübt. Die restlichen 31,0% teilten sich wie folgt auf: 17,4% waren Stichwerkzeuge, 10,0% Schlagwerkzeuge, 3,4% Schusswaffen und 0,2% Strangulationswerkzeuge (Misliwetz, 1989), siehe hierzu Tabelle 1.2 und Abbildung 1.2.

Tatmittel	Verteilung in %
Körperkraft	<b>69,0</b>
Stichwerkzeuge	17,4
Schlagwerkzeuge	10,0
Schusswaffen	3,4
Strangulation	0,2

**Tabelle 1.2:** Tatmittelverteilung in Prozent - (Misliwetz, 1989)



**Abbildung 1.2:** Tatmittelverteilung in Prozent - (Misliwetz, 1989)

57,0% der Verletzungslokalisationen bei blosser Körperkraft waren das Gesicht, was aus Tabelle 1.3 ersichtlich ist, wobei 36,3% der Zahl der Verletzungen nur eine einzelne Verletzung betraf, siehe hierzu Tabelle 1.4. Es lässt sich zusammenfassend formulieren, dass das typische Angriffsziel bei Anwendung blosser Körperkraft die Gesichtsregion darstellt (Misliwetz, 1989).

Lokalisation	Körperkraft in %	Schlagwerkz. in %	Stichwerkz. in %	Schuwaffen in %
Gesicht	<b>57,0</b>	30,0	12,0	8,0
übriger Kopf	11,0	36,0	1,0	-
Hals	3,2	1,5	6,0	2,0
Brustkorb	7,4	6,5	23,0	13,0
Bauch	0,9	1,0	24,4	32,0
Rücken	2,5	9,5	11,8	6,0
Genitale	0,9	0,5	0,8	-
Arme	10,0	10,0	18,0	11,0
Beine	7,1	5,0	2,0	28,0

**Tabelle 1.3:** Verletzungslokalisation getrennt nach Tatmittel - (Misliwetz, 1989)

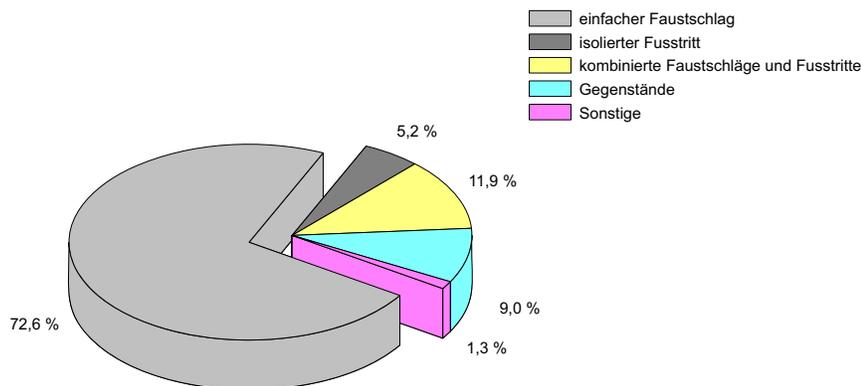
Verletzungszahl	Körperkraft in %	Schlagwerkz. in %	Stichwerkz. in %	Schuwaffen in %
1	<b>36,3</b>	50,0	56,0	71,0
2	30,2	22,0	21,0	16,0
3	20,0	16,0	12,0	10,0
4 und mehr	13,5	12,0	11,0	3,0

**Tabelle 1.4:** Verletzungshäufigkeit getrennt nach Tatmittel - (Misliwetz, 1989)

Betrachtet man die Untersuchung von Gesichtsschädelverletzungen durch Rohheitsdelikte aus dem Jahre 2000 (Eppendorf, 2000), so nimmt der einfache Faustschlag 72,6% der Körperverletzungen durch bloße Körperkraft ein, siehe hierzu Tabelle 1.5 und Abbildung 1.3. In dieser Studie wurden über einem Zeitraum von 1993 bis 1998 aus 1.176 traumatologischen Fällen 483 Fälle untersucht, die infolge von Gewaltdelikten mit Gesichtsschädelverletzungen oder Weichteilverletzungen einer stationären Aufnahme in Klinik und Poliklinik für Mund-Kiefer-Gesichtschirurgie der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg bedurften. Hierbei betrug der Anteil männlicher Patienten 90,1% bei einem mittleren Alter von 27 Jahren. Dominierend erwiesen sich die isolierte Unterkieferfraktur und die laterale Mittelgesichtsfraktur als Folge eines direkten Faustschlages.

Tatmittel	Verteilung in %
einfacher Faustschlag	<b>72,6</b>
isolierter Fusstritt	5,2
kombinierte Faustschläge und Fusstritte	11,9
Gegenstände	9,0
Sonstige	1,3

**Tabelle 1.5:** Verteilung stumpfer Gewalt - (Eppendorf, 2000)



**Abbildung 1.3:** Verteilung stumpfer Gewalt - (Eppendorf, 2000)

Wie bereits erwähnt, stellt sich als häufigste Konstellation von Tatmittel und Verletzungslokalisation der einzelne Faustschlag gegen das Gesicht dar. Hierbei ist noch hinzuzufügen, dass in den letzten Jahren eine deutliche Zunahme an Körperverletzungsdelikten zu verzeichnen ist. Allein im Jahr 2006 im Vergleich zum Vorjahr betraf die absolute Veränderung aller Körperverletzungsdelikte 16.960 Straftaten, was einer Zunahme von 3,3% entsprach. In Abbildung 1.1 sind die steigenden Zahlen der jährlich erfassten Fälle von vorsätzlich leichten Körperverletzungsdelikten nach § 223 StGB sowie gefährlichen und schweren Körperverletzung nach § 224 und § 226 StGB der letzten Jahre grafisch dargestellt (Bundeskriminalamt, 2007).

Zur rechtsmedizinischen Rekonstruktion eines Gewaltverbrechens stehen bis heute immer noch deskriptive Erfahrungswerte im Vordergrund. Dafür stehen dem Rechtsmediziner bzw. Sachverständigen Erfahrungswerte unter Berücksichtigung von schon aufgeklärten Gewaltverbrechen, detailgetreuen Rekonstruktion des Tatherganges, möglichen Tatmitteln und deren Gebrauchsspuren, sowie der klinischen Untersuchung von Verletzten und Obduktionsgutachten zur Verfügung (Knezevic und Dirnhofer, 1988).

Für die Rekonstruktion von Tathergängen im Bereich der stumpfen Gewalt werden neben den klassischen Methoden zunehmend virtuelle Simulationen herangezogen. Hier sind einige Beispiele wie die Untersuchungen und Publikationen von (Muggenthaler et al., 2004), (Graw et al., 2003b) und (Graw et al., 2003a) zu nennen. Im Bereich der Verkehrsmedizin ist die Computersimulation zur Rekonstruktion von Unfällen schon seit einigen Jahren ein etabliertes Verfahren. Spezielle PC-Programme wie z.B. die Software MADYMO der Firma TNO Automotive Safety Solutions sind für die Berechnung bzw. Simulation von Verkehrsunfällen inklusive der Verletzungsrekonstruktion der involvierten Personen ausgelegt. Aktuelle Untersuchungen von (Peldschus und Schuller, 2006) und (Peldschus et al., 2005) können hier als Beispiele genannt werden.

Diese Arbeit soll Einstieg in die systematische Aufarbeitung forensisch-biomechanischer Aspekte körperlicher Gewalt darstellen und sich zunächst auf die Täterseite konzentrieren. Es sind weitere Untersuchungen geplant, die auch die Opferseite untersuchen sollen. Auf Grund der grossen Vielfalt körperlicher Gewalt mittels blosser Körperkraft wird in dieser Arbeit der isolierte gerade Faustschlag der führenden Hand in Schulterhöhe des Probanden untersucht.

Letztendlich ist es von entscheidender Bedeutung, die Beziehung zwischen Verletzungsmorphologie bzw. -schwere (somit die Opferseite) und mechanischer Einwirkung (damit die Täterseite) klar darzustellen, um die äussere Tatseite so präzise wie möglich zu rekonstruieren (Böhm und Schmidt, 1986). Die äussere Tatseite bezeichnet die physischen Einflussgrössen auf eine kriminelle Tat im Gegensatz zur inneren Tatseite, die die psychischen Einflussgrössen zusammenfasst, als Beispiel wäre hier die Affekttat zu nennen.

# Kapitel 2

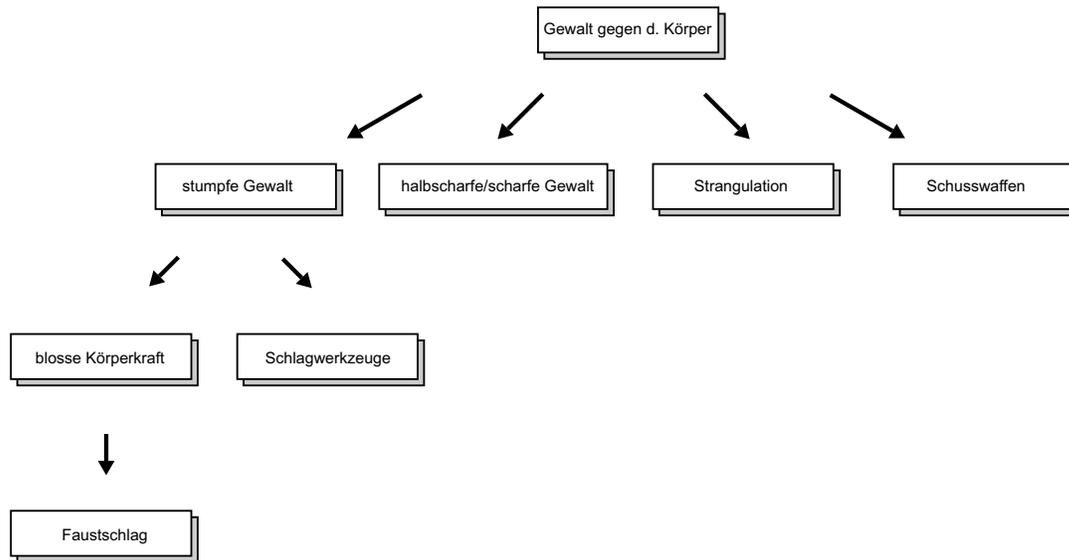
## Theoretische Grundlagen

### 2.1 Gewalt gegen den Körper

Seit über 100 Jahren ist die Untersuchung und Begutachtung von Körperverletzungen ein wesentlicher Bestandteil der gerichtsärztlichen/rechtsmedizinischen Praxis im deutschsprachigen Raum. Im Strafverfahren sind unter anderem vom gerichtsärztlichen Sachverständigen Fragen nach der Entstehungsweise (Haberda, 1930) und nach dem Verletzungshergang von Körperverletzungsdelikten bzw. versuchten Tötungen zu klären (Madea und Brinkmann, 2004).

Gewalt gegen den Körper ist eine der zentralen Gesichtspunkte der Rechtsmedizin. Das Spektrum reicht von stumpfer Gewalt über spitze, scharfe und halbscharfe Gewalt bis hin zum Gebrauch von Schusswaffen. Als Tatmittel werden von blosser, d.h. unmittelbar ausgeübter, Körperkraft mittels Faustschlag oder Fusstritt, aber nicht selten auch der Kopfstoss - der sogenannte „Dänemann“ (Stoss mit der Stirn auf die Nase des Gegners) (Schönfeld, 1986) - über Stich - oder Hiebwerkzeuge bis hin zu Schusswaffen eine unendliche Vielzahl unterschiedlichster Tatmittel bzw. Gegenstände beschrieben. Allein die Untergruppe der stumpfen Gewalt, der mechanischen Einwirkung einer mehr oder minder begrenzten Fläche gegen den menschlichen Körper (Madea, 2003), reicht „vom Masskrug bis hin zur Watschen“.

Im Besonderen Teil, Siebzehnter Abschnitt des Strafgesetzbuches (StGB) (Weigend, 2005) werden die Straftaten gegen die körperliche Unversehrtheit abgehandelt, hierunter fallen die Paragraphen § 223 bis § 231 StGB. Wer eine Person körperlich misshandelt oder an der Gesundheit schädigt, begeht ein Körperverletzungsdelikt. Dabei ist zu beachten, dass der jeweilige Tatbestand nur bei vorsätzlichem Handeln erfüllt ist, ausser der Gesetzestext stellt ausdrücklich das fahrlässige Handeln unter Strafe (§ 15 StGB). Vorsätzliches Handeln, also absichtliches, gewolltes, geplantes oder bewusstes Handeln, muss von fahrlässigem und somit gedankenlosem, unachtsamem Handeln getrennt werden. Zur Verfolgung einer Straftat nach §§ 223, 229 StGB ist das Vorliegen eines Strafantrages



**Abbildung 2.1:** Übersicht Tatmittel

erforderlich. Die §§ 224, 226 und 227 StGB behandeln die Abstufung des Körperverletzungsdeliktes nach deren Schwere, wohingegen die §§ 225, 231 Sonderformen der Körperverletzung abhandeln, siehe hierzu Anhang B.

Wie bereits in der Einleitung dargelegt stehen die Körperverletzungsdelikte verursacht durch stumpfes Trauma mittels blosser Körperkraft an erster Stelle. Dies bestätigt ebenfalls eine Studie aus Stockholm, Schweden mit 44% Faustschläge, 30% Tritte, 10% Kombination von stumpfem und scharfem Trauma, wobei hier wiederum die Faustschläge dominierten (Bostroem, 1997).

*„Allein die unbewaffnete Hand kann hinsichtlich ihrer Folgen von einer lediglich beleidigenden bis zur todbringenden Einwirkung reichen.“* (Madea und Brinkmann, 2004)

Neben den Erfahrungswerten aus der alltäglichen rechtsmedizinischen Tätigkeit sowie aus den wissenschaftlichen Untersuchungen der forensischen Forschung, als Beispiele wären hier (Dolman, 1986), (Fenton et al., 2003), (Missliwetz und Denk, 1992) oder (Murphy, 1991) zu nennen, kann die Kampfsportart „Boxen“ als Wissenspool bei der Betrachtung von stumpfer Gewalt durch blosse Körperkraft mittels Fäuste dienen (Madea und Brinkmann, 2004). Das Boxen ist als Kampf zweier Personen derselben Gewichtsklasse, die sich unter festgelegten Regeln mit den Fäusten schlagen bzw. bekämpfen, definiert.

Es gibt in der sportwissenschaftlichen und medizinischen Literatur eine Vielzahl an Studien, die die Verletzungen von Boxern - sinnbildlich die Opferseite - untersuchen. Insbesondere durch das Hauptangriffsziel, den Kopf, werden vor allem die akuten intrazerebralen Verletzungen, siehe (Colmant und Dotzauer, 1980), sowie die chronischen Hirnschädigungen,

siehe (Tokuda et al., 1991) und (Unterharnscheidt, 1994), abgehandelt. Des weiteren werden Verletzungen des Auges, siehe (McLeod, 1992) oder (Vadala et al., 1997), sowie des Gleichgewichtsorgans, siehe (Krejčova und Cerny, 1989) oder (Moser et al., 1980), untersucht.

Vereinzelte Studien untersuchen die Seite des Schlagenden, im übertragenen Sinne die Täterseite. Hierbei werden Einflussgrößen des Schlages und deren „Wucht“ beleuchtet (siehe hierzu Kapitel 2.5). Es wird in (Madea und Brinkmann, 2004) die Mechanik der Gewaltwirkung beim Boxen je nach Richtung der Kraft in Bezug auf den Kopf in Translations- bzw. Rotationsbeschleunigung unterschieden. Eine Gerade, sogenannter „jab“, bewirkt hauptsächlich Translationsbeschleunigung, ein Aufwärtshaken, im Fachjargon „upper cut“ genannt, erzielt Rotationsbeschleunigungen am Kopf des Gegners. Je nach Krafrichtung entstehen somit unterschiedliche Verletzungen.

Sportwissenschaftliche Untersuchungen des Boxsportes dienen zur Erkenntnisgewinnung über möglichen Verletzungsarten und daraus entwickelten Verletzungsschutz sowie zur Verbesserung bzw. Optimierung der Technik unter leistungssportlichen Gesichtspunkten, siehe hierzu (Donivan, 1984), (Smith und Hamill, 1986) und (Walilko, 2004).

## 2.2 Forensische Biomechanik

Es sei an dieser Stelle darauf hingewiesen, daß eine Beschreibung eines so komplexen Vorganges wie der menschlichen Bewegung durch physikalische Größen nicht gleichgesetzt werden darf mit einer Erklärung des Bewegungsvorganges mit Hilfe der klassischen newtonschen Mechanik. Die Bewegungsabfolge eines Faustschlags, und im weiteren Sinne jegliche Bewegung eines biologischen Systems, kann nicht auf das mechanistische Bild des einfachen zentralen unelastischen Stosses reduziert werden, sondern muss unter biomechanischen Aspekten als ein Zusammenspiel von Körpern im Sinne der Kinematik und letztendlich unter Einbeziehung der verursachenden Kräfte unter kinetischen Aspekten betrachtet werden. Prinzipiell muss von der rein physikalisch-mechanistischen Betrachtungsweise eines Faustschlags, also die Wechselbeziehung zwischen Schlagendem und Geschlagenwerdendem als nicht deformierbare Körper, abgesehen werden, da die komplexen Bewegungsabläufe und Interaktionen zwischen biologischen Systemen damit nicht ausreichend beschrieben und erklärt werden können. Hierfür muss die Biomechanik als Werkzeug herangezogen werden. Die Biomechanik wendet die Erkenntnisse und Gesetze naturwissenschaftlichen Basiswissenschaften auf biologische (organische) Systeme an (Kassat, 1993).

Der allgemeine Begriff der Biomechanik ist definiert als die Wissenschaft, die Funktionen und Strukturen von Bewegungsapparat und Bewegungen von biologischen Organismen bzw. Systemen, ihre Ursachen und Erscheinungen untersucht. Hierbei werden die Methoden und Erkenntnisse der Mechanik und der Biologie zusammengeführt. Die Biomechanik unterteilt sich wiederum in eine äussere Biomechanik, d.h. die Darstellung und Beschreibung

von mechanischen, sowohl statischen als auch dynamischen, Parametern von biologischen Systemen, und in eine innere Biomechanik, die sich mit sensomotorischen Steuerungs- und Regelungsprozessen dieser Eigenschaften beschäftigt. Die Werkzeuge bzw. Teilbereiche der äusseren Biomechanik sind die Kinematik, die Kinetik (Dynamik) und die Anthropometrie. Diagnostische Verfahren aus der Neurologie wie die Elektromyografie oder die Elektroneurografie werden hierfür herangezogen, die in der inneren Biomechanik, der Sensomotorik, eine Rolle spielen (Gutewort, 1993).

In der Rechtsmedizin ist die Biomechanik ein relativ junger Aufgaben- und Forschungsbe- reich. Die Anwendungsgebiete der forensischen Biomechanik erstrecken sich auf:

- Unfallrekonstruktionen im Rahmen der gerichtsarztlichen Sachverständigentätigkeit zur Klärung von Unfallhergang und -ursache
- Analysen unfallbedingter Verletzungsmechanismen- und entstehung zur Verbesserung der Fahrzeugsicherheit
- Aufklärung der Zusammenhänge zwischen mechanischer Einwirkung und Verletzungen bei Gewaltverbrechen

Für experimentelle Untersuchungen stehen Freiwillige im niedrigerenergetischem und ver- letzungsfreiem Bereich zur Verfügung. Die Vorteile von Freiwilligenversuchen liegen in den realitätstreuen Bedingungen, in der muskulären Vorspannung sowie in der aktiven sensomo- torischen Reaktion des Bewegungsapparates, hingegen können verletzungsrepräsentative Toleranzbereiche nicht erreicht werden.

Demgegenüber sind Versuche an Leichen bzw. Leichenteile zu nennen. Hier besteht die Möglichkeit bei anatomischer Repräsentation des lebenden Menschen, jedoch ohne physio- logische Reaktion, in verletzungsrelevante Toleranzbereiche zu gehen. Es handelt sich um passive, reaktionlose organische Systeme.

Die einzige reale Brücke zwischen lebendem und totem Organismus schlägt die Verwendung von anästhesierten Tieren, wobei eine zuverlässige quantitative Einstufung im Vergleich mit dem Mensch bedingt durch die anatomischen und physiologischen Unterschiede nicht möglich ist.

In der Automobilsicherheit spielen seit Jahrzehnten die Crash-Tests mit Dummies eine wich- tige Rolle. Die Dummy-Modelle finden mehr und mehr Einzug in weitere biomechanische Forschungsgebiete. Dummies sind passive, dem Menschen nur sehr eingeschränkt auf die vor allem in Verkehrsunfälle häufigen Situation wie z.B. der Frontalzusammenstoss konzipierte Abbildungen, die zwar eine Weiterentwicklung seit den ersten Tagen durchgemacht haben, aber nur bedingt eingesetzt werden können.

Seit der Möglichkeit sich eine immer wachsende Rechnerleistung zu Nutzen zu machen, nehmen mathematische Simulationsmodelle Einzug in die biomechanische Forschungswelt. Hier liegen die Vorteile in der ressourcensparenden Eigenschaft dieser Simulationsmodelle im Sinne von platzsparender, virtueller Planung, Ausführung und Auswertung, wobei

zeitgleich dies als Defizit zu rechnen ist, da die Repräsentation der Wirklichkeit erst in Validierungsversuche bestätigt werden muss und diese wiederum zeit- und kostenaufwändige Verfahren sind. Hinzu kommt das Problem der Rechnerleistung, welches abhängig von der Detailtreue bzw. Genauigkeit des Modells ist. Hierbei gilt, dass mit zunehmender Realitätsnähe der Simulation der Rechenaufwand steigt.

### 2.2.1 Kinematik und Kinetik

Die Kinematik untersucht die Ortsveränderung als Translation und Rotation eines Körpers mit der Zeit im dreidimensionalen Raum. Hingegen beschreibt die Kinetik - auch als Dynamik bezeichnet - die Änderung dieser Bewegungsgrößen unter Einwirkung von Kräften (Hatze, 1974). Der Mensch kann grob genähert durch eine kinematische Kette, auf die äussere und innere Kräfte wirken, repräsentiert werden, wobei die kinematische Kette ein aus Segmente bestehendes Mehrkörpermodell ist. Die Segmente bzw. Teilkörper werden zunächst als physikalisch starre Körper, die miteinander durch Gelenke unterschiedlicher Freiheitsgrade verbunden sind, betrachtet. Die äusseren Kräfte stellen die kinetische Interaktion zwischen Mensch und Umwelt nach dem „Actio-Reactio-Prinzip“ dar, die inneren Kräfte das dynamische Zusammenspiel der einzelnen Teilkörper. Bei den inneren Kräften können aktive und passive Kräfte des Bewegungsapparates unterschieden werden, wobei die Muskulatur als aktive Komponente zu rechnen ist und Sehnen, Bänder und Knochen als passive Kraftträger bezeichnet werden. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass in dem vereinfachten Modellen der kinematischen Kette zunächst Verformungen der einzelnen Teilkörper vernachlässigt werden. Das bedeutet, dass die Energieverluste bedingt durch die Deformation nicht in die Berechnung eingehen. Die Verformbarkeit der einzelnen Segmente bzw. Teilkörper muss hier mitberücksichtigt werden, um die durch Verformung „verlorene“ Energie bestimmen zu können und somit den Energieerhaltungssatz aufrechtzuhalten. In diesem Starrkörpermodell wird des weiteren die Inhomogenität der einzelnen Gewebe in sich und gegeneinander sowie der passiven Weichteildynamik von sogenannten Schwabbelmassen vernachlässigt (Henze, 2002). Je nachdem, wie detailsgetreu ein Versuchmodell bzw. die Versuchsanordnung ausgelegt ist, können die gerade genannten Parameter miteinbezogen und untersucht werden.

### 2.2.2 Anthropometrie

Die Anthropometrie ist der Oberbegriff für zahlreiche Verfahren zur metrischen und numerischen Bestimmung von Körper- und Skelettmerkmalen des Menschen sowie zur Auswertung und Anwendung dieser Maße. Es werden anatomisch prägnante Messtrecken nach standardisierten Methoden erfasst, um Teilkörper des Menschen, deren Massen sowie Schwerpunktlagen und Segmentproportionen abzuschätzen. Die hierzu angewandten Methoden orientieren sich an anatomisch leicht identifizierbaren Messpunkten an der Körperoberfläche,

da der menschliche Körper nicht wie Maschinen zerlegt und analysiert werden kann und somit von äusserlicher Vermessung auf innere Merkmale und Proportionen geschlossen werden muss.

### 2.2.3 Sensomotorik

Die Sensomotorik, auch früher als Kybernetik, nach dem altgriechischen Wort für Steuermannskunst, bezeichnet, sei hier vollständigshalber erwähnt. Die Sensomotorik untersucht die Verbindungen von sensorischen und motorischen Leistungen, die unmittelbare Steuerung und Kontrolle der Bewegungen von Lebewesen aufgrund von Sinnesrückmeldungen und weiterführend die informationellen Netzwerke in dynamischen, selbstregulierenden und selbstorganisierenden Systemen. Primär wird der direkte Zusammenhang zwischen Reizwahrnehmung durch ein Sinnesorgan und motorischem Verhalten analysiert und damit die Vernetzung und Funktionsweisen von parallelen und seriellen Prozessen zwischen Hirn- bzw. Nervenaktivität und muskuloskelettalen Bewegungsabläufen untersucht. Um noch eine Stufe höher zu gehen, muss sicherlich bei gezielter Fragestellung der Zusammenhang von Psyche und Körper und deren Zusammenspiel miteingebunden werden.

## 2.3 Subjektivität, „Wucht“ und Affekt

Unter Subjektivität versteht man die subjektive Wahrnehmung und Beurteilung eines jeden Individuums von seiner ihn umgebenden Umwelt und dessen Interaktion mit ihr. Hierbei interagiert die Psyche - das individuelle Zusammenspiel von Emotion und Cognition - mit den sinnlich wahrgenommenen Umwelteinflüssen. Die Subjektivität darf nicht primär mit Voreingenommenheit oder Unsachlichkeit verwechselt werden, sondern muss durch objektiv messbare und vergleichbare Methoden qualifiziert und schliesslich wenn möglich quantifiziert werden.

Die allgemeine Definition von „Wucht“ beschreibt keinen einheitlichen physikalischen Fachausdruck. Vielmehr soll die Wucht eine qualitative Beschreibung für ein gewaltiges, kraftvolles und heftiges Zusammenstossen von zwei oder mehreren Objekten mit meist destruirendem Charakter sein, wohingegen verschiedene physikalische Größen wie Energie, Kraft, Impuls oder Drehimpuls diesen Vorgang quantitativ in Abhängigkeit der Relevanz zu fassen versuchen.

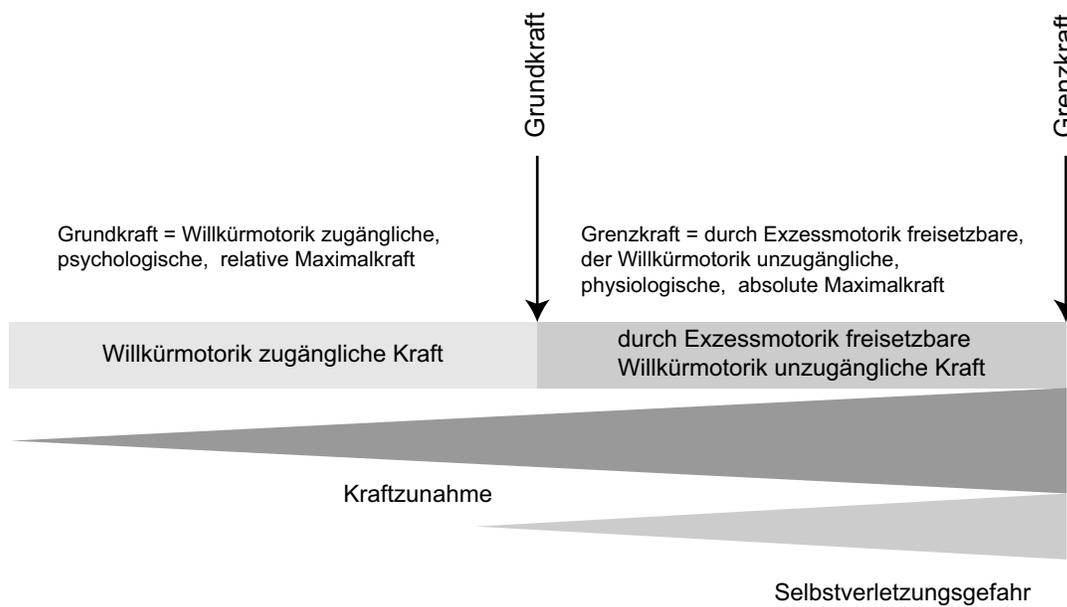
Die forensich-biomechanische betrachtete „Wucht“ bei stumpfer Gewalt ist als Summe aller für die Verletzungsschwere entscheidender, physikalischer Einflussgrößen durch Einwirken von Gewalt auf das Objekt aufzufassen.

Unter der subjektiv wahrgenommenen Wucht des Faustschlags soll in dieser Studie die

subjektiv individuelle Qualitätseinordnung eines jeden Faustschlages verstanden werden. Diesbezüglich soll dem Probanden die Möglichkeit gegeben sein, jeden einzelnen Schlag für sich im Qualitätsmerkmal der Güte in einer abgestuften Skala zu bewerten und diese somit intra- und interindividuell vergleichbar zu machen - ähnlich einem Schulnotensystem. Hierbei muss verdeutlicht werden, dass dies nur eine sehr grobe Näherung an eine objektive Qualitätserfassung sein kann und sich weit entfernt von einer Quantifizierung befindet.

### 2.3.1 Affekt und Maximalkraft

Der Begriff des Affekts beschreibt einen Zustand körperlicher oder geistiger Anspannung oder Erregung. Es ist bekannt, dass unter Normalbedingungen dem vollen willentlichen Muskeleinsatz psychische Hemmmechanismen zum Selbstschutz des Organismus entgegenstehen. Nach (Hettinger und Hollmann, 2000) erfolgt eine Unterteilung der willentlich mobilisierbaren Maximalkraft in absolute (physiologische) und relative (psychologische Grenzkraft) Maximalkraft. In Ausnahmesituationen - insbesondere in denjenigen, die vom Organismus als lebensbedrohlich eingestuft werden, können unter Aktivierung von endokriner humoraler und neuraler Mechanismen Kraftreserven mobilisiert werden und von den Funktionsstrukturen von Limbischen System, Formatio reticularis, Extrapyramidal-motorischem System, u.a. umgesetzt werden, siehe hierzu Abbildung 2.2. Ein Beispiel für durch Exzessmotorik freigesetzt Maximalkraft ist der "Blaukoller". Ein affektiver Erregungszustand, bei dem ein zur Blutabnahme sitzter Proband durch ein ganzes Aufgebot von Polizeibeamten festgehalten werden muss (Böhm und Schmidt, 1986). Zur Vermeidung von Missverständnissen wird die der Willkürmotorik zugängliche Maximalkraft als Grundkraft und die durch Exzessmotorik freisetzbaren (der Willkürmotorik unzugänglichen Kraft) als Grenzkraft bezeichnet. Somit muss davon ausgegangen werden, dass die unter affektiver Erregung wie bei einem Affektsturm entwickelten Kraftwerte die unter Normalbedingungen gemessenen Werte übertreffen. Es muss des weiteren davon ausgegangen werden, dass dies für alle weiteren Messgrößen bei der Untersuchung von körperlicher Gewalt gilt. In dieser Arbeit wurden die Daten unter Normalbedingungen, d.h. im Rahmen der Grundkraft, erhoben.



**Abbildung 2.2:** Unterschied zwischen absoluter und relativer Maximalkraft - grafische Darstellung aus (Hettinger und Hollmann, 2000)

## 2.4 Einschränkung

### 2.4.1 Kinematische Kette „Mensch“

In der Biomechanik, wie bereits in Kapitel 2.2.1 erläutert, bedient man sich zur Untersuchung des Menschen, seiner Bewegungen und seiner Interaktion mit seiner Umwelt dem Modell einer kinematischen Kette. In dieser Studie werden die Rotations- und Verformungsenergie vernachlässigt, beziehungsweise durch Auswahl kleiner Masse und relativer Festigkeit und Homogenität der Schlagobjekte als vernachlässigbar gering eingestuft und die Versuchsobjekte (Mensch, Schlagobjekt und Erde) als starres kinematisches Mehrkörpermodell mit Translationsbewegungen vereinfacht angesehen, hierbei wird auf die Messung von Rotationsbewegungen, Deformations- oder Reibungskräfte verzichtet. Bei den makroskopischen Bewegungsabläufen dieser Untersuchung werden die inneren Kräfte im biomechanischen Menschenmodell vernachlässigt (Henze, 2002).

Aus anthropometrischer Sicht ist als Optimum zur Bestimmung von Teilkörpern und deren anthropometrischen Parametern als Messpunkt das Gelenkzentrum zu wählen, was jedoch nicht wie bei einer zerlegbaren Maschine möglich ist. Als Kompromiss werden zur anthropometrischen Vermessung gut tastbare Punkte knöcherner Leitstrukturen mit gut dokumentierter Referenz zum Gelenkpunkt herangezogen (Lohman et al., 1991).

### 2.4.2 Schlagvielfalt/-technik

Hinsichtlich einer generell unendlichen Vielzahl an Schlagmöglichkeiten wurde in dieser Studie ohne Berücksichtigung einer speziellen Schlagtechnik der gerade Faustschlag untersucht. Hierbei war die Einschränkung auf einen geraden Faustschlag aus dem Stand in Schrittposition in Schulterhöhe jedes einzelnen Probanden durch die Versuchsanordnung vorgegeben.

### 2.4.3 Realität versus Versuch

Auf Grund der Verletzungsvermeidung und -vorbeugung sowie aus ethisch-moralischen Bedenken wurden die Probanden unter Grundkraftbedingungen untersucht. Sie hatten nach einem Aufklärungsgespräch und einem schriftlichen Einverständnis jederzeit die Möglichkeit, die Untersuchung abzubrechen. Somit sind die maximal gemessenen „Wucht“-Parameter im Rahmen der Grundkraft unter Versuchsbedingungen erhoben. Es ist davon auszugehen, dass unter Grenzkraftbedingungen die einzelnen Werte der Parameter in grösseren Rahmen liegen. Auf Grund der bereits erwähnten Verletzungsvermeidung bei diesen Freiwilligenversuchen mussten die Schlagobjekte so gewählt werden, dass a priori eine Verletzungsgefahr seitens des Schlagobjektes nicht bestand. Es ist davon auszugehen, dass somit Einbussen in der biomechanischen Aussagekraft durch Verlust von Verformungs-

arbeit zu erwarten sind.

## 2.5 Voruntersuchungen aus der Literatur

Experimentelle Untersuchungen von Faustschlägen sind nur spärlich in der wissenschaftlichen Literatur vertreten. Die meisten Studien sind in den Sportwissenschaften vor allem im Boxsport angesiedelt, hierbei wird generell die Verbesserung des Schlages und deren Einflussgrößen analysiert. Vereinzelt sind auch in der Medizin zu finden, wobei im besonderen Interesse hier die Verletzungen und akuten und chronischen Folgen durch Schläge und deren Einflussgrößen stehen. Der folgende Abschnitt soll einen Überblick über Voruntersuchungen geben, in denen biomechanische Parameter analysiert wurden.

Die Untersuchungen von Atha et al. aus dem Jahre 1984 und 1985 untersuchten die Faustschläge eines britischen Weltranglistensplatzierten Schwergewichtsboxers gegen einer ballistischen Pendleinrichtung. Die Versuchsperson schlug mit einem Boxhandschuh auf eine gepolsterte Zielplatte in abgesenkter Kinnhöhe, welche an einem ballistischem Pendel befestigt war. Hierbei wurden Maximalwerte der Schlagkraft von 4096 N sowie der Schlaggeschwindigkeit von 8,9 m/s bei Kontakt gemessen (Atha et al., 1984) und (Atha et al., 1985).

In den Versuchen von (Smith und Hamill, 1986) schlugen drei Gruppen von Karateka mit unterschiedlichen Erfahrungsniveau bzw. Könnensstufe jeweils mit blosser Faust, mit Karatehandschuh sowie mit Boxhandschuh auf einen ca. 33,5 kg schweren Boxsack. Die Gruppen teilten sich in 5 erfahrene Karateka, 5 fortgeschrittene Karateka sowie 5 Karate-Anfänger auf, Details siehe Tabelle 2.1. In diesem Versuch wurden die Maximalgeschwindigkeit der Faust sowie die Impulsübertragung auf den Boxsack in Abhängigkeit des Erfahrungsniveaus sowie der Faustpolsterung analysiert. Dabei wurden Werte siehe Tabelle 2.2 erreicht.

Könnensstufe	Alter [ <i>a</i> ]		Körperlänge [ <i>cm</i> ]		Körpermasse [ <i>kg</i> ]	
	$\mu$	$\sigma$	$\mu$	$\sigma$	$\mu$	$\sigma$
Erfahren	30,4	9,71	172,6	6,4	72,5	12,34
Fortgeschritten	23,6	7,13	168,42	6,83	65,06	9,26
Anfänger	20,8	2,38	176,52	10,02	81,0	16,07

**Tabelle 2.1:** Gruppen der Karateka aus (Smith und Hamill, 1986)

(Böhm und Schmidt, 1986) führten erste rechtsmedizinisch-biomechanische Versuche zur stumpfen Gewalt vermittelt durch Faustschläge und Fusstritte durch. Hierbei liessen sie eine kleine Stichprobe im Alter von 17 bis 55 Jahren auf eine messtechnische Pendel-

Könnensstufe	$v_{max} [m/s]$		$p [Ns]$	
	$\mu$	$\sigma$	$\mu$	$\sigma$
Erfahren	12,34	1,37	60,79	17,27
Fortgeschritten	11,67	2,45	39,98	15,26
Anfänger	10,48	2,19	42,34	11,62
Faustpolsterung				
mit blosser Faust	11,03	1,96	42,01	18,66
mit Karatehandschuh	11,89	2,10	46,38	17,40
mit Boxhandschuh	11,57	2,43	53,73	15,35

**Tabelle 2.2:** Faustgeschwindigkeit und Impuls auf Boxsack aus (Smith und Hamill, 1986)

einrichtung zur Kraftbestimmung mit dem Fuss treten und mit der Faust schlagen. Die Untergruppe der fünf weiblichen Versuchspersonen erreichten einen Mittelwert der maximalen Schlagkraft von 475 N und die fünfköpfige männliche Gruppe einen Mittelwert der maximalen Schlagkraft von 620 N, siehe hierzu Tabelle 2.3. Laut den Autoren repräsentieren die gemessenen Werte die maximale Grundkraft, siehe hierzu Kapitel 2.3.1.

Geschlecht	$F_{min} [N]$	$F_{max} [N]$	$\mu [N]$
Frau (n = 5)	350	550	475
Mann (n = 5)	500	850	620

**Tabelle 2.3:** „Kraftmaxima“ bei willkürlichem Fausteinsatz aus (Böhm und Schmidt, 1986)

In der Studie von (Whiting et al., 1988) schlugen vier erfahrene Boxer, Details siehe Tabelle 2.4, mit blosser Faust jeweils eine abrupt geschlagene Gerade mit der Führhand und einen Haken jeweils mit blossen Fäusten oder mit Boxhandschuhen auf einen Übungsboxsack. Hierbei wurden unter anderem die Kontaktgeschwindigkeiten sowie die Maximalgeschwindigkeiten der Faust für jeweils eine der Schlagtechniken mit und ohne Boxhandschuhen gemessen, siehe Tabelle 2.5. Es ist zu erwähnen, dass die Maximalfaustgeschwindigkeit unabhängig von der Faustpolsterung kurz vor Kontakt mit dem Boxsack erreicht wurde.

Im Jahre 2000 in der Studie von (Smith et al., 2000) wurden zur Entwicklung eines Box-Dynamometers Faustschläge von Boxern unterschiedlicher Erfahrungsniveaus bzw. Könnensstufe untersucht. Die Versuchspersonen schlugen mit Boxhandschuhen auf eine speziell angefertigte statisch an einer Wand verankerte Kraftmessplatte. Die Faustschläge

	$\mu$	$\sigma$
Alter [ <i>a</i> ]	24,2	4,2
Körperlänge [ <i>cm</i> ]	175,9	9,8
Körpermasse [ <i>kg</i> ]	67,6	13,4

**Tabelle 2.4:** Versuchsgruppe aus (Whiting et al., 1988)

	<i>haken_faust</i>		<i>haken_box</i>		<i>gerade_faust</i>		<i>gerade_box</i>	
	$\mu$	$\sigma$	$\mu$	$\sigma$	$\mu$	$\sigma$	$\mu$	$\sigma$
$v_{contact}$ [ <i>m/s</i> ]	8,2	3,0	8,0	2,4	6,6	2,2	5,9	1,1
$v_{max}$ [ <i>m/s</i> ]	11,7	2,2	12,5	2,3	7,2	1,8	6,6	1,1

**Tabelle 2.5:** Faustgeschwindigkeiten aus (Whiting et al., 1988)

wurden in Schulterhöhe der jeweiligen Versuchsperson ausgeführt. Die Gruppen wurden nach Erfahrungskriterien aus 7 Mitgliedern der Englischen Box Nationalmannschaft, 8 fortgeschrittenen Boxer sowie 8 Boxanfängern aus jeweils dem lokalen Hochschul-Boxverein gebildet, Details siehe Tabelle 2.6. Hierbei erreichte die Gruppe der Profiboxer eine mittlere maximale Schlagkraft von 4800 N mit einer Standardabweichung von 601 N, die maximale Schlagkraft der erfahrenen Boxer betrug im Mittel 3722 N mit einer Standardabweichung von 375 N und die Werte maximaler Schlagkraft der Anfängergruppe lag im Mittel bei 2381 N mit einer Standardabweichung von 328 N. In dieser Studie liess sich zeigen, dass die Schlagkraft abhängig von der Erfahrung des Schlagenden ist.

Könnensstufe	Alter [ <i>a</i> ]		Körperlänge [ <i>cm</i> ]		Körpermasse [ <i>kg</i> ]	
	$\mu$	$\sigma$	$\mu$	$\sigma$	$\mu$	$\sigma$
Erfahren (n=7)	23,1	1,2	178	6	69,9	8,6
Fortgeschritten (n=8)	23,5	3,3	175	5	73,4	8,2
Anfänger (n=8)	23,6	3,2	179	2	78,5	8,9

**Tabelle 2.6:** Boxergruppen aus (Smith et al., 2000)

Die Faustschläge der beiden Brüder und professionellen Schwergewichtsboxer Vitalij und Wladimir Klitschkow wurden in einer Überblicksstudie von (Birken et al., 2001) analysiert. In diesem Versuchsaufbau schlugen die beiden Boxer mit Boxhandschuhen auf einen handelsüblichen Boxsack mit einer Masse von 21 kg. Zur Validierung der Parameter diente ein Pendelstoss auf den Boxsack. In der Untersuchung erreichten die beiden Boxer eine Maximalgeschwindigkeit der Faust von jeweils 9,5 *m/s*. Vitalij Klitschkow maximale Schlagkraft betrug 5315 N und die von Wladimir Klitschkow betrug 5545 N.

11 olympische Boxer schlugen in der Untersuchung von (Viano et al., 2005) mit Boxhandschuhen auf einen messgeräteausgestatteten Hybrid III Dummy-Kopf. Dabei wurden bei Geraden gegen die Stirn und gegen den Unterkiefer des Dummy-Kopfes die Faustgeschwindigkeit sowie die Schlagkraft gemessen. Die Versuchsgruppe erreichte dabei bei den Geraden gegen die Stirn eine Kontaktgeschwindigkeit im Mittel von 8,2 m/s mit einer Standardabweichung von 1,5 m/s und eine maximalen Schlagkraft im Mittel von 3419 N mit einer Standardabweichung von 1381 N. Bei Geraden gegen den Unterkiefer wurden ähnliche Werte im Mittel erreicht: Kontaktgeschwindigkeit von 9,2 mit 1,7 m/s und maximale Schlagkraft von 2349 mit 962 N. Es wurden für die maximale Faustgeschwindigkeit Werte zwischen 6,7 und 11,0 m/s erreicht.

In der von (Walilko et al., 2005) wurden die Schläge eine Gruppe von 7 Olympischen Boxer unterteilt in fünf Gewichtsklassen (3 Fliegengewichtsboxer, 1 Boxer Halbweltergewichtsboxer, 1 Boxer Mittelgewichtsboxer und 2 Superschwergewichtsboxer) analysiert. Dabei schlugen die Boxer mit Boxhandschuhen auf einen Hybrid III Dummy-Kopf (frangible face). Die gemessenen Kontaktgeschwindigkeiten erreichten Werte zwischen 7,6 und 11,9 m/s, für Details siehe Tabelle 2.7.

Gewichtsklasse	$v_{contact} [m/s]$	
	$\mu$	$\sigma$
Fliegengewicht	9,2	1,8
Halbweltergewicht	7,6	1,0
Mittelgewicht	8,3	1,4
Superschwergewicht	11,9	1,8

**Tabelle 2.7:** Faustgeschwindigkeiten bei Kontakt aus (Walilko et al., 2005)

In den Tabellen 2.8, 2.9, 2.10 und 2.11 sind die wichtigsten Parameter der soeben beschriebenen Studien zusammengefasst. Es sind jeweils, soweit in der Literatur angegeben, die Minima, Maxima, Mittelwerte und die Standardabweichungen der Kontaktgeschwindigkeit der Faust mit dem Schlagobjekt  $v_{contact}$ , der maximalen Faustgeschwindigkeit  $v_{max}$ , der maximalen Schlagkraft  $F_{max}$  und des Impulses  $p$  auf das Schlagobjekt aufgelistet.

Studie	$v_{contact} [m/s]$			
	<i>min</i>	<i>max</i>	$\mu$	$\sigma$
(Atha et al., 1985)	-	8,9	-	-
(Whiting et al., 1988)				
<i>haken<sub>faust</sub></i>	-	-	8,2	3,0
<i>haken<sub>box</sub></i>	-	-	8,0	2,4
<i>gerade<sub>faust</sub></i>	-	-	6,6	2,2
<i>gerade<sub>box</sub></i>	-	-	5,9	1,1
(Viano et al., 2005)				
Gerade gegen Stirn	-	-	8,2	1,5
Gerade gegen Unterkiefer	-	-	9,2	1,7
(Walilko et al., 2005)				
Fliegengewicht	-	-	9,2	1,8
Halbweltergewicht	-	-	7,6	1,0
Mittelgewicht	-	-	8,3	1,4
Superschwergewicht	-	-	11,9	1,8

**Tabelle 2.8:** Überblick über Kontaktgeschwindigkeiten aus den Voruntersuchungen

Studie	$v_{max}$ [m/s]			
	<i>min</i>	<i>max</i>	$\mu$	$\sigma$
(Smith und Hamill, 1986)				
Erfahren	-	-	12,34	1,37
Fortgeschritten	-	-	11,67	2,45
Anfänger	-	-	10,48	2,19
mit blosser Faust	-	-	11,03	1,96
mit Karatehandschuh	-	-	11,89	2,1
mit Boxhandschuh	-	-	11,57	2,43
(Whiting et al., 1988)				
<i>haken<sub>faust</sub></i>	-	-	11,7	2,2
<i>haken<sub>box</sub></i>	-	-	12,5	2,3
<i>gerade<sub>faust</sub></i>	-	-	7,2	1,8
<i>gerade<sub>box</sub></i>	-	-	6,6	1,1
(Birken et al., 2001)				
Vitalij	-	9,5	-	-
Wladimir	-	9,5	-	-

**Tabelle 2.9:** Überblick über die maximale Faustgeschwindigkeit aus den Voruntersuchungen

Studie	$F_{max} [N]$			
	<i>min</i>	<i>max</i>	$\mu$	$\sigma$
(Böhm und Schmidt, 1986)				
Frauen	350	550	475	-
Männer	500	850	620	-
(Smith et al., 2000)				
Erfahren	-	-	4800	601
Fortgeschritten	-	-	3722	375
Anfänger	-	-	2381	328
(Birken et al., 2001)				
Vitalij	-	5315	-	-
Wladimir	-	5545	-	-
(Viano et al., 2005)				
Gerade gegen Stirn	-	-	3419	1381
Gerade gegen Unterkiefer	-	-	2349	962

**Tabelle 2.10:** Überblick über die maximale Schlagkraft aus den Voruntersuchungen

Studie	$p [Nm]$			
	<i>min</i>	<i>max</i>	$\mu$	$\sigma$
(Smith und Hamill, 1986)				
Erfahren	-	-	60,79	17,27
Fortgeschritten	-	-	39,98	15,26
Anfänger	-	-	42,34	11,62
mit blosser Faust	-	-	42,01	18,66
mit Karatehandschuh	-	-	46,38	17,4
mit Boxhandschuh	-	-	53,73	15,35

**Tabelle 2.11:** Überblick über den Impuls aus den Voruntersuchungen

In der Studie von (Kaatsch et al., 1994) wurden zur Beurteilung von durchbohrenden Stichvorgängen mittels einer speziell dafür entwickelten Messapparatur Stichversuche an Schlachtschweinen untersucht. Hierbei wurden neben objektiv messbaren Parametern des Stichvorganges die subjektive „Wucht“-Einschätzung des Zusteichenden der einzelnen Stiche festgehalten. Es zeigte sich, dass die subjektive „Wucht“-Einschätzung - unterteilt in „schwach“, „mittel“ und „stark“ - mit dem Anstieg der Auftreffgeschwindigkeit zunahm.



# Kapitel 3

## Fragestellung

Aus forensisch-biomechanischer Sicht sollen folgende Fragen in dieser Studie beantwortet werden:

1. Welche Größen erreichen die kinematischen Parameter einer Faust beim Schlag eines Menschen?
2. Welche Größen erreichen die dynamischen Parameter einer Faust beim Schlag eines Menschen?
3. Wie stark variieren diese Parameter in der Population?
4. Unterscheiden sich die kinematischen und dynamischen Parameter in Schlagrichtung zu denen im Raum?
5. Gibt es große Unterschiede zwischen trainierten und nicht trainierten Personen bezüglich der Schlagparameter?
6. Wie groß ist der Einfluss der Anthropometrie der schlagenden Person auf die Schlagparameter?
7. Inwiefern stimmt die subjektive Wahrnehmung eines Schlages mit den gemessenen objektiven Schlagparametern überein?
8. Ändern sich die Schlagparametern (bewusst oder unbewusst) je nach dem, auf welches Objekt geschlagen wird?



# Kapitel 4

## Material und Methode

### 4.1 Technische Voraussetzungen

Für diese Studie wurde ein passives optisches Bewegungsanalysesystem (weiterhin als *BAS* bezeichnet) der Firma Motion Analysis Inc. verwendet. Das System besteht aus acht analogen Hochgeschwindigkeitskameras vom Typ Falcon (siehe Abbildung 4.1), einem Analog-Digital-Wandler der Firma National Instruments zur Wandlung der analogen Bildinformationen in digitale, einer Workstation der Firma Sun Microsystems zur Verrechnung der Bilddaten und einem Personalcomputer zur Echtzeit-Datendarstellung, sowie einer digitalen NTSC-Videokamera der Firma Sony und einer Videoschnittkarte der Firma Data Translation Inc. zur Videodokumentation. Zusätzlich wurde ein Kraftmessplatten-System der Firma Kistler Instrumente AG bestehend aus zwei Kraftmessplatten (weiterhin als *KMP* bezeichnet) (siehe Abbildung 4.2) plus zwei Ladungsverstärkern (siehe Abbildung 4.3) verwandt. Die Versuchsanordnung befindet sich im Labor für Bewegungs- und Trainingswissenschaft am Institut für Sportwissenschaft und Sport (Prof. Klaus Schneider) der Universität der Bundeswehr München.

#### 4.1.1 Bewegungsanalysesystem

Leuchtdioden, die als Ringe um die Objektive der Kameras angebracht sind, strahlen mit der Aufnahmefrequenz abgestimmtes, gepulstes Rotlicht ab. Das Rotlicht wird von Kugeln, den so genannten Markern, reflektiert. Die Marker sind mit einer reflektierender Spezialfolie der Firma 3M beklebt und mittels Kleberingen an gewünschten Stellen an der Versuchsperson bzw. an sonstigen Objekten angebracht.

Helligkeitsunterschiede zwischen Marker und Umgebung werden als analoges Signal von speziellen Videobords in digitale Information umgewandelt. Dabei werden die Bildsignale in 420 horizontal verlaufende Linien unterteilt, die wiederum auf Helligkeitsunterschiede abgetastet werden. Ein Marker wird erst dann als Marker detektiert und identifiziert, wenn er je nach Voreinstellung des Minimums bzw. Maximums an entsprechenden Reflexionen auf benachbarten horizontalen Linien abgibt. Hiermit lässt sich unter anderem die Empfindlichkeit im Bezug auf den zu untersuchenden Aufnahmeraum festlegen.

Somit wird automatisch der Mittelpunkt der Marker durch das im Analysesystem integrierten Software-paketes EvaRT bestimmt. Diese Berechnung der Markermittelpunkte erfolgt zunächst für jedes aufgenommene Bild der acht Kameras einzeln. Mittels des DLT-Verfahrens (Abdel-Aziz und Karara, 1971) werden die zweidimensionalen Orts-Zeitverläufe der Markermittelpunkte, die für jede Kameraperspektive vorliegen, in dreidimensionale Bewegungsdaten umgerechnet und in Echtzeit auf der Workstation wiedergegeben. Die maximale Aufnahmefrequenz dieses Analysesystems beträgt 240  $Hz$ .

Zeitgleich zu den Bewegungsanalysedaten wird von EvaRT ein digitales NTSC-Videosignal einer zum System zugehörigen Kamera der Firma Sony mit einer Bildwiederholrate von 29,97 Vollbildern pro Sekunde mittels einer Videoschnittkarte der Firma Data Translation Inc. zur Videodokumentation aufgezeichnet.

Zusätzlich können insgesamt 64 analoge Kanäle synchronisiert mit einer maximalen Frequenz von bis zu 5000  $Hz$  via A/D-Wandler miterfasst werden.



Abbildung 4.1: Motion Analysis Kamera Typ Falcon

### 4.1.2 Kraftmessplatte

Zur Aufzeichnung der Bodenreaktionskraft wurden zwei grosse Mehrkomponenten-Messplattformen für die Biomechanik (Typ 9287 B) plus je einem 8-Kanal-Ladungsverstärker (Typ 9865 E) der Firma Kistler Instrumente AG verwendet. Die Messplattform besteht aus einer Deckplatte mit vier vorgespannt eingebauten 3-Komponenten-Kraftsensoren. Die Ausgänge der vier 3-Komponenten-Kraftsensoren sind intern so auf 8 Kanäle reduziert, dass Kraft- und Momentmessungen in allen drei Achsen möglich sind. Mit diesem dynamometrischen Verfahren werden die äußeren Kräfte, die in Form von Bodenreaktionskräften gemessen werden, direkt bestimmt. Das Messprinzip der *KMP* basiert auf dem sog. piezoelektrischen Effekt (Hochmuth, 1982), d.h. bei einer mechanischen Beanspruchung erfolgt eine

Änderung der Oberflächenladung von Quarzkristallen. Jede *KMP* enthält 4 Sensoren, die sowohl horizontal als auch vertikal angreifende Kräfte an der Deckplatte registrieren können. Die durch den Druck entstehenden Ladungen werden über einen Gegenkondensator in Spannungswerte gewandelt und mittels des 8-Kanal-Ladungsverstärkers verstärkt. Diese analogen Signale werden auf insgesamt 16 Kanälen (je  $F_{x12}$ ,  $F_{x34}$ ,  $F_{y14}$ ,  $F_{y23}$ ,  $F_{z1}$ ,  $F_{z2}$ ,  $F_{z3}$ ,  $F_{z4}$ ) des 12bit/64 Kanal Analog-Digital-Wandlers Typ AT-MIO-64E-3 der Firma National Instruments in digitale Signale umgesetzt und dann simultan und synchronisiert mit dem optischen BAS im EVaRT aufgezeichnet und gespeichert.



Abbildung 4.2: Kistler Kraftmessplatte Typ 9287 B



Abbildung 4.3: Kistler Ladungsverstärker Typ 9865 E

### 4.1.3 Software

In dieser Studie kamen zahlreiche Programme zur Anwendung, zunächst zur Steuerung, Datenerhebung und Rohdatenverarbeitung, dann zur Archivierung sowie statistischen Auswertung.

#### EVaRT Version 3.2 von Motion Analysis Inc.

EVaRT Version 3.2 von Motion Analysis dient zur Steuerung und Datenerfassung der Bewegungs- und Kraftmessplattendaten sowie zur Auswertung der Bewegungsdaten.

Vor der Datenerfassung ist die Kalibrierung des Bewegungsanalyse-Systems nötig, welche sich in einen statischen Kalibrierungsschritt zur Definition des Ursprungs des dreidimensionalen, kartesischen Koordinatensystems und einen dynamischen Kalibrierungsschritt zur genauen Koordinaten- und Kamerapositionenberechnung bzw. -korrektur aufgliedert. Während der „motion capture“ werden für jede Aufnahmesequenz die einzelnen Datensätze separat abgespeichert. Neben den Bewegungsrohdaten werden die Kraftmessplattenrohdaten und ein digitales Video aufgezeichnet. Die Nachbearbeitung der Bewegungsrohdaten dient zur Korrektur bzw. Bereinigung der Daten und ggf. Vervollständigen der Datensätze. Hierfür können Weg-Zeit-Verläufe durch Hilfswerkzeuge, wie die mathematische Berechnung der kubischen Splines zur Lückenfüllung von nicht erfassten Kurvenpunkten, vervollständigt werden.

Diese somit gewonnenen Daten können mit unterschiedlichen Filterroutinen zu weiteren Bewegungsdaten wie Geschwindigkeit-Zeit-Verläufe, Beschleunigung-Zeit-Verläufe verrechnet bzw. dargestellt werden.

#### **Broadway Pro 5.0 von Data Translation Inc.**

Die Software Broadway Pro Version 5.0 der Firma Data Translation Inc. dient der synchronen Aufzeichnung eines digitalen NTSC-Videos im AVI-Format zur Videodokumentation. Die Ansteuerung erfolgt direkt aus EVaRT.

#### **Bioware Version 3.24 von Kistler Instrumente AG**

Freundlicherweise wurde für diese Studie ein Konvertierungsprogramm seitens Kistler Instrumente AG zur Verfügung gestellt, mit dem es möglich war, die in EVaRT gewonnenen Rohdaten der Kraftmessplatten in Bioware zu importieren. Die Auswertung erfolgte über die detaillierte Analyse und Berechnung der Kraft-Zeit-Kurven und Drehmoment-Zeit-Kurven in Bioware Version 3.24, wobei die beiden physikalischen Kraftmessplatten als eine virtuelle Kraftmessplatte summiert wurden.

#### **SPSS Version 13.0**

Als statistisches Analyseprogramm aller Daten wurde SPSS Version 13.0 herangezogen.

#### **Microsoft Excel 2002**

Das Tabellenkalkulationsprogramm Excel 2002 aus dem Hause Microsoft diente zur Datenerfassung insbesondere der anthropometrischen Messdaten sowie der erhobenen Fragebögen und zur Archivierung der übrigen Daten.

### Origin Version 6.1

Das Tabellenkalkulationsprogramm Origin Version 6.1 der Firma OriginLab wurde zur grafischen Visualisierung verwandt.

## 4.2 Fragebogen

Alle Probanden wurden in einem persönlichen Gespräch ausführlich über die geplante Studie informiert und erteilten anschließend ihr schriftliches Einverständnis.

Der Fragebogen diente zur Erfassung von allgemeinen sowie sportlichkeits- bzw. fitnessbezogenen Daten jedes Probanden und schliesslich zur Evaluation der subjektiven Einschätzung der Schläge. Der Fragebogen untergliederte sich in zwei Teile. Der I. Teil des Fragebogens beinhaltete zunächst allgemeine Fragen zur Person, wie Alter, Händigkeit, etc., des weiteren Benennung der ausgeübten Sportart wie Laufen, Radfahren, Kraftsport, Ballsport, Fitness-training, Kampfsport und Sonstige als mögliche Mehrfachnennung. Die Selbsteinschätzung der eigenen Sportlichkeit als Einfachnennung von unsportlich bis extrem sportlich von 1 bis 7 Punkte, des Fitnessgrades im Vergleich mit anderen von unfit bis absolut fit ebenfalls von 1 bis 7 Punkte, des derzeitigen Fitnessgrades von unfit bis extrem fit wiederum von 1 bis 7 Punkte, sowie abschliessend der Trainingshäufigkeit von nie bis jeden Tag gestaffelt von 1 bis 10 Punkte wurden ebenfalls erfragt. Für weitere Details siehe hierzu Abbildungen C.1 und C.2. Im II. Teil des Fragebogens wurde die subjektive Einschätzung jedes einzelnen Schlages in Bezug auf die „Wucht“ nach jedem erfolgten Schlag in der Versuchsphase dokumentiert. Dabei wurde die Schlagwucht als Einfachnennung von nicht bis maximal getroffen - von 1 bis 7 - gewertet, für weitere Details siehe hierzu Abbildung C.3.

## 4.3 Versuchsgruppe

An dieser Untersuchung nahmen 22 Probanden in zwei Gruppen teil. Alle Probanden waren Rechtshänder.

Die Kampfsportgruppe bestand aus zehn männlichen Personen im Alter zwischen 17 und 28 Jahren mit einer Körperlänge zwischen 172 und 185 *cm* und einer Körpermasse zwischen 65 und 84 *kg*. Die Voraussetzung zur Einteilung in diese Gruppe waren, eine Kampfsportart als Leistungssport zu betreiben, darunter fielen Kickboxen, Muay Thai, klassisches Boxen und Freight. Die Gruppe setzte sich aus fünf Probanden, die ausschliesslich Muay Thai ausübten, drei Probanden, die Muay Thai und Kickboxen in Kombination betrieben, sowie einem Kickboxer und einem Freefighter zusammen. Fünf dieser Probanden hatten in ihrer Disziplin Wettkampferfahrung auf Amateurniveau, die übrigen fünf zwar keine Wettkampferfahrung aber langjähriges Training von ein- bis zweimal pro Woche.

Die Referenzgruppe bestand aus zwölf männlichen Personen aus der Normalbevölkerung im Alter von 14 bis 43 Jahren mit einer Körperlänge zwischen 168 und 193,5 *cm* und einer Körpermasse zwischen 55 und 101 *kg*. Dabei waren sechs Probanden, die bis zu ein- bis zweimal die Woche Sportarten wie Laufen, Schwimmen oder Ballsportarten ausübten, und sechs Probanden, die Nichtkampfsportarten mehr als zweimal die Woche ausübten.

<i>RG</i> ( $n = 12$ )	<i>min</i>	<i>max</i>	$\mu$	$\sigma$
<i>Alter</i> [ <i>a</i> ]	14	43	28	7
<i>Körperlänge</i> [ <i>cm</i> ]	168	194	179	7
<i>Körpermasse</i> [ <i>kg</i> ]	54	98	75,7	12,2

**Tabelle 4.1:** Referenzgruppe

<i>KG</i> ( $n = 10$ )	<i>min</i>	<i>max</i>	$\mu$	$\sigma$
<i>Alter</i> [ <i>a</i> ]	17	28	24	4
<i>Körperlänge</i> [ <i>cm</i> ]	172	185	178	5
<i>Körpermasse</i> [ <i>kg</i> ]	66	84	75,7	5,6

**Tabelle 4.2:** Kampfsportgruppe

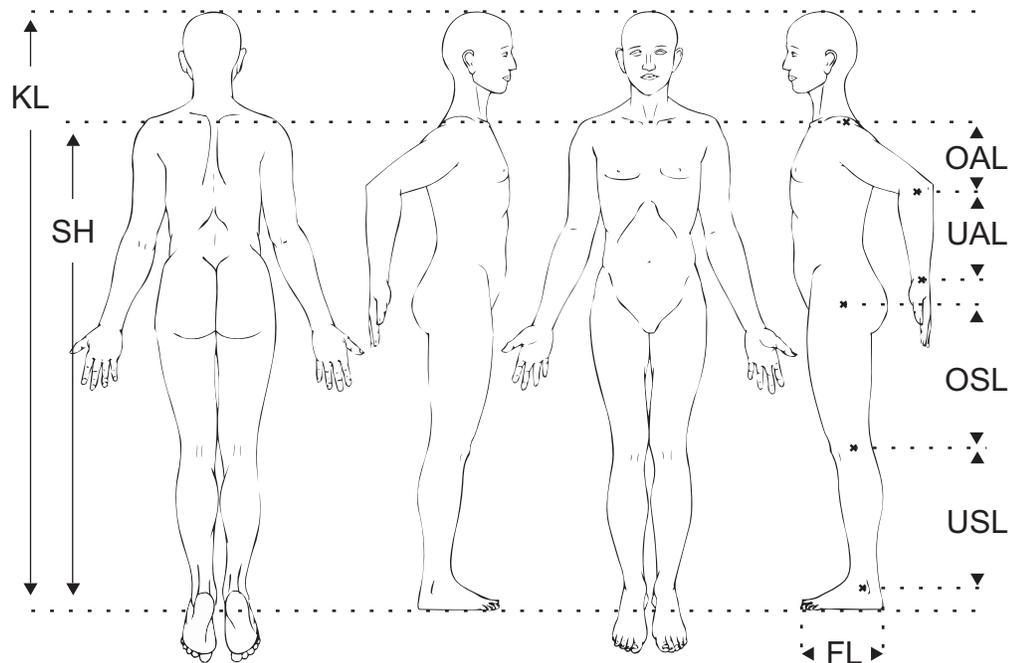
### 4.3.1 Anthropometrie

Die anthropometrische Vermessung der Körperproportionen erfolgte nach (Lohman et al., 1991). Alle anthropometrischen Daten wurden am maximal gestreckten Probanden mit Kopfhaltung in Tragus-Orbita-Linie vermessen, wobei die Füße sich berührten und die Zehen parallel nach ventral zeigten. Die Arme hingen entspannt herunter und beide Daumen zeigten nach ventral.

Die Körperlänge definiert sich von der Standfläche bzw. Fersensohlenhöhe bis zum Vertex, die Schulterhöhe von Fersensohlenhöhe bis zum acromialen Knochenpunkt. Die obere Extremität teilt sich in Unterarmlänge vom Processus styloideus radii bis zum Processus olecrani ulnae und Oberarmlänge vom Processus olecrani ulnae bis zum Angulus acromialis. Die untere Extremität gliedert sich in Unterschenkellänge von Fersensohlenhöhe bis zum lateralen Softspot des jeweiligen Kniegelenkes und in Oberschenkellänge vom proximalen Ende der Patella bis zur Mitte des Ligamentum inguinale. Die Fusslänge erstreckt sich vom Pternion bis zu Akropodion. Bei der anthropometrischen Vermessung der Körperproportionen kamen ein Anthropometer, ein Gleitzirkel nach Martin und ein Plastik-Messband der Firma Siber-Hegner zum Einsatz.

Abk.	Bezeichnung	Ursprung	Ansatz
<i>KL</i>	Körperlänge	Vertex	Fersensohlenhöhe
<i>SH</i>	Schulterhöhe	Angulus acromialis	Fersensohlenhöhe
<i>OAL</i>	Oberarmlänge	Angulus acromialis	Proc. olecranii ulnae
<i>UAL</i>	Unterarmlänge	Proc. olecranii ulnae	Proc. styloideus radii
<i>OSL</i>	Oberschenkellänge	Mitte des Ligamentum inguinale	prox. Patellarand
<i>USL</i>	Unterschenkellänge	lateral Softspot Kniegelenk	Fersensohlenhöhe
<i>FL</i>	Fusslänge	Pternion	Akropodion

**Tabelle 4.3:** Anthropometrische Vermessung der Körperproportionen



modifiziert Prof Dr. M. Graw Institut für Rechtsmedizin, Universität München

**Abbildung 4.4:** Schema über Anthropometrische Vermessung der Körperproportionen

## 4.4 Schlagobjekte

Es wurden drei unterschiedliche Schlagobjekte in Grösse und Masse variierend unter Berücksichtigung der Verletzungsvermeidung ausgesucht. Das erste Schlagobjekt war ein Marker  $m$  des *BAS* selbst, ein Faustball  $b$  der Firma Drohn diente als zweites Schlagobjekt und eine Ringerpuppe  $r$  der Firma Foeldeak wurde als grösstes Objekt eingesetzt 4.4.

Schlagobjekt	Masse [g]	Grösse [cm]
Marker $m$	6	2,5
Faustball $b$	346	10
Ringerpuppe $r$	16000	120

**Tabelle 4.4:** Schlagobjekte

## 4.5 Markerverteilung

Zur genauen Bewegungsaufzeichnung wurden am Probanden insgesamt 26 Marker an kinematisch relevanten Stellen angebracht, diese entsprachen meistens den anthropometrischen Messpunkten. Es war nötig, asymmetrisch angeordnete Marker zu platzieren, um dem Bewegungsanalyse-system *BAS* die automatische Markererkennung zu vereinfachen. Somit wurden die Marker *scap*, *hum* und *fem* an entsprechender Stelle an der linken Körperseite hinzugefügt. Die Marker wurden wie in folgender Tabelle 4.5 und Grafik 4.5 dargestellt am Probanden fixiert:

Abkürzung	Anatomische Struktur
<i>head_r</i>	Fossa temporalis dexter
<i>head_l</i>	Fossa temporalis sinister
<i>cerv</i>	Processus spinosus vertebrae prominentis
<i>inc</i>	Incisura jugularis
<i>thora</i>	Processus spinosus XII. vertebrae thoracicae
<i>arc_r</i>	Acromion dexter
<i>epi_r</i>	Epicondylus laterlis dexter
<i>rad_r</i>	Processus styloideus radii dexter
<i>ulna_r</i>	Processus styloideus ulnae dexter
<i>carp_r</i>	Os metacarpale II dextra
<i>scap</i>	<i>Scapula sinister</i>
<i>arc_l</i>	Acromion sinister
<i>hum</i>	<i>Humerus sinister</i>
<i>epi_l</i>	Epicondylus laterlis sinister
<i>rad_l</i>	Processus styloideus radii sinister
<i>ulna_l</i>	Processus styloideus ulnae sinister
<i>carp_l</i>	Os metacarpale II sinistra
<i>troc_r</i>	Trochanter major dextra
<i>genu_r</i>	Spatium genuale dextra
<i>mall_r</i>	Malleolus laterlis dexter
<i>tars_r</i>	Caput ossis tarsale I dextra
<i>troc_l</i>	Trochanter major sinister
<i>fem</i>	<i>Femur sinistra</i>
<i>genu_l</i>	Spatium genuale sinistra
<i>mall_l</i>	Malleolus laterlis sinister
<i>tars_l</i>	Caput ossis tarsale I sinistra

**Tabelle 4.5:** Verteilung der Marker am Probanden

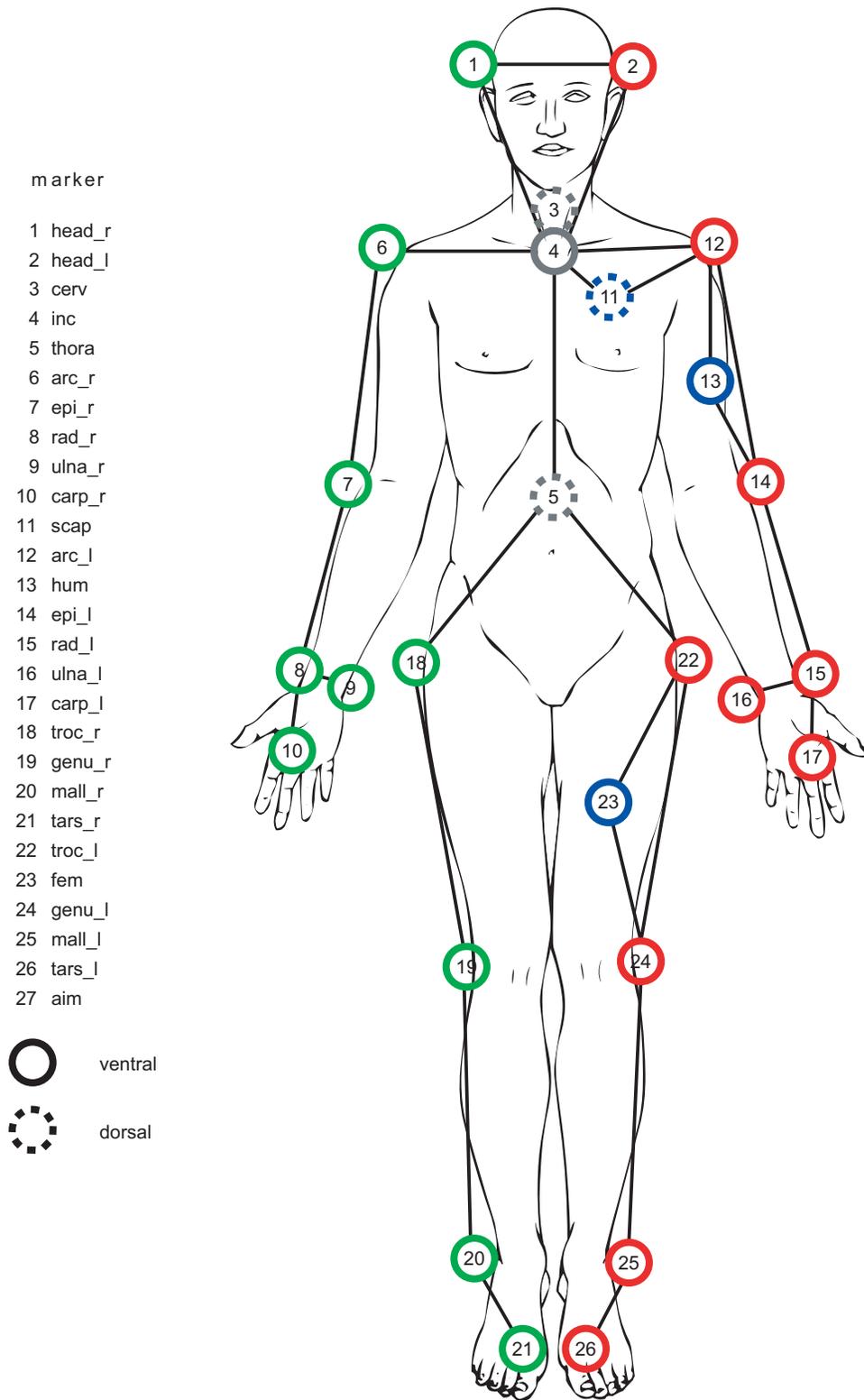


Abbildung 4.5: Skizze der Markerverteilung

Im ersten Versuchsdurchgang war der Bewegungsanalysemarker selbst das Schlagobjekt. Im zweiten (Faustball) wurden drei Marker am Faustball befestigt. Im dritten Durchgang wurde dorsalseitig an der Ringerpuppe ein Marker in ungefährer Schlaghöhe befestigt. Die Marker am Schlagobjekt dienten zur Bestimmung des Kontaktbeginnes.

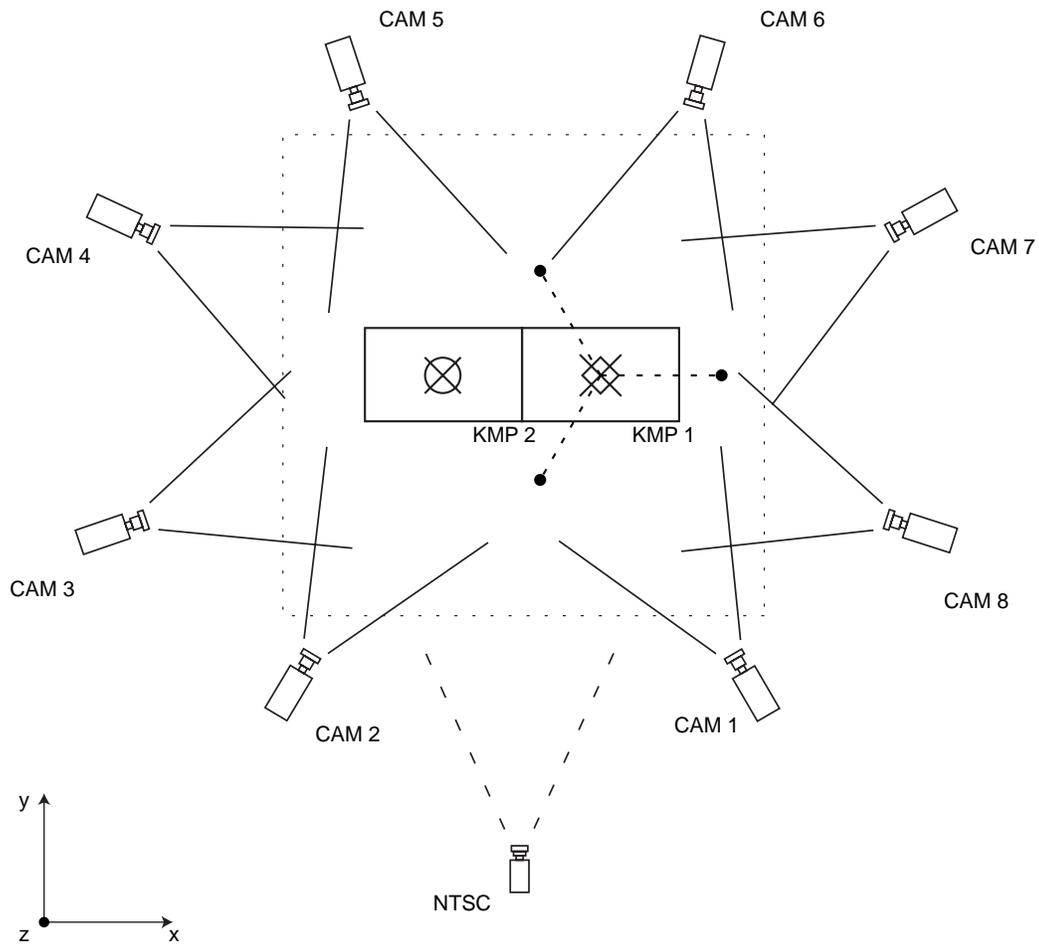
## 4.6 Versuchsanordnung

Die Versuchsanordnung wurde auf einen virtuellen kubischen Raum von  $27\text{ m}^3$  Aufnahmevolumen ausgelegt. Dies ermöglichte, die gesamte Bewegungsabfolge insgesamt aufzunehmen. Das dreidimensionale kartesische Koordinatensystem wurde so gewählt, dass die x-Achse in Schlagrichtung zeigte, die y-Achse rechtwinklig nach links in der horizontalen Ebene wies und die vertikale Achse z darstellte. Der Proband stand mittig auf einer *KMP*, die längs in Schlagrichtung x mit einer zweiten angrenzenden *KMP* ausgerichtet war. Das Schlagobjekt lag locker auf einer Halterung, welche auf einem Stativ befestigt wurde. Als Halterung mit Hauptaugenmerk der Verletzungsprophylaxe kam zunächst (Schlag auf Marker) eine Röhre aus einem DIN-A4-Papier zu Anwendung mit einem Durchmesser von ca.  $2\text{ cm}$  und einer Länge von  $21\text{ cm}$ . Beim Schlag auf den Faustball wurde eine Papprolle mit einem Durchmesser von  $3\text{ cm}$  und einer Länge von  $10\text{ cm}$  gewählt. Die Ringerpuppe wurde auf einem Stuhl locker aufgesetzt, hier wurde auf das Stativ verzichtet. Das Stativ hatte seinerseits keine Berührungspunkte mit einer der *KMP*. Die Schlagobjekte lagen ungefähr auf der individuellen Schulterhöhe des Probanden, siehe auch (Smith et al., 2000). Die acht Kameras waren elliptisch um das Aufnahmevolumen in einem Abstand zwischen vier und sieben Metern in unterschiedlichen Höhen auf Stativen aufgestellt. Die digitale Videokamera befand sich rechts des Probanden auf Höhe des Schlagobjektes ausserhalb des Aufnahmevolumens parallel zur Schlagrichtung x. Der Versuchsleiter konnte am Steuer- und Aufnahmeplatz rechts neben der digitalen Videokamera die Versuchsdurchführung koordinieren.

Die Position des Schlagobjektes zum Probanden wurde folgendermassen festgelegt:

- Abstand einer Armlänge des Probanden (x-Achse)
- Medioclavicularlinie der Händigkeitseite des Probanden (y-Achse)
- Schulterhöhe des Probanden (z-Achse)

In den beiden folgenden Abbildungen ist die schematische Anordnung des Versuchsaufbaus skizziert. Die Abbildung 4.6 zeigt einen Überblick über die Anordnung der acht Hochgeschwindigkeitskameras und der zwei Kraftmessplatten sowie über die Position der Digitalkamera. Die Abbildung 4.7 veranschaulicht die Position des Probanden und des Schlagobjektes zueinander sowie die Anordnung beider auf den Kraftmessplatten.



## LEGENDE

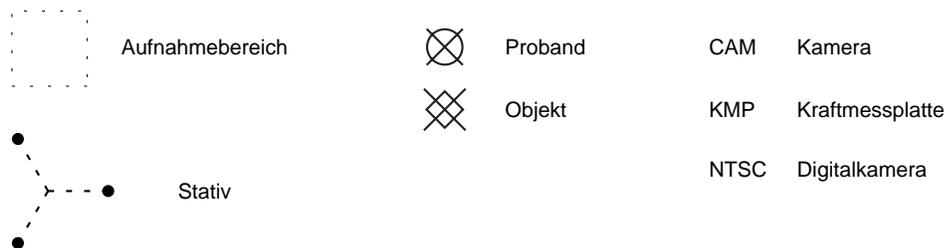
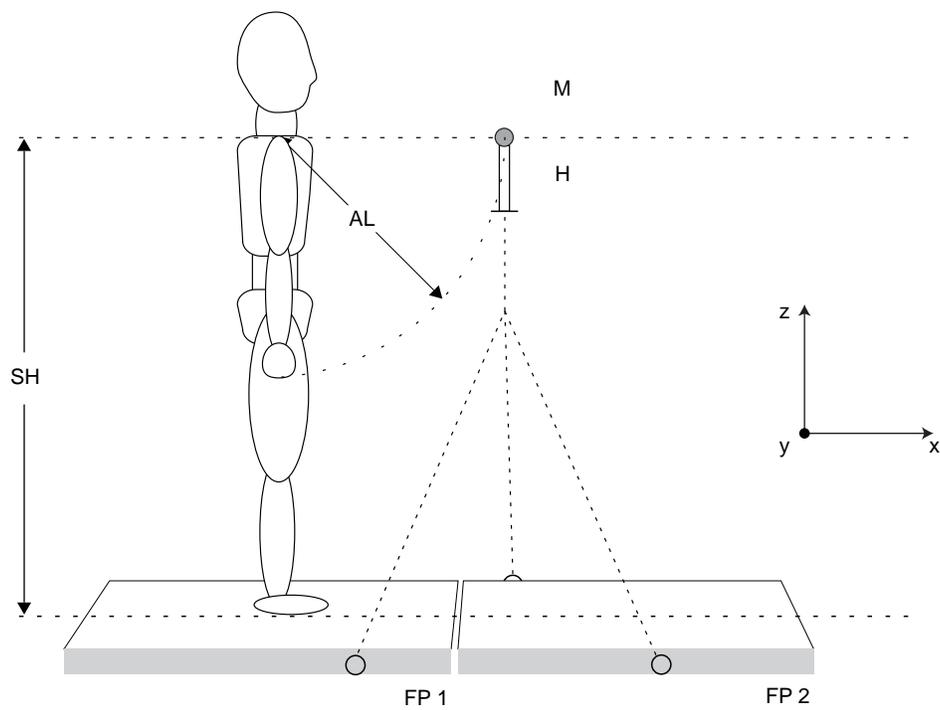
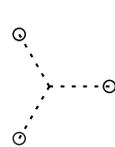


Abbildung 4.6: Versuchsanordnung in der Vogelperspektive



## LEGENDE



Stativ

M Marker/Objekt

KMP Kraftmessplatte

H Halterung

SH Schulterhöhe

AL Armlänge

Abbildung 4.7: Schematische Versuchsanordnung

## 4.7 Versuchsdurchführung

### 4.7.1 Versuchsablauf

Der Versuchsablauf verlief folgendermaßen: Vorab beantwortete der Proband den I. Teil des Fragebogens, anschließend wurde der Proband anthropometrisch vermessen. Vor dem eigentlichen Versuch wurde mit Hilfe der Kraftmessplatten die exakte Körpermasse des Probanden bestimmt und die Marker an den zuvor beschriebenen Stellen am Probanden fixiert. Es folgte die Trainingsphase, in der der Proband mehrmals den Schlag auf den Gegenstand üben sollte, bis er subjektiv das Gefühl hatte, den Gegenstand sicher mit „voller Wucht“ zu treffen (ca. zehn Trainingsschläge). Dabei stand der Proband in lockerer Schrittposition auf der Kraftmessplatte in einem Abstand zum zu schlagenden Gegenstand von einer Armlänge. Der zu schlagende Gegenstand befand sich locker aufliegend auf einem Stativ in Schulterhöhe des Probanden. Das Stativ hatte dabei keinen Kontakt mit einer der Kraftmessplatten. Der Proband schlug mit maximaler „Wucht“ aus dem Stand auf den Gegenstand. Nächster Schritt der Untersuchung waren zehn Durchgänge des Schlages mit einer nach jedem Schlag folgenden Befragung des Probanden nach der subjektiv wahrgenommenen „Wucht“ des erfolgten Schlages (II. Teil des Fragebogens). Die Trainingsphase und die Versuchsphase wiederholten sich dann mit dem Faustball und schließlich mit der „Ringerpuppe“.

Die Aufnahmezeitspanne betrug fünf Sekunden pro Schlag bei einer Frequenz des Bewegungssystems von 240 Bildern pro Sekunde [ $frame/s$ ], was insgesamt 1200 Bildern entsprach. Die Aufzeichnung der Kraftmessplattendaten geschah simultan und synchron mit einer Frequenz von 960  $Hz$ , was insgesamt 4800 einzelnen Datensätzen entsprach. Ebenso wurde pro Schlag ein digitales NTSC-Video mitaufgezeichnet. Die erhobenen Rohdatensätze wurden zur weiteren Verarbeitung auf Festplatte gespeichert und auf DVD gesichert.

In den Abbildungen 4.8 und 4.9 sind beispielhaft EvaRT-Standbilder eines Probanden zunächst in der Neutralstellung und dann zu Beginn der Schlagphase vor dem Kontakt mit dem Schlagobjekt Marker  $m$  zu sehen. Die beiden hervorgehobenen Marker sind der Faustmarker *carp\_r* (rot) und das Schlagobjekt  $m$  (violett).

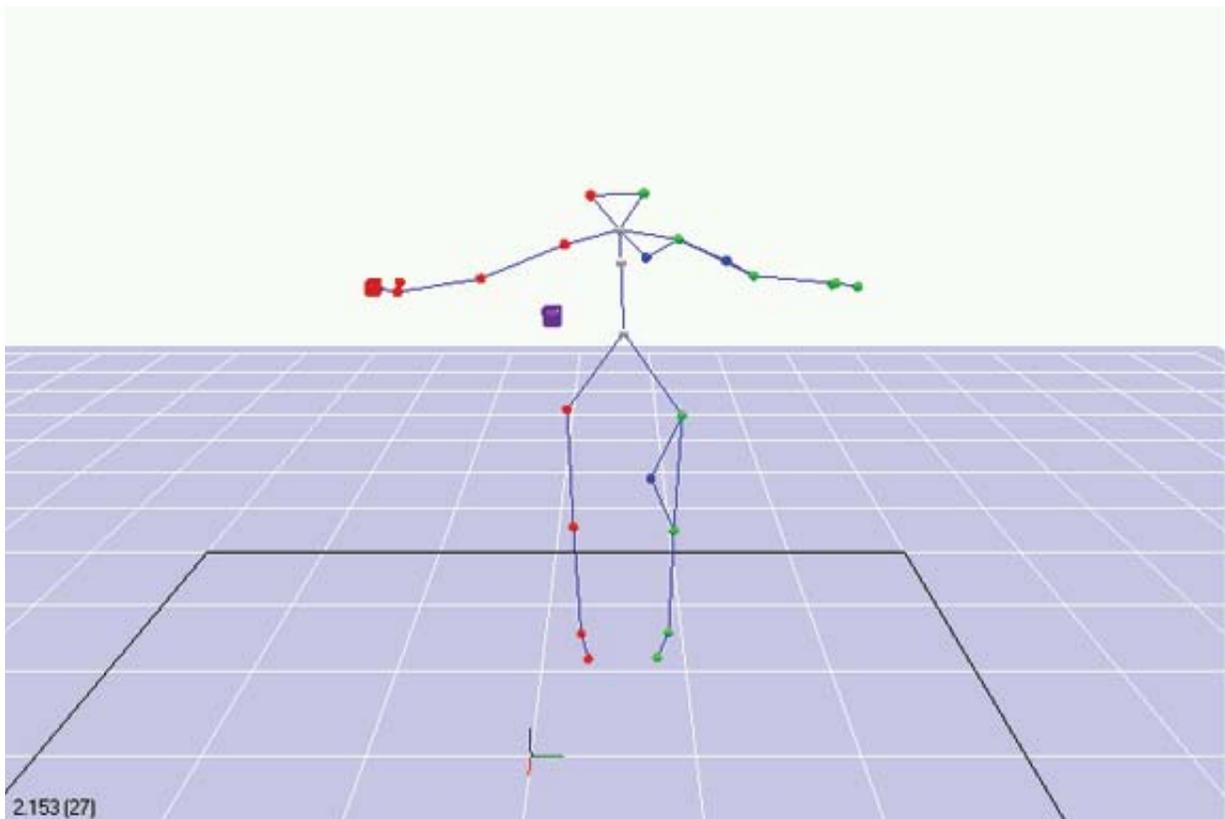
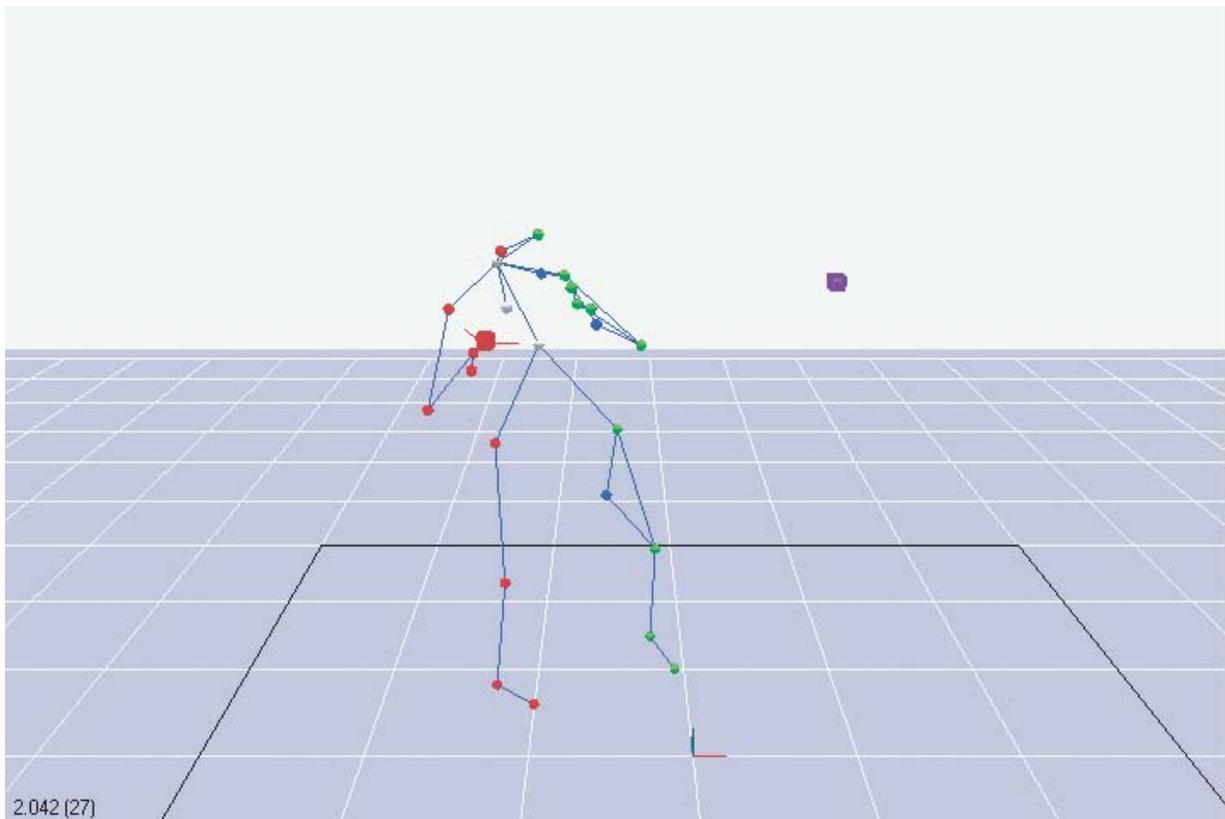


Abbildung 4.8: EVaRT-Standbild in Neutralstellung



**Abbildung 4.9:** EVaRT-Standbild zu Beginn der Schlagphase

## 4.7.2 Auswertung

### Fragebogen

Die Fragebögen wurden als Ordinalskala tabellarisch in Excel eingegeben und später in SPSS statistisch verarbeitet.

### Bewegungsdaten

Die erfassten Rohdaten der Bewegung wurden in EVaRT im Nachbearbeitungs-Modus korrigiert und bereinigt. Im Detail wurden hierbei für jeden einzelnen Marker probanden- als auch schlagobjektseitig die Weg-Zeit-Verläufe durchgesehen und gegebenenfalls mittels in dem Programm integrierten Hilfswerkzeuge vervollständigt oder korrigiert. Darunter kam unter anderem die mathematische Berechnung von kubischen Splines zur Lückenfüllung zur Anwendung. Hierbei wurden fehlende bzw. korrigierte Positionen von Markern pro Bild ohne Verfälschung der Daten ergänzt. Des weiteren konnten falsch gesehene Marker, sogenannte „ghost marker“, die trotz korrekter Aufnahmen durch z.B. Reflexionen entstanden sind, ausgeglichen werden.

Mit Hilfe eines Butterworth 4. Ordnung Tiefpass-Filters wurde mit einer Grenzfrequenz von 12  $Hz$  Rausch- bzw. Störfrequenzen von den komplettierten Bewegungsrohdaten entfernt. Es zeigte sich in der Literatur nach (Winter, 1990) und (Hamill et al., 1992) die Grenzfrequenz von 12  $Hz$  als am geeignetsten, um zufällige Amplitudengeräusche und damit Digitalisierungsfehler zu filtern und somit einen relevanten Datenverlust zu verhindern.

Im folgendem Arbeitsschritt wurde in den Weg-Zeit-Verläufen jedes einzelnen Schlages der Beginn des Kontaktes zwischen Faust und Schlagobjekt bestimmt. Die Definition des Kontaktbeginns wurde auf das erste Frame, in dem sich der Marker des Schlagobjektes bewegte, festgelegt.

Es folgte die grafische Darstellung der Geschwindigkeits-Zeit-Verläufe und Beschleunigungs-Zeit-Verläufe in EVaRT, sowie der Export der resultierenden Daten in *ASCII*-Datensätze zur Weiterbearbeitung in Excel und SPSS.

Somit konnten das Geschwindigkeitsmaximum in  $m/s$  vor Kontakt und das Beschleunigungsmaximum in  $m/s^2$  vor Kontakt in Schlagrichtung (x-Achse) für jeden einzelnen Schlag bestimmt werden.

### Bodenreaktionskräfte

Die in EVaRT mitaufgezeichneten Kraftmessplattendaten wurden nach Export als *ASCII*-Format aus EVaRT zunächst mit Hilfe eines Konvertierungsprogrammes umgewandelt. Somit konnten die *KMP*-Datensätze problemlos in Bioware importiert werden. Die Da-

tensätze der beiden Kraftmessplatten wurden wie die einer *KMP* behandelt. Es erfolgte ebenfalls die Filterung der Daten mittels eines Butterworth 4. Ordnung Tiefpass-Filters mit einer Grenzfrequenz von  $12\text{ Hz}$ . Es wurden die Kraft-Zeit-Kurven für jeden einzelnen Schlag in Bioware grafisch dargestellt und der aus den Bewegungsdaten zuvor gewonnene Kontaktbeginn übertragen. Somit konnte das Maximum der Bodenreaktionskraft in Schlagrichtung (x-Achse) vor Kontakt in  $N$  sowie das Maximum des Summenvektors der Bodenreaktionskraft im Raum (x,y,z) vor Kontakt in  $N$  bestimmt werden. Es wurden die entsprechenden *ASCII*-Datensätze zur weiteren Bearbeitung exportiert, wobei darauf zu achten war, dass sich die beiden dreidimensionalen Koordinatensysteme von Bioware und dem ursprünglich in EVaRT definierten in Achsenbenennung und Vorzeichen unterschieden. Dies veranschaulicht Abbildung 4.11, wobei als Bezugskoordinatensystem dieser Untersuchung das von EVaRT herangezogen wurde.

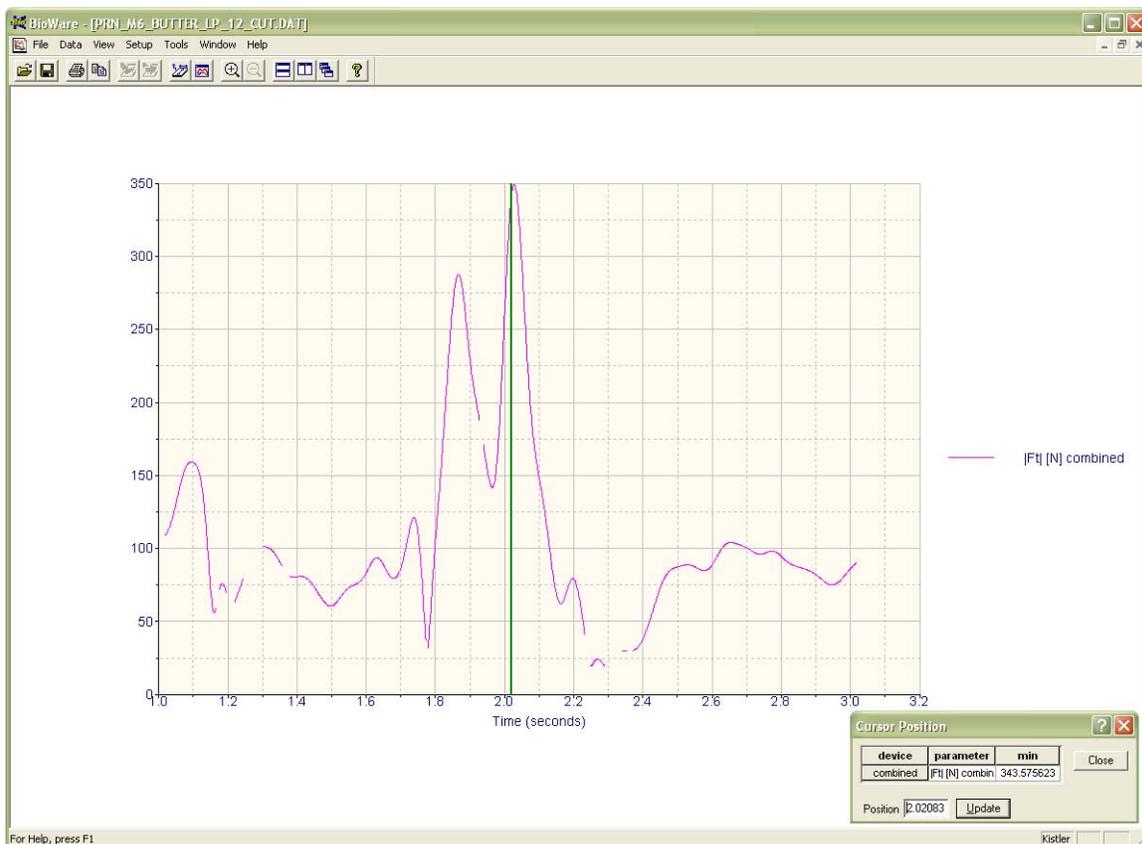
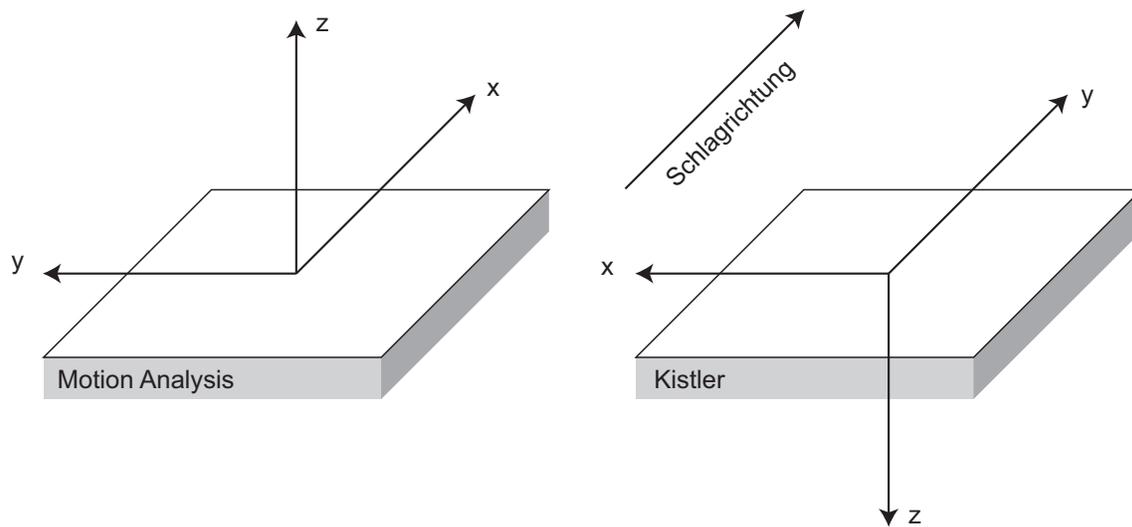


Abbildung 4.10: Korrektur Bioware Kraft in Schlagrichtung



width

**Abbildung 4.11:** Koordinatensysteme von EVaRT/Motion Analysis und Bioware/Kistler

### 4.7.3 Statistik

In dieser Studie kamen folgende statistische Tests zur Anwendung:

- Kolmogorov-Smirnov-Test
- Korrelationskoeffizient nach Bravais-Pearson
- Rangkorrelationskoeffizient nach Spearman-Rho
- paariger zweiseitiger T-Test
- T-Test zweier unabhängiger Stichproben



# Kapitel 5

## Ergebnisse

Als Vorbemerkung sei zu erwähnen, dass mittels Videoanalyse die subjektiv ausgewerteten Bewegungsabfolgen aller Probanden intraindividuell konstant blieben, interindividuell doch erhebliche Unterschiede aufwiesen. Die 22 Probanden zeigten eine grosse Vielfalt an von jedem einzelnen favourisierter Schlagtechnik bzw. -abfolge.

### 5.1 Anthropometrie

Aus den erhobenen anthropometrischen Daten der einzelnen Probanden wurde die Länge des schlagenden Armes bestimmt. Alle Probanden beider Versuchsgruppen waren Rechtshänder und schlugen mit der rechten Faust in allen Versuchen zu. Die Schlagarmlänge  $arm_r$  berechnet sich aus der Summe der Oberarmlänge  $OAL$  mit der Unterarmlänge  $UAL$ . In folgender Tabelle 5.1 sind die Körpermasse  $m$  und die Schlagarmlängen  $arm_r$  der einzelnen Probanden beider Versuchsgruppen und aufgelistet.

Die Körpermasse  $m_k$  der einzelnen Probanden der Refrenzgruppe lag zwischen  $54\text{ kg}$  und  $98\text{ kg}$  mit einer Schlagarmlängen zwischen  $50,2\text{ cm}$  und  $69,1\text{ cm}$ , die Körpermasse der einzelnen Versuchspersonen der Kampfsportgruppe lag im Bereich zwischen  $65\text{ kg}$  und  $84\text{ kg}$  mit einer Schlagarmlängen zwischen  $56,9\text{ cm}$  und  $61,6\text{ cm}$ .

## Referenzgruppe

<i>RG</i>	R 1	R 2	R 3	R 4	R 5	R 6	R 7	R 8	R 9	R 10	R 11	R 12
$m_k$ [kg]	83	72	79	54	89	79	80	79	69	59	98	68
$arm_r$ [cm]	64,3	65,9	65,6	50,2	69,1	66,2	66,7	62,9	64,6	62,7	69,1	66,2

## Kampfsportgruppe

<i>KG</i>	K 1	K 2	K 3	K 4	K 5	K 6	K 7	K 8	K 9	K 10
$m_k$ [kg]	77	84	74	65	71	78	79	82	71	76
$arm_r$ [cm]	58,1	59,3	57,5	56,9	59,4	56,9	61,6	60,5	57,7	58,0

## Körpermasse

$m_k$	RG	KG	ALL
$\mu$ [kg]	76	76	76
$min$ [kg]	54	65	54
$max$ [kg]	98	84	98
$\sigma$ [kg]	12,2	5,6	9,6

## Schlagarmlänge

$arm_r$	RG	KG	ALL
$\mu$ [cm]	64,5	58,6	61,8
$min$ [cm]	50,2	56,9	50,2
$max$ [cm]	69,1	61,6	69,1
$\sigma$ [cm]	4,9	1,6	4,8

**Tabelle 5.1:** Körpermasse und Schlagarmlänge beider Versuchsgruppen

## 5.2 Subjektive „Wucht“-Einschätzung

Nach jedem erfolgten Schlag in der Versuchsphase wurden die subjektive Einschätzung in Bezug auf die „Wucht“ des Schlages vom Probanden erfragt und dokumentiert. Dabei wurde die subjektiv eingeschätzte Schlagwucht als Einfachnennung von nicht (= 1 Bewertungspunkt) bis maximal getroffen (= 7 Bewertungspunkte) ordinalskaliert gewertet.

Die Tabelle 5.2 zeigt die subjektive „Wucht“-Einschätzung der Schläge auf die drei Schlagobjekte der einzelnen Probanden der Referenzgruppe. Die Werte lagen für den Schlag auf den Marker zwischen 2 und 7 Bewertungspunkten, für den Schlag auf den Faustball zwischen 3 und 7 und für den Schlag auf die Ringerpuppe zwischen 2 und 7.

Marker												
<i>sub m</i>	R 1	R 2	R 3	R 4	R 5	R 6	R 7	R 8	R 9	R 10	R 11	R 12
$\mu$	4,1	6,1	6,4	5,4	5,2	6,0	4,4	3,5	5,6	5,1	5,1	4,8
<i>min</i>	2	5	5	3	3	4	2	2	4	4	4	3
<i>max</i>	6	7	7	7	6	7	7	5	7	6	6	6
$\sigma$	1,52	0,74	0,84	1,07	0,92	0,94	1,84	1,08	0,84	0,74	0,57	1,14

Faustball												
<i>sub b</i>	R 1	R 2	R 3	R 4	R 5	R 6	R 7	R 8	R 9	R 10	R 11	R 12
$\mu$	5,3	6,4	6,5	5,8	5,8	5,8	5,8	4,6	5,7	4,8	5,3	5,5
<i>min</i>	3	5	5	4	4	3	4	4	4	4	4	4
<i>max</i>	7	7	7	7	7	7	7	6	7	6	7	7
$\sigma$	1,16	0,7	0,71	1,03	0,92	1,23	1,03	0,7	1,16	0,79	1,06	0,85

Ringerpuppe												
<i>sub r</i>	R 1	R 2	R 3	R 4	R 5	R 6	R 7	R 8	R 9	R 10	R 11	R 12
$\mu$	6,2	6,6	6,5	6,2	6,0	6,4	7	4,5	6,2	3,6	6,4	5,4
<i>min</i>	5	6	5	5	5	6	7	3	5	2	5	4
<i>max</i>	7	7	7	7	7	7	7	6	7	5	7	6
$\sigma$	0,84	0,52	0,85	0,84	0,71	0,52	0	0,97	0,79	0,84	0,89	0,89

**Tabelle 5.2:** subjektive Einschätzung der „Wucht“ in der Referenzgruppe

Die einzelnen Probanden der Kampfsportgruppe erreichten bei der subjektiven „Wucht“-Einschätzung der Schläge auf den Marker zwischen 2 und 7 Bewertungspunkte, für den Schlag auf den Faustball zwischen 4 und 7, sowie für den Schlag auf die Ringerpuppe zwischen 3 und 7, siehe hierzu Tabelle 5.3.

Marker										
<i>sub m</i>	K 1	K 2	K 3	K 4	K 5	K 6	K 7	K 8	K 9	K 10
$\mu$	5,7	5,8	4,4	6,1	5,2	4,7	5,6	5,1	5	6,4
<i>min</i>	4	4	3	5	4	2	4	3	3	5
<i>max</i>	7	7	5	7	6	6	7	7	6	7
$\sigma$	1,06	1,14	0,84	0,88	0,79	1,25	0,84	1,2	1,25	0,7

Faustball										
<i>sub b</i>	K 1	K 2	K 3	K 4	K 5	K 6	K 7	K 8	K 9	K 10
$\mu$	6,4	6,4	4,6	6,8	5,7	4,9	6,2	5,5	5,6	6,8
<i>min</i>	6	6	4	6	5	4	5	4	5	6
<i>max</i>	7	7	6	7	6	6	7	7	7	7
$\sigma$	0,52	0,52	0,7	0,42	0,48	0,74	0,63	0,97	0,7	0,42

Ringerpuppe										
<i>sub r</i>	K 1	K 2	K 3	K 4	K 5	K 6	K 7	K 8	K 9	K 10
$\mu$	6,3	6,1	4,3	6,3	4,7	5,4	6,5	5,6	4,9	6,9
<i>min</i>	5	4	4	5	4	4	5	3	4	6
<i>max</i>	7	7	5	7	5	6	7	7	6	7
$\sigma$	0,82	1,1	0,48	0,82	0,48	0,7	0,71	1,35	0,74	0,32

**Tabelle 5.3:** subjektive Einschätzung der „Wucht“ in der Kampfsportgruppe

In der Abbildung 5.1 werden die Unterschiede der subjektiven „Wucht“-Einschätzungen beider Versuchsgruppen bei den Schlägen auf die drei Schlagobjekte grafisch dargestellt, weitere Details sind in Tabelle 5.4 abzulesen.

Marker	Faustball			Ringerpuppe							
<i>sub m</i>	RG	KG	ALL	<i>sub b</i>	RG	KG	ALL	<i>sub r</i>	RG	KG	ALL
$\mu$	5,14	5,40	5,26	$\mu$	5,61	5,89	5,74	$\mu$	5,82	5,70	5,76
<i>min</i>	2	2	2	<i>min</i>	3	4	3	<i>min</i>	2	3	2
<i>max</i>	7	7	7	<i>max</i>	7	7	7	<i>max</i>	7	7	7
$\sigma$	1,31	1,14	1,24	$\sigma$	1,06	0,94	1,02	$\sigma$	1,25	1,12	1,18

Tabelle 5.4: subjektive „Wucht“-Einschätzung beider Gruppen

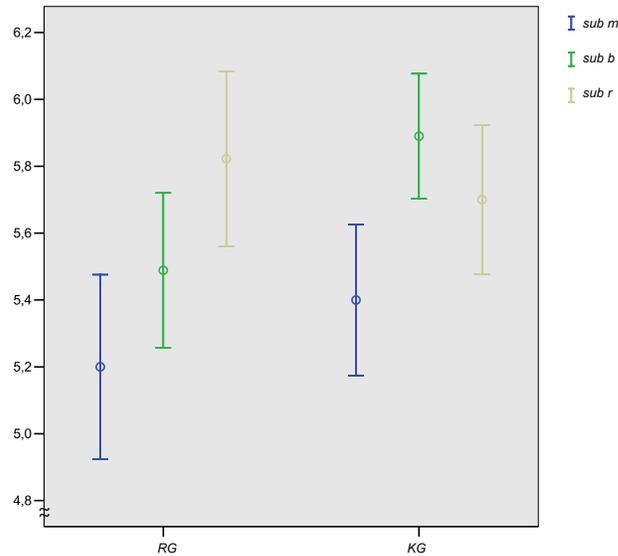


Abbildung 5.1: subjektive „Wucht“-Einschätzung beider Gruppen

## 5.3 Bewegungsanalyse

Die aus den Bewegungsanalysedaten gewonnenen Maxima der Schlaggeschwindigkeit in Schlagrichtung  $v_x$  und der Schlaggeschwindigkeit im Raum  $v_r$  jeweils vor Kontakt werden in den folgenden Tabellen und Abbildungen beschrieben.

### 5.3.1 Schlaggeschwindigkeit in x-Richtung

Das Geschwindigkeitsmaximum  $v_x$  in  $m/s$  vor Kontakt in Schlagrichtung (x-Achse) des Hand- bzw. Faustmarkers der schlagenden Hand (*carp\_x*) wurde für jeden einzelnen Schlag aus den Weg-Zeit-Verläufen bzw. Geschwindigkeits-Zeit-Verläufen ausgelesen. Die folgenden Tabellen zeigen die Mittelwerte  $\mu$ , die Maxima *max*, die Minima *min* und die Standardabweichung  $\sigma$  der zehn gemessenen Schläge jeweils auf einen der drei Schlagobjekte - Marker, Faustball und Ringerpuppe. Die ausgewerteten Datensätze der zwölf Probanden (*R1* bis *R12*) der Referenzgruppe, sowie die der zehn Probanden (*K1* bis *K10*) der Kampfsportgruppe und schliesslich die der Referenzgruppe gesamt, die der Kampfsportgruppe gesamt und die aller Probanden als Gesamtgruppe *ALL* sind in den Tabellen 5.5, 5.6 und 5.7 aufgelistet.

Die Tabelle 5.5 zeigt die Daten der maximalen Faustgeschwindigkeit in Schlagrichtung  $v_x$  der einzelnen Probanden der Referenzgruppe. Die Werte liegen zwischen  $6,44 m/s$  und  $11,75 m/s$  für den Schlag auf den Marker, zwischen  $5,83 m/s$  und  $11,36 m/s$  für den Schlag auf den Faustball und zwischen  $5,62 m/s$  und  $10,41 m/s$  für den Schlag auf die Ringerpuppe.

Marker												
$v_x m$	R 1	R 2	R 3	R 4	R 5	R 6	R 7	R 8	R 9	R 10	R 11	R 12
$\mu [m/s]$	10,71	9,88	9,34	7,10	9,09	9,14	9,35	7,12	9,49	9,65	9,88	9,12
$min [m/s]$	9,65	9,57	8,70	6,56	8,48	8,95	8,94	6,44	8,87	9,06	8,80	6,61
$max [m/s]$	11,75	10,32	10,03	7,99	9,50	9,46	9,76	7,81	10,26	10,35	10,59	10,45
$\sigma [m/s]$	0,72	0,28	0,42	0,42	0,36	0,17	0,31	0,43	0,45	0,39	0,59	1,02

Faustball												
$v_x b$	R 1	R 2	R 3	R 4	R 5	R 6	R 7	R 8	R 9	R 10	R 11	R 12
$\mu [m/s]$	10,20	10,12	8,77	6,99	8,34	8,93	9,84	7,84	10,06	8,92	9,55	9,08
$min [m/s]$	9,27	9,67	8,33	5,83	7,39	7,95	9,36	7,21	8,67	8,42	8,79	8,67
$max [m/s]$	11,36	10,44	9,22	7,99	8,82	9,54	10,40	8,31	10,99	9,33	10,44	10,40
$\sigma [m/s]$	0,69	0,26	0,31	0,69	0,46	0,45	0,34	0,45	0,71	0,25	0,55	0,50

Ringerpuppe												
$v_x r$	R 1	R 2	R 3	R 4	R 5	R 6	R 7	R 8	R 9	R 10	R 11	R 12
$\mu [m/s]$	10,11	9,40	8,15	6,20	8,05	8,48	9,15	6,97	9,04	8,74	9,11	8,23
$min [m/s]$	9,71	8,98	7,68	5,62	7,79	8,13	8,32	6,32	8,42	7,97	8,53	7,57
$max [m/s]$	10,41	10,13	8,60	7,11	8,40	9,12	9,72	7,80	9,51	9,91	10,34	8,67
$\sigma [m/s]$	0,28	0,42	0,30	0,57	0,28	0,32	0,53	0,50	0,30	0,51	0,73	0,45

**Tabelle 5.5:** Schlaggeschwindigkeit in x-Richtung der Referenzgruppe

Die Tabelle 5.6 zeigt die Daten der maximalen Faustgeschwindigkeit in Schlagrichtung  $v_x$  der einzelnen Probanden der Kampfsportgruppe. Die Werte liegen zwischen  $7,54 \text{ m/s}$  und  $10,02 \text{ m/s}$  für den Schlag auf den Marker, zwischen  $6,79 \text{ m/s}$  und  $10,08 \text{ m/s}$  für den Schlag auf den Faustball und zwischen  $7,21 \text{ m/s}$  und  $9,46 \text{ m/s}$  für den Schlag auf die Ringerpuppe.

Marker										
$v_x \text{ m}$	K 1	K 2	K 3	K 4	K 5	K 6	K 7	K 8	K 9	K 10
$\mu \text{ [m/s]}$	8,29	9,52	8,54	8,92	8,57	9,60	9,30	7,87	8,86	9,00
$\min \text{ [m/s]}$	7,89	8,76	7,75	8,35	7,84	8,84	8,80	7,54	8,54	8,48
$\max \text{ [m/s]}$	8,55	10,02	9,19	9,38	9,17	9,92	9,85	8,20	9,43	9,64
$\sigma \text{ [m/s]}$	0,20	0,37	0,51	0,30	0,43	0,31	0,29	0,21	0,25	0,39

Faustball										
$v_x \text{ b}$	K 1	K 2	K 3	K 4	K 5	K 6	K 7	K 8	K 9	K 10
$\mu \text{ [m/s]}$	7,60	9,04	8,55	8,16	8,57	9,23	9,41	7,57	8,97	9,31
$\min \text{ [m/s]}$	6,79	8,35	8,22	7,59	8,21	8,55	9,11	7,28	8,63	8,79
$\max \text{ [m/s]}$	8,44	9,80	8,89	8,80	8,99	9,83	9,96	7,99	9,58	10,08
$\sigma \text{ [m/s]}$	0,54	0,51	0,21	0,32	0,26	0,35	0,26	0,23	0,29	0,36

Ringerpuppe										
$v_x \text{ r}$	K 1	K 2	K 3	K 4	K 5	K 6	K 7	K 8	K 9	K 10
$\mu \text{ [m/s]}$	7,47	8,39	8,63	7,81	8,65	8,85	8,75	7,57	8,54	8,77
$\min \text{ [m/s]}$	7,36	7,65	8,12	7,29	8,10	8,45	8,19	7,21	8,04	8,24
$\max \text{ [m/s]}$	7,64	9,27	9,46	8,41	9,33	9,41	9,21	7,91	9,22	9,17
$\sigma \text{ [m/s]}$	0,10	0,46	0,37	0,33	0,37	0,27	0,33	0,24	0,41	0,28

**Tabelle 5.6:** Schlaggeschwindigkeit in x-Richtung der Kampfsportgruppe

In der Abbildung 5.2 werden die Unterschiede der beiden Versuchsgruppen bei den Schlägen auf die drei Objekte deutlich. Hierbei sind die maximalen Faustgeschwindigkeiten in Schlagrichtung  $v_x$  vor Kontakt in der Kampfsportgruppe jeweils im Bezug auf die drei Schlagobjekte deutlich niedriger als in der Referenzgruppe. Die Grundstatistik der Parameter  $v_x m$ ,  $v_x b$  und  $v_x r$  sind der Tabelle 5.7 zu entnehmen.

Marker			
$v_x m$	RG	KG	ALL
$\mu [m/s]$	9,18	8,85	9,03
$min [m/s]$	6,44	7,54	6,44
$max [m/s]$	11,75	10,02	11,75
$\sigma [m/s]$	1,11	0,61	0,93

Faustball			
$v_x b$	RG	KG	ALL
$\mu [m/s]$	9,07	8,64	8,88
$min [m/s]$	5,83	6,79	5,83
$max [m/s]$	11,36	10,08	11,36
$\sigma [m/s]$	1,06	0,73	0,95

Ringerpuppe			
$v_x r$	RG	KG	ALL
$\mu [m/s]$	8,51	8,34	8,42
$min [m/s]$	5,62	7,21	5,62
$max [m/s]$	10,41	9,46	10,41
$\sigma [m/s]$	1,02	0,59	0,82

**Tabelle 5.7:** Schlaggeschwindigkeit in x-Richtung beider Gruppen

### 5.3.2 Schlaggeschwindigkeit im Raum

Ebenso wie das Geschwindigkeitsmaximum in Schlagrichtung wurde das Geschwindigkeitsmaximum im Raum  $v_r$  vor Kontakt mit einem der Schlagobjekte aus den Geschwindigkeits-Zeit-Verläufen jedes einzelnen Schlages für alle Probanden ausgelesen. Die folgenden Tabellen zeigen jeweils die Werte der einzelnen Probanden der beiden Versuchsgruppen sowie die Versuchsgruppen im Gesamten und beide Gruppen zusammengefasst.

Die Tabelle 5.8 zeigt die maximalen Schlaggeschwindigkeiten im Raum der einzelnen Probanden der Referenzgruppe zunächst auf das Schlagobjekt Marker. Die Werte lagen hier zwischen  $6,46 \text{ m/s}$  und  $11,91 \text{ m/s}$ . Beim Schlag auf den Faustball wurden Werte zwischen  $5,94 \text{ m/s}$  und  $11,38 \text{ m/s}$  erzielt und beim Schlag auf die Ringerpuppe zwischen  $5,95 \text{ m/s}$  und  $10,47 \text{ m/s}$ .

Marker												
$v_r \text{ m}$	R 1	R 2	R 3	R 4	R 5	R 6	R 7	R 8	R 9	R 10	R 11	R 12
$\mu \text{ [m/s]}$	10,80	9,91	9,38	7,44	9,30	9,22	9,38	7,18	9,52	9,67	9,96	9,35
$\min \text{ [m/s]}$	9,69	9,59	8,76	7,08	8,57	9,02	8,96	6,46	8,89	9,07	9,12	6,74
$\max \text{ [m/s]}$	11,91	10,36	10,07	8,07	9,83	9,52	9,84	7,89	10,26	10,37	10,61	10,49
$\sigma \text{ [m/s]}$	0,72	0,27	0,41	0,35	0,38	0,17	0,32	0,45	0,44	0,40	0,52	1,03
Faustball												
$v_r \text{ b}$	R 1	R 2	R 3	R 4	R 5	R 6	R 7	R 8	R 9	R 10	R 11	R 12
$\mu \text{ [m/s]}$	10,24	10,14	8,80	7,18	8,99	9,05	9,91	7,87	10,08	8,98	9,60	9,17
$\min \text{ [m/s]}$	9,29	9,67	8,33	5,94	8,18	8,02	9,44	7,25	8,72	8,52	8,88	8,72
$\max \text{ [m/s]}$	11,38	10,48	9,25	8,14	9,66	9,62	10,42	8,36	11,00	9,33	10,47	10,45
$\sigma \text{ [m/s]}$	0,70	0,27	0,32	0,65	0,54	0,46	0,30	0,45	0,71	0,24	0,52	0,49
Ringerpuppe												
$v_r \text{ r}$	R 1	R 2	R 3	R 4	R 5	R 6	R 7	R 8	R 9	R 10	R 11	R 12
$\mu \text{ [m/s]}$	10,15	9,49	8,23	6,50	8,51	8,72	9,20	7,20	9,07	9,01	9,22	8,31
$\min \text{ [m/s]}$	9,73	9,06	7,79	5,95	8,23	8,35	8,43	6,63	8,47	8,09	8,70	7,62
$\max \text{ [m/s]}$	10,47	10,21	8,65	7,21	8,88	9,30	9,72	7,91	9,53	10,15	10,44	8,73
$\sigma \text{ [m/s]}$	0,28	0,40	0,27	0,48	0,33	0,32	0,50	0,45	0,30	0,54	0,70	0,45

**Tabelle 5.8:** Schlaggeschwindigkeit im Raum der Referenzgruppe

Beim Schlag der Kampfsportgruppe auf den Marker wurden maximale Schlaggeschwindigkeiten im Raum zwischen  $7,64 \text{ m/s}$  und  $10,07 \text{ m/s}$  erreicht, beim Schlag auf den Faustball lagen die Werte zwischen  $7,34 \text{ m/s}$  und  $10,23 \text{ m/s}$ , sowie beim Schlag auf die Ringerpuppe zwischen  $7,34 \text{ m/s}$  und max  $9,70 \text{ m/s}$ , siehe hierzu Tabelle 5.9.

Marker										
$v_r \text{ m}$	K 1	K 2	K 3	K 4	K 5	K 6	K 7	K 8	K 9	K 10
$\mu [m/s]$	9,02	9,58	8,69	9,01	8,70	9,64	9,35	7,93	8,89	9,12
$min [m/s]$	8,57	8,78	7,95	8,47	8,02	8,89	8,83	7,64	8,55	8,56
$max [m/s]$	9,32	10,07	9,33	9,47	9,31	9,94	9,86	8,21	9,50	9,75
$\sigma [m/s]$	0,25	0,36	0,50	0,29	0,41	0,30	0,29	0,18	0,26	0,39

Faustball										
$v_r \text{ b}$	K 1	K 2	K 3	K 4	K 5	K 6	K 7	K 8	K 9	K 10
$\mu [m/s]$	8,18	9,20	8,70	8,30	8,68	9,36	9,51	7,72	9,02	9,43
$min [m/s]$	7,34	8,51	8,32	7,68	8,37	8,59	9,22	7,43	8,65	8,97
$max [m/s]$	9,01	9,86	8,99	8,99	9,07	9,93	10,02	8,19	9,62	10,23
$\sigma [m/s]$	0,57	0,47	0,21	0,34	0,25	0,36	0,26	0,24	0,29	0,35

Ringerpuppe										
$v_r \text{ r}$	K 1	K 2	K 3	K 4	K 5	K 6	K 7	K 8	K 9	K 10
$\mu [m/s]$	7,97	8,61	8,84	8,11	8,97	9,07	8,90	7,68	8,66	8,96
$min [m/s]$	7,82	7,88	8,46	7,63	8,60	8,65	8,29	7,34	8,10	8,39
$max [m/s]$	8,29	9,61	9,53	8,78	9,62	9,70	9,32	8,01	9,39	9,47
$\sigma [m/s]$	0,15	0,47	0,29	0,38	0,30	0,29	0,32	0,23	0,41	0,31

**Tabelle 5.9:** Schlaggeschwindigkeit im Raum der Kampfsportgruppe

Wie in Abbildung 5.3 und Tabelle 5.10 zu erkennen, liegen die Werte der maximalen Schlaggeschwindigkeit im Raum  $v_r$  der Kampfsportgruppe auf alle drei Schlagobjekte ebenso wie die der maximalen Schlaggeschwindigkeit in Schlagrichtung  $v_x$  niedriger als die der Referenzgruppe.

Marker			
$v_r$ <i>m</i>	RG	KG	ALL
$\mu$ [m/s]	9,28	8,99	9,15
<i>min</i> [m/s]	6,46	7,64	6,46
<i>max</i> [m/s]	11,91	10,07	11,91
$\sigma$ [m/s]	1,07	0,57	0,89

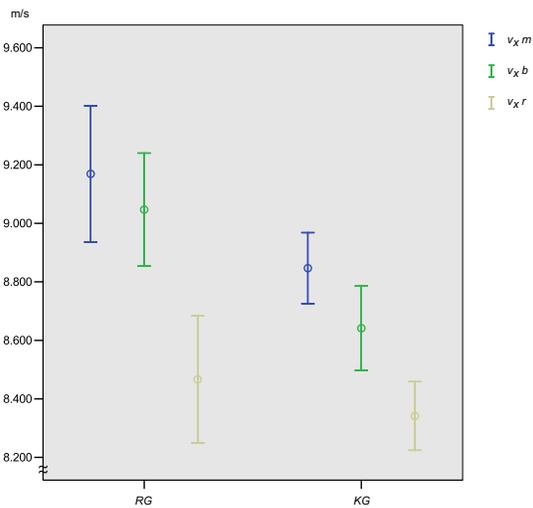
Faustball			
$v_r$ <i>b</i>	RG	KG	ALL
$\mu$ [m/s]	9,18	8,81	9,01
<i>min</i> [m/s]	5,94	7,34	5,94
<i>max</i> [m/s]	11,38	10,23	11,38
$\sigma$ [m/s]	1,01	0,66	0,89

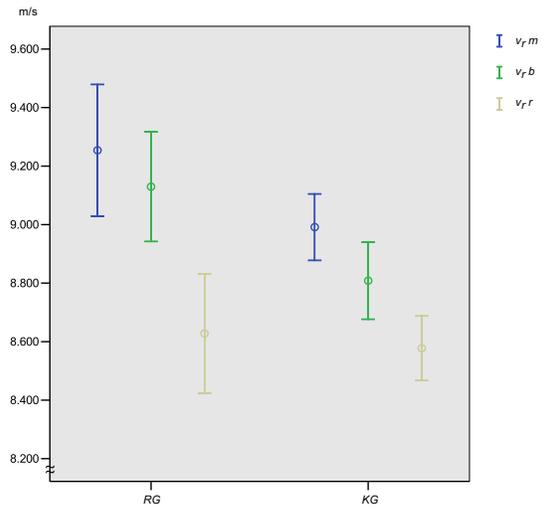
Ringerpuppe			
$v_r$ <i>r</i>	RG	KG	ALL
$\mu$ [m/s]	8,67	8,58	8,62
<i>min</i> [m/s]	5,95	7,34	5,95
<i>max</i> [m/s]	10,47	9,70	10,47
$\sigma$ [m/s]	0,96	0,56	0,77

**Tabelle 5.10:** Schlaggeschwindigkeit im Raum beider Gruppen

Zusammenfassend sind die maximalen Schlaggeschwindigkeiten vor Kontakt gemessen in Schlagrichtung  $v_x$  als auch im Raum  $v_r$  auf den Marker bei beiden Gruppen schneller als die auf den Faustball. Vergleicht man die Werte zwischen Faustball und Ringerpuppe, so sind die Schlaggeschwindigkeiten sowohl in Schlagrichtung  $v_x$  als auch im Raum  $v_r$  für die Ringerpuppe am langsamsten. Im Vergleich beider Gruppen schlagen die Kampfsportgruppe bei allen drei Schlagobjekten langsamer als die Referenzgruppe, siehe hierzu Abbildungen 5.2 und 5.3.



**Abbildung 5.2:** Schlaggeschwindigkeit in x-Richtung beider Gruppen



**Abbildung 5.3:** Schlaggeschwindigkeit im Raum beider Gruppen

## 5.4 Kraftmessung

Im folgendem Abschnitt werden die gewonnenen Daten von den Kraftmessplatten präsentiert. Die Ergebnisse der Bodenreaktionskraft in Schlagrichtung  $F_x$  sowie der Bodenreaktionskraft im Raum  $F_r$  werden dargelegt.

### 5.4.1 Bodenreaktionskraft in x-Richtung

Im folgenden werden die maximale Bodenreaktionskräfte in Schlagrichtung  $F_x$  vor Kontakt mit den einzelnen drei Schlagobjekten für die Probanden der Referenzgruppe, für die Probanden der Kampfsportgruppe und schliesslich für die Referenzgruppe gesamt sowie die Kampfsportgruppe und aller Versuchspersonen zusammen (weiterhin als *ALL* bezeichnet) dargelegt.

Die Tabelle 5.11 zeigt die maximale Bodenreaktionskraft in Schlagrichtung  $F_x$  vor Kontakt der Referenzgruppe mit den drei Schlagobjekten Marker, Faustball und Ringerpuppe. Hierbei liegen die Werte für den Schlag auf den Marker zwischen 2 *N* und 487 *N*, für den Schlag auf den Faustball zwischen 13 *N* und 415 *N* und für den Schlag auf die Ringerpuppe zwischen 2 *N* und 315 *N*.

Marker												
$F_x m$	R 1	R 2	R 3	R 4	R 5	R 6	R 7	R 8	R 9	R 10	R 11	R 12
$\mu [N]$	52	268	250	132	193	133	80	133	176	162	236	134
$min [N]$	6	202	224	21	58	84	3	55	149	127	117	2
$max [N]$	313	487	280	242	295	176	188	215	205	199	306	192
$\sigma [N]$	93	80	18	83	74	29	73	50	18	21	50	56

Faustball												
$F_x b$	R 1	R 2	R 3	R 4	R 5	R 6	R 7	R 8	R 9	R 10	R 11	R 12
$\mu [N]$	203	259	225	162	196	168	57	250	164	171	308	168
$min [N]$	27	210	177	92	91	114	13	60	131	141	178	137
$max [N]$	313	329	318	242	244	220	88	348	194	202	415	202
$\sigma [N]$	98	38	39	50	47	29	27	101	18	20	78	28

Ringerpuppe												
$F_x r$	R 1	R 2	R 3	R 4	R 5	R 6	R 7	R 8	R 9	R 10	R 11	R 12
$\mu [N]$	225	243	212	107	174	207	110	186	142	183	212	175
$min [N]$	14	199	2	77	30	120	30	133	113	132	154	21
$max [N]$	315	273	307	175	230	265	167	235	167	233	264	283
$\sigma [N]$	123	20	84	39	85	42	59	33	18	32	46	112

Tabelle 5.11: Bodenreaktionskraft in x-Richtung der Referenzgruppe

Die maximale Bodenreaktionskraft der Kampfsportgruppe lag für den Schlag auf den Marker im Bereich zwischen 58  $N$  und 794  $N$ , für den Schlag auf den Faustball zwischen 4  $N$  und 746  $N$  und für den Schlag auf die Ringerpuppe zwischen 11  $N$  und 1154  $N$ , siehe Tabelle 5.12.

Marker										
$F_x m$	K 1	K 2	K 3	K 4	K 5	K 6	K 7	K 8	K 9	K 10
$\mu [N]$	285	438	287	281	383	481	511	151	722	483
$min [N]$	146	201	58	184	180	434	444	118	629	453
$max [N]$	509	527	461	372	564	520	559	195	794	508
$\sigma [N]$	107	93	174	60	137	29	34	23	58	22

Faustball										
$F_x b$	K 1	K 2	K 3	K 4	K 5	K 6	K 7	K 8	K 9	K 10
$\mu [N]$	355	395	126	328	461	464	527	275	616	519
$min [N]$	245	252	4	213	232	407	473	178	475	471
$max [N]$	493	494	746	441	647	505	580	360	714	580
$\sigma [N]$	78	71	246	71	129	29	34	56	70	35

Ringerpuppe										
$F_x r$	K 1	K 2	K 3	K 4	K 5	K 6	K 7	K 8	K 9	K 10
$\mu [N]$	320	341	62	396	321	484	664	393	532	453
$min [N]$	179	60	11	312	132	437	539	343	197	213
$max [N]$	504	468	406	539	637	558	1154	434	902	571
$\sigma [N]$	107	116	122	60	152	37	177	30	208	122

**Tabelle 5.12:** Bodenreaktionskraft in x-Richtung der Kampfsportgruppe

Wie in der Abbildung 5.4 und der zugehörigen Tabelle 5.13 zu entnehmen, sind die Unterschiede im Vergleich der beiden Versuchsgruppen miteinander ausgeprägt. Im Vergleich zur Referenzgruppe erreichten die Kampfsportgruppe bei allen Schlagobjekten deutlich grössere Bodenreaktionskräfte in Schlagrichtung  $F_x$ .

Marker			
$F_x m$	RG	KG	ALL
$\mu [N]$	162	402	271
$min [N]$	2	58	2
$max [N]$	487	794	794
$\sigma [N]$	85	175	180

Faustball			
$F_x b$	RG	KG	ALL
$\mu [N]$	194	407	291
$min [N]$	13	4	4
$max [N]$	415	746	746
$\sigma [N]$	80	167	165

Ringerpuppe			
$F_x r$	RG	KG	ALL
$\mu [N]$	186	397	296
$min [N]$	2	11	2
$max [N]$	315	1154	1154
$\sigma [N]$	68	193	182

**Tabelle 5.13:** Bodenreaktionskraft in x-Richtung beider Gruppen

### 5.4.2 Bodenreaktionskraft im Raum

Die Bodenreaktionskraft im Raum  $F_r$  vor Kontakt mit jeweils einem der drei Schlagobjekte für die Probanden der Referenzgruppe, für die Versuchspersonen der Kampfsportgruppe und zuletzt für die Referenzgruppe gesamt, für die Kampfsportgruppe und für alle Probanden zusammen *ALL* zeigen die folgenden Tabellen 5.14, 5.15 und 5.16.

In der Tabelle 5.14 sind die maximalen Bodenreaktionskräfte im Raum  $F_r$  vor Kontakt mit dem Marker, dem Faustball und der Ringerpuppe für die Referenzgruppe aufgelistet. Die Werte für die Referenzgruppe bei dem Schlag auf den Marker lagen zwischen 2  $N$  und 1537  $N$ , bei dem Schlagversuch auf den Faustball zwischen 127  $N$  und 1686  $N$  und bei der Versuchsreihe auf die Ringerpuppe zwischen 3  $N$  und 1403  $N$ .

Marker												
$F_r m$	R 1	R 2	R 3	R 4	R 5	R 6	R 7	R 8	R 9	R 10	R 11	R 12
$\mu [N]$	891	572	461	395	436	550	348	643	294	200	987	260
$min [N]$	762	521	310	145	286	464	218	479	237	158	611	2
$max [N]$	1537	729	533	554	525	628	741	827	341	235	1527	398
$\sigma [N]$	228	61	68	142	78	52	149	120	36	24	317	107

Faustball												
$F_r b$	R 1	R 2	R 3	R 4	R 5	R 6	R 7	R 8	R 9	R 10	R 11	R 12
$\mu [N]$	1119	595	322	267	426	558	246	725	290	229	1107	396
$min [N]$	365	515	249	169	348	437	127	501	243	168	782	335
$max [N]$	1686	649	386	363	492	668	371	914	329	293	1571	478
$\sigma [N]$	476	47	43	64	47	81	84	112	33	38	231	47

Ringerpuppe												
$F_r r$	R 1	R 2	R 3	R 4	R 5	R 6	R 7	R 8	R 9	R 10	R 11	R 12
$\mu [N]$	551	650	330	191	393	583	408	1234	335	447	1267	532
$min [N]$	429	464	3	127	241	393	237	1110	276	199	1152	447
$max [N]$	871	791	457	277	596	699	608	1403	453	820	1378	682
$\sigma [N]$	181	112	131	55	148	79	151	101	64	248	84	90

**Tabelle 5.14:** Bodenreaktionskraft im Raum der Referenzgruppe

Die Maximalwerte der Bodenreaktionskraft im Raum  $F_r$  vor Kontakt der Kampfsportgruppe mit jeweils den drei Schlagobjekten werden in Tabelle 5.15 präsentiert. Hier erreichte die Kampfsportgruppe bei dem Schlag auf den Marker Werte zwischen 705  $N$  und 2174  $N$ , bei dem Schlag auf den Faustball Werte zwischen 830  $N$  und 2286  $N$ , sowie bei dem Schlag auf die Ringerpuppe Werte 763  $N$  zwischen 2273  $N$ .

Marker										
$F_r m$	K 1	K 2	K 3	K 4	K 5	K 6	K 7	K 8	K 9	K 10
$\mu [N]$	1303	1720	1410	1100	1494	1682	1710	797	2004	1607
$min [N]$	1053	1482	1270	941	856	1476	1589	705	1794	1551
$max [N]$	1787	1832	1526	1298	1988	1889	1812	1004	2174	1655
$\sigma [N]$	216	114	97	124	343	113	73	92	128	35

Faustball										
$F_r b$	K 1	K 2	K 3	K 4	K 5	K 6	K 7	K 8	K 9	K 10
$\mu [N]$	1399	1579	1256	1244	1529	1610	1752	1288	1820	1673
$min [N]$	1198	1357	830	984	1216	1503	1693	1024	1439	1573
$max [N]$	1612	1801	2286	1498	1801	1708	1876	1582	2100	1771
$\sigma [N]$	135	142	403	167	190	75	51	220	170	69

Ringerpuppe										
$F_r r$	K 1	K 2	K 3	K 4	K 5	K 6	K 7	K 8	K 9	K 10
$\mu [N]$	1365	1504	1285	1337	1160	1650	1969	1338	1680	1549
$min [N]$	1061	911	970	1200	763	1542	1778	1048	770	1071
$max [N]$	1719	1754	1799	1644	1758	1702	2242	1581	2273	1758
$\sigma [N]$	208	223	231	124	294	47	119	165	443	245

**Tabelle 5.15:** Bodenreaktionskraft im Raum der Kampfsportgruppe

Wie in der Abbildung 5.5 und der zugehörigen Tabelle 5.16 ersichtlich ist, sind die Maxima der Bodenreaktionskraft im Raum  $F_r$  vor Kontakt der Kampfsportgruppe für alle drei Schlagobjekte deutlich grösser als die entsprechenden Werte der Referenzgruppe.

Marker			
$F_r$ <i>m</i>	RG	KG	ALL
$\mu$ [N]	503	1483	951
<i>min</i> [N]	2	705	2
<i>max</i> [N]	1537	2174	2174
$\sigma$ [N]	269	364	580

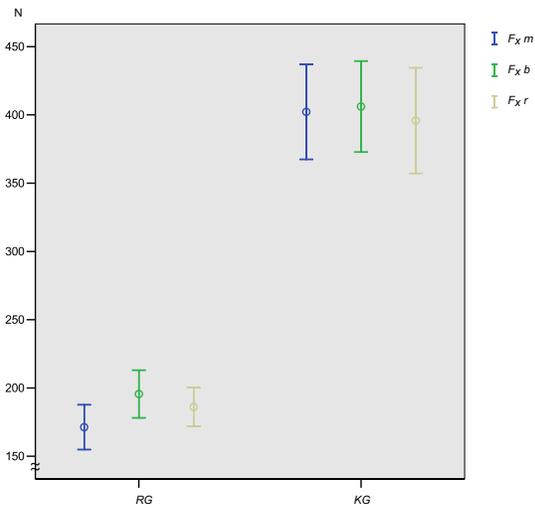
Faustball			
$F_r$ <i>b</i>	RG	KG	ALL
$\mu$ [N]	523	1515	977
<i>min</i> [N]	127	830	127
<i>max</i> [N]	1686	2286	2286
$\sigma$ [N]	341	268	582

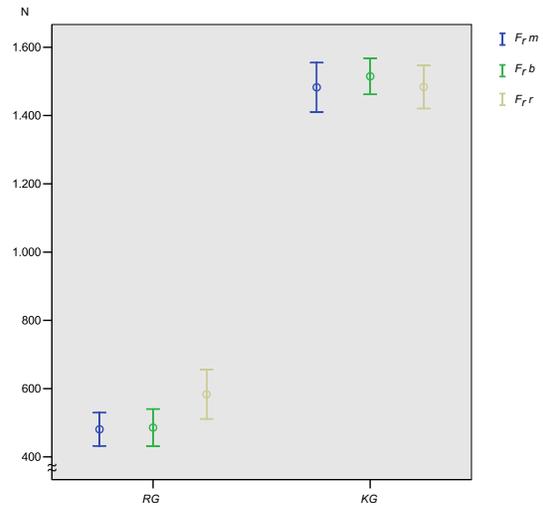
Ringerpuppe			
$F_r$ <i>r</i>	RG	KG	ALL
$\mu$ [N]	583	1484	1061
<i>min</i> [N]	3	763	3
<i>max</i> [N]	1403	2273	2273
$\sigma$ [N]	345	318	555

**Tabelle 5.16:** Bodenreaktionskraft im Raum beider Gruppen

Zusammenfassend sind für die maximalen Bodenreaktionskräfte vor Kontakt in Schlagrichtung  $F_x$ , als auch im Raum  $F_r$  bei allen drei Schlagobjekten - Marker, Faustball und Ringerpuppe - die Werte der Kampfsportgruppe deutlich höher als die der Referenzgruppe. Innerhalb der beiden Gruppen sind die Mittelwerte der maximalen Bodenreaktionskräfte vor Kontakt beim Schlag auf die einzelnen Schlagobjekte im Vergleich auf fast gleichem Niveau, siehe hierzu Abbildungen 5.4 und 5.5.



**Abbildung 5.4:** Bodenreaktionskraft in x-Richtung beider Gruppen



**Abbildung 5.5:** Bodenreaktionskraft im Raum beider Gruppen

## 5.5 Weiterführende Analysen

Zur Prüfung der Normalverteilung der untersuchten Parameter wurde der *Kolmogorov-Smirnov-Test* herangezogen. Für normalverteilte Daten wurden parametrische Tests verwendet, ansonsten nicht-parametrische Tests. Das Signifikanzniveau für alle statistischen Tests wurde auf  $\alpha = 0,05$  festgelegt, das Konfidenzintervall wurde mit 95% angegeben, in den folgenden Tabellen sind signifikante Ergebnisse fett dargestellt.

Es ist von Bedeutung zu klären, inwieweit es einen signifikanten Unterschied zwischen den Parametern in Schlagrichtung (x-Achse) und denen im Raum gibt. Sind die Geschwindigkeit und die Bodenreaktionskraft in Schlagrichtung mit der Geschwindigkeit bzw. Bodenreaktionskraft im Raum vom Betrag her gleich? Um diese Frage zu beantworten, wurden die Mittelwerte der kinematischen Parameter  $v_x$  und  $v_r$  für jeden Probanden für die drei Schlagobjekte mittels *paarigen zweiseitigen T-Tests* miteinander verglichen (siehe hierzu auch Kapitel 4.7.3). Der gleiche Test wurde für die dynamischen Parameter  $F_x$  und  $F_r$  herangezogen.

Alle Werte der kinematischen und dynamischen Parameter erfüllten die Voraussetzungen für den parametrischen Test, der *Kolmogorov-Smirnov-Test* zeigte keine Signifikanzen.

Es war ein signifikanter Unterschied zwischen der Schlaggeschwindigkeit in x-Richtung  $v_x$  und der im Raum  $v_r$  zu verzeichnen. Zwischen der Bodenreaktionskraft in x-Richtung  $F_x$  und der im Raum  $F_r$  liegt gleichermassen ein signifikanter Unterschied vor. Es besteht eine positive Korrelation mit hoher Signifikanz zwischen den kinematischen Parametern, die positive Korrelation zwischen den dynamischen Parametern liegt im Bereich von 0,80.

Für die weiteren statistischen Analysen in dieser Untersuchung wurden die Parameter in Schlagrichtung  $v_x$  und  $F_x$  untersucht und somit in der Hauptbewegungsrichtung betrachtet.

Schlagobjekt	Korrelation	
	$v_x$ & $v_r$	$F_x$ & $F_r$
$m$	<b>0,985</b>	<b>0,867</b>
$b$	<b>0,983</b>	<b>0,845</b>
$r$	<b>0,986</b>	<b>0,793</b>

(2-seitig,  $\alpha = 0,05$ )

**Tabelle 5.17:** paariger T-Test - Parameter in Schlagrichtung und im Raum

Es stellt sich die Frage, ob es einen signifikanten Unterschied zwischen den Gruppen von trainierten und nicht trainierten im Bezug auf deren Schlaggeschwindigkeit und deren Bodenreaktionskraft gibt. Hierzu wurden die Mittelwerte  $\mu$  der zehn Schläge pro Objekt in der Kampfsportgruppe *KG* und in der Referenzgruppe *RG* für die Schlaggeschwindigkeit in x-Richtung  $v_x$  sowie für die Bodenreaktionskraft in x-Richtung  $F_x$  verglichen.

Alle Werte erfüllten die Voraussetzung, normalverteilt zu sein, hierzu kam der *Kolmogorov-Smirnov-Test* zur Anwendung, welcher keine Signifikanzen ( $\alpha = 0,05$ ) zeigte.

Der *T-Test zweier unabhängiger Stichproben* (siehe hierzu auch Kapitel 4.7.3) bei einem Signifikanzniveau von  $\alpha = 0,05$  zeigte keinen signifikanten Unterschied zwischen den Mittelwerten des Parameters  $v_x$  beider Gruppen. Ein signifikanter Unterschied war zwischen den Mittelwerten des Parameters  $F_x$  beider Gruppen zu sehen, siehe hierzu Tabelle 5.18.

Schlagobjekt	T	
	$\mu v_x$	$\mu F_x$
<i>m</i>	0,835	<b>-4,732</b>
<i>b</i>	1,118	<b>-4,470</b>
<i>r</i>	0,341	<b>-4,456</b>

(2-seitig,  $\alpha = 0,05$ )

**Tabelle 5.18:** T-Test - trainierter/nicht-trainierter Probanden

Zur Beantwortung der Frage, in wie weit die Schlagarmlänge  $arm_r$  die Schlaggeschwindigkeit  $v_x$  beeinflusst, wurden bei nicht signifikantem Unterschied der Schlaggeschwindigkeit  $v_x$  zwischen den beiden Gruppen die Schlaggeschwindigkeit  $v_x$  mit der Schlagarmlänge  $arm_r$  aller Probanden mittels *Korrelationskoeffizient nach Bravais-Pearson* verglichen (siehe hierzu auch Kapitel 4.7.3).

In wie weit die Körpermasse  $m_k$  die Bodenreaktionskraft  $F_x$  beeinflusst, wurden bei signifikantem Unterschied der Bodenreaktionskraft  $F_x$  zwischen den beiden Gruppen die Bodenreaktionskraft  $F_x$  mit der Körpermasse  $m_k$  innerhalb der beiden Gruppen *RG* und *KG* mittels *Korrelationskoeffizient nach Bravais-Pearson* untersucht.

Die beiden Parameter  $arm_r$  und  $m_k$  zeigten im *Kolmogorov-Smirnov-Test* keine Signifikanzen, sie erfüllten damit die Voraussetzung normalverteilt zu sein.

Es zeigte sich ein linearer Zusammenhang zwischen der Schlagarmlänge  $arm_r$  und der Schlaggeschwindigkeit  $v_x$  für alle drei Schlagobjekte, die positive Korrelation ist jedoch nicht sehr stark ausgeprägt, siehe hierzu Tabelle 5.19. Hingegen besteht kein linearer Zusammenhang zwischen der Körpermasse  $m_k$  und der Bodenreaktionskraft  $F_x$  für beide getrennt betrachteten Gruppen, siehe Tabelle 5.20.

<i>ALL</i>		$\mu v_x$		
		<i>m</i>	<i>b</i>	<i>r</i>
$arm_r$	$K_p$	<b>0,522</b>	<b>0,539</b>	<b>0,483</b>
	Sig.	0,013	0,010	0,023

(2-seitig,  $\alpha = 0,05$ )

**Tabelle 5.19:** Bravais-Pearson-Korrelation - Schlagarmlänge/Handgeschwindigkeit

		$\mu F_x$		
		$m$	$b$	$r$
<i>RG</i>				
$m_k$	$K_p$	0,137	0,265	0,433
	Sig.	0,671	0,405	0,159
<i>KG</i>				
$m_k$	$K_p$	-0,100	-0,065	0,087
	Sig.	0,783	0,857	0,811

(2-seitig,  $\alpha = 0,05$ )

**Tabelle 5.20:** Bravais-Pearson-Korrelation - Körpermasse/Bodenreaktionskraft

Es ist von Bedeutung zu klären, in wieweit die subjektive Wahrnehmung eines Schlages mit den objektiv gemessenen Parametern übereinstimmt. Dies bezüglich wurden die Schlaggeschwindigkeit  $v_x$  und die Bodenreaktionskraft  $F_x$  jedes einzelnen Schlages jedes Probanden auf die drei Schlagobjekte mit der subjektiven „Wucht“-Einschätzung  $sub$  der einzelnen Schläge verglichen.

Auf Grund der Ordinalskaliertheit des Parameters  $sub$  muss ein nichtparametrischer Test zur Anwendung kommen. Zur Berechnung der Korrelation wurde der *Rangkorrelationskoeffizient nach Spearman-Rho* herangezogen, siehe hierzu Kapitel 4.7.3.

Es zeigte sich sowohl im Vergleich der subjektiven „Wucht“-Einschätzung  $sub$  mit der Schlaggeschwindigkeit  $v_x$  als auch mit der Bodenreaktionskraft  $F_x$  keine signifikante Korrelation nach Spearman-Rho, siehe hierzu Tabelle 5.21. Weder Schlaggeschwindigkeit  $v_x$  noch Bodenreaktionskraft  $F_x$  scheinen mit der subjektiven Wahrnehmung  $sub$  in einem linearen Zusammenhang zu stehen.

<i>sub</i>	<i>v<sub>x</sub></i>			<i>F<sub>x</sub></i>		
	Schlagobjekt			Schlagobjekt		
Proband	<i>m</i>	<i>b</i>	<i>r</i>	<i>m</i>	<i>b</i>	<i>r</i>
K 1	0,502	<b>0,659</b>	-0,105	0,446	-0,558	0,264
K 2	0,632	-0,389	0,000	0,171	-0,570	-0,426
K 3	0,303	-0,298	0,195	0,303	-0,291	0,277
K 4	<b>-0,750</b>	-0,019	0,791	-0,065	0,195	0,580
K 5	0,101	0,091	-0,224	-0,181	0,046	-0,224
K 6	0,229	0,273	<b>0,640</b>	0,505	<b>0,763</b>	0,142
K 7	-0,253	0,610	0,000	-0,389	-0,359	0,000
K 8	0,450	0,603	-0,508	-0,163	0,027	-0,111
K 9	0,374	-0,494	0,467	0,085	-0,031	0,091
K 10	<b>0,684</b>	0,298	0,216	0,632	0,571	0,400
K 11	0,472	0,254	-0,224	0,232	0,331	0,335
K 12	0,400	0,200	-0,224	-0,242	0,317	-0,224
R 1	-0,039	0,497	-0,145	<b>0,658</b>	0,497	<b>-0,921</b>
R 2	0,032	-0,142	<b>0,729</b>	0,166	0,142	-0,007
R 3	0,385	<b>0,744</b>	0,266	0,110	-0,342	<b>-0,798</b>
R 4	<b>0,693</b>	-0,174	0,586	-0,193	0,000	0,132
R 5	0,311	0,418	-0,342	-0,156	<b>0,646</b>	-0,418
R 6	0,447	0,230	0,241	0,006	0,362	<b>-0,905</b>
R 7	0,269	0,354	0,250	0,111	-0,416	0,187
R 8	0,100	0,501	-0,274	0,181	0,280	0,486
R 9	0,169	-0,295	-0,447	0,020	-0,127	0,217
R 10	0,409	-0,174	-0,406	-0,241	-0,348	0,174

(2-seitig,  $\alpha = 0,05$ )

**Tabelle 5.21:** Spearman-Rho-Korrelation - Subjektivität/Schlaggeschwindigkeit u. Bodenreaktionskraft

Es stellt sich die Frage, in wieweit die Parameter der Schlagobjekte die kinematischen und dynamischen Schlagparameter beeinflussen. Zur Beantwortung dieser Frage wurden die Mittelwerte  $\mu$  der Schlaggeschwindigkeit  $v_x$  sowie der Bodenreaktionskraft  $F_x$  jedes Probanden getrennt in die beiden Gruppen *RG* und *KG* und als Gesamtgruppe *ALL* jeweils in Bezug auf zwei der drei Schlagobjekte mit dem *paarigen T-Test* verglichen.

Die Mittelwerte  $\mu$  der Schlaggeschwindigkeit  $v_x$  sowie der Bodenreaktionskraft  $F_x$  jedes Probanden auf die drei Schlagobjekte erfüllten die Voraussetzung normalverteilt zu sein, da sie keine Signifikanzen im *Kolmogorov-Smirnov-Test* zeigten.

Unabhängig von der Gruppeneinteilung besteht ein Unterschied zwischen dem Marker und der Ringerpuppe sowie zwischen Faustball und Ringerpuppe im Bezug auf die Schlaggeschwindigkeit  $v_x$ , hingegen gibt es keinen signifikanten Unterschied zwischen Marker und Faustball. Im Vergleich der Schlagobjekte gibt es keinen signifikanten Unterschied der Bodenreaktionskraft  $F_x$  unabhängig von der Gruppeneinteilung, siehe hierzu Tabelle 5.22.

$v_x$	$T$		
Schlagobjekt	<i>KG</i>	<i>RG</i>	<i>ALL</i>
<i>m &amp; b</i>	0,695	1,784	1,583
<i>m &amp; r</i>	<b>7,384</b>	<b>3,624</b>	<b>7,411</b>
<i>b &amp; r</i>	<b>6,908</b>	<b>3,310</b>	<b>6,709</b>
$F_x$	$T$		
Schlagobjekt	<i>KG</i>	<i>RG</i>	<i>ALL</i>
<i>m &amp; b</i>	-1,278	-0,139	-0,939
<i>m &amp; r</i>	-1,131	0,134	-0,353
<i>b &amp; r</i>	0,259	0,352	0,448

(2-seitig,  $\alpha = 0,05$ )

**Tabelle 5.22:** paariger zweiseitiger T-Test - Schlaggeschwindigkeit u. Bodenreaktionskraft/Schlagobjekte



# Kapitel 6

## Diskussion

### 6.1 Material und Methode

Auf Grund des breiten Spektrums an Untersuchungsmethoden zur Bestimmung von biomechanischen Bewegungsabläufen und Interaktionen ist zunächst eine Unterteilung der verschiedenen Untersuchungsmöglichkeiten zu nennen und in Anbetracht dieser Studie zu diskutieren.

Zum Teil ist die Messung von biomechanischen Parametern direkt, also am Ort der Kontaktinteraktion, durch geeignete Messwerkzeuge durchführbar, wie z.B. die direkte Kraftübertragung bei Kontakt der Schlaghand mit der Auftrefffläche, andere Parameter sind nur indirekt durch Zuhilfenahme von Hilfsgrößen messbar, hier spielen vor allem die Interaktionen der kinematischen Kette in sich und in Zusammenspiel mit der Umwelt eine entscheidende Rolle. Oft können auf Grund von ethisch-moralischen Gründen die biomechanischen Parametern nur indirekt bestimmt werden. Als Beispiele wären hier die inneren Kräfte an Gelenken zu nennen, die am besten durch intraartikuläre Kraftabnehmer zu bestimmen wären. Dies bedarf jedoch zuvor einer chirurgischen Implantation des Messwerkzeuges, welche der Unversehrtheit des Individuums im Gegensatz zum wissenschaftlichen Nutzen und gesellschaftlichen Interesse entgegensteht. Des Weiteren wäre die oben bereits erwähnte direkte Kraftübertragung und deren Messung zu nennen, wobei hier ebenfalls die Verletzungsgefahr eine praktische Umsetzung sehr schwierig macht. Als einfachstes Beispiel wäre hier der Fauchschlag direkt auf eine Kraftmessplatte zu nennen.

Prinzipiell sind die direkten den indirekten Untersuchungsmethoden vorzuziehen, um möglichst eine genaue bzw. exakte Analyse des Schlagvorganges bzw. -kontaktes zu erzielen und deren kinematischen und dynamischen Eigenschaften bzw. Parameter bestimmen zu können. Die optische Bewegungsanalyse und die Bodenreaktionskraftmessung mittels Kraftmessplatten sind jedoch in der Biomechanik Standardverfahren, die einfach und kostengünstig zu realisieren sind und dies bezüglich eine Möglichkeit darstellen, den Fauchschlag und dessen Einflussgrößen qualitativ und quantitativ zu beschreiben. Sicherlich hängt auch das Zunutzemachen der einzelnen Werkzeuge sekundär von dem aus dem La-

bor zu Verfügung stehenden technischen Inventars ab.

Für diese Studie standen als Untersuchungsmittel ein Bewegungsanalyzesystem sowie Kraftmessplatten zur Verfügung. Auf Grund der vorhandenen technischen Mittel wurden direkte kinematische und indirekte dynamische Parameter erhoben, analysiert und ausgewertet und sollen im Folgenden diskutiert werden.

### **Bewegungsanalyzesystem**

Auf Grund der zeitlichen Bildauflösung des Bewegungsanalyzesystems von maximal 240  $Hz$  ist eine direkte Aussage über den Schlagkontakt der Faust mit einer Auftrefffläche nicht möglich. Hierfür hätte eine zeitliche Bildauflösung von mindestens 1000  $Hz$  bei einer Kontaktdauer der Faust mit dem Schlagobjekt von circa 50  $ms$  erreicht werden müssen.

Als weiterer Kritikpunkt des hier verwendeten optischen Bewegungsanalyzesystems wäre generell die Markieranbringung auf der Haut zu nennen. Diese kann theoretisch ein Nachschwingen der Marker auf der Haut bewirken, was zu einer Verfälschung der zeitlichen Markerposition bzw.-bewegung zur Folge hat. Unter praktischen Bedingungen kann dieses Phänomen jedoch in Anbetracht der zu untersuchenden Bewegungen und den minimalen Schwingungsauslenkungen der Marker bei guter Adhäsion auf der Haut als vernachlässigbar gewertet werden.

Ein weiteres Problem ist die Möglichkeit, dass Marker durch die Bewegungen des Körpers selbst verdeckt werden können. Die Verwendung von acht Kameras in diesem Setup konnte dies grössten Teils verhindern. Hinundwieder mussten jedoch Aufnahmesequenzen auf Grund von Unvollständigkeit der Datensätze verworfen werden.

### **Bodenreaktionskraftmessung**

Wie bereits erwähnt stellt das Messverfahrens der Bodenreaktionskraft nur eine indirekte Messmethode für die Schlaginteraktion dar. Auf Grund der zwischengeschalteten kinematischen Kette „Mensch“ kann über die direkte Kraftübertragung zwischen Faust und Schlagobjekt keine direkte Aussage getroffen werden. Letztendlich konnte die Stossmasse und der Impuls bedingt durch den Versuchsaufbau nicht ermittelt werden. Bevor der Körper mit dem Schlagobjekt interagiert, muss er mit dem Untergrund eine Wechselwirkung eingehen, dies bezüglich lassen sich indirekt Aussagen über die um den gesamten Körper zu beschleunigen aufgewandte Kraft machen.

### **Versuchsordnung**

Zu der Versuchsordnung kann man bemerken, dass realitätsnahe bzw. -treue Bedingungen bedingt durch Verletzungsvermeidung und Fehlen von Affektstimmung nicht realisierbar waren. Eine Abschätzung auf realistische Auseinandersetzung mittels Fautschläge ist

somit nur bedingt möglich. Es dürften sicherlich gehäuft Affektsteigerungen eine entscheidende Rolle bei körperlichen Auseinandersetzungen spielen, vor allem unter Alkohol- oder Drogeneinfluss, wie aus den Studien von (Bostroem, 1997) und (Eppendorf, 2000) ersichtlich ist. Es kann jedoch davon ausgegangen werden, dass die hier ermittelten Daten und Aussagen unter Grundkraftbedingungen die untere Grenze der maximal möglichen Gewalt darstellen und somit eine gewisse Aussagekraft durchaus vorhanden ist. Um die Realität genauer widerspiegeln zu können, wäre als nächster Schritt die Untersuchung von sportlichen Wettkämpfen sicherlich zu nennen, da hier mit Überschreitungen der Grundkraft durch wettkampfbedingter Affektsteigerung zu rechnen ist. Des Weiteren ist der Schlag auf die gewählten Gegenstände nicht repräsentativ für den Schlag auf ein menschliches Individuum, hier sollten menschenähnliche Dummies, wie z.B. in der Studie von (Walilko et al., 2005), als Schlagobjekt in Zukunft ihren Einsatz finden. Bei der Ringerpuppe handelte es sich jedoch um ein Objekt, das der Masse und Größe nach einem Menschen bereits relativ ähnlich stand. In der Zukunft werden sicherlich auch Simulationsmodelle eine Rolle spielen.

### Statistik

Betrachtet man diese Untersuchung unter statistischen Gesichtspunkten, so ist zweifelsohne die Fallzahl der beiden Versuchsgruppen für eine statistisch signifikante Aussage zu gering.

Im Vergleich mit den Studien aus den bekannten Voruntersuchungen (siehe Kapitel 2.5) ist jedoch zu sagen, dass die Zahl der untersuchten Probanden mit der Studie von (Smith et al., 2000) die beiden grössten untersuchten Gruppen aus der Literatur darstellten. Die Anzahl der Probanden ist aus statistischen Gesichtspunkten relativ gering, jedoch war durch Kosten- und Zeitgründen die Anzahl der teilnehmenden Probanden limitiert. Zusammenfassend ist die Anzahl der untersuchten Probanden für den Zweck einer Pilotstudie durchaus ausreichend, jedoch für die Grundgesamtheit nicht repräsentativ. Es sind somit keine Rückschlüsse auf die Population zulässig. Auf Grund der Probandenzugehörigkeit zu den am häufigsten als Täter in Frage kommenden Personen, was das Alter und das Geschlecht anbelangt, können mit dieser Studie gewisse Tendenzen im Sinne von ersten wissenschaftlichen Gehversuchen in dieser Richtung unter forensisch-biomechanischen Gesichtspunkten aufgezeigt werden.

## 6.2 Methodische Grundüberlegungen

Es ist hypothetisch nicht zu erwarten, dass eine Schlagbewegung zu hundert Prozent in der vordefinierten Hauptbewegungsrichtung erfolgt, somit müssen sich die Schlaggeschwindigkeiten in x-Richtung und im Raum voneinander unterscheiden. Hierbei gilt, dass die Schlaggeschwindigkeit in x-Richtung  $v_x$  immer kleiner als die Schlaggeschwindigkeit im Raum  $v_r$  ist. Die einzelnen Werte sind aus den Tabellen in dem Kapitel 5.3 zu entnehmen.

Der tatsächliche Unterschied zwischen der Schlaggeschwindigkeit in x-Richtung  $v_x$  und der im Raum  $v_r$  erreicht ungefähr 1% der absoluten Werte. Dies liegt im Bereich der Messgenauigkeit bzw. des Messfehlers und kann auch auf Grund des wie in den Abbildungen 5.2 und 5.3 grafisch dargestellten gleichbleibenden Unterschiedes zwischen den Schlägen auf die einzelnen Schlagobjekte vernachlässigt werden. Der Unterschied zwischen der Schlaggeschwindigkeit in x-Richtung  $v_x$  und der im Raum  $v_r$  weist interindividuell in der Referenzgruppe sowie in der Kampfsportgruppe keine grossen Schwankungen auf. Auf Grund dieser Überlegungen und der hochsignifikanten positiven Korrelation der beiden Parameter (siehe Tabelle 5.17) kann auf die Schlaggeschwindigkeit im Raum  $v_r$  verzichtet werden.

Betrachtet man die Bodenreaktionskräfte, so lässt sich auf Grund der Summation von den drei Teilkraften aus den drei Raumrichtungen x, y und z festhalten, dass die Bodenreaktionskraft in x-Richtung  $F_x$  immer kleiner als die Bodenreaktionskraft im Raum  $F_r$  sein muss. Im Vergleich zur kinematischen Betrachtung handelt es sich beim Schlagen aus dynamischer Sicht um ein weit komplexeres Ereignis. Hierbei spiegelt die Bodenreaktionskraft die Interaktion zwischen den Füßen des Schlagenden und dem Untergrund wieder. Sie dient als indirektes Mass für die durch die biomechanische Kette Mensch bedingte Kraftentwicklung bei der Schlagbewegung. Dabei ist zu beachten, dass die Schlagbewegung auf Grund der menschlichen Anatomie und der Schlagabfolge exzentrisch ist. Die an sich geradlinige Bewegung der schlagenden Faust ergibt sich aus nicht symmetrischen, nicht geradlinigen Bewegungen mehrerer Körpersegmente. Hierbei kommt es zu einer Verlagerung des Körperschwerpunktes, wobei die Körpermasse in die Bodenreaktionskraft vor allem in z-Richtung mit einem grossen Anteil einfliesst. Auf Grund der exzentrischen Bewegung in der horizontalen Ebene um den Projektionspunkt des Masseschwerpunktes kommt es zu einer gewissen Drehbewegung, die sich in einem Drehmoment um die z-Achse widerspiegelt. Vergleicht man die Bodenreaktionskraft in x-Richtung  $F_x$  mit der im Raum  $F_r$  ist aus diesen geraden genannten Gründen mit einem nicht so deutlichen linearen Zusammenhang zu rechnen.

Es zeigt sich trotz der genannten Punkte eine positive Korrelation der Bodenreaktionskraft in x-Richtung mit der Bodenreaktionskraft im Raum, siehe Tabelle 5.17. Betrachtet man die Graphen der Bodenreaktionskraft in x-Richtung  $F_x$  und der im Raum  $F_r$  in den Abbildungen 5.4 und 5.5, zeigen sich die Unterschiede zwischen den Schlägen auf die drei Schlagobjekte im Vergleich der beiden Bodenreaktionskräfte als gleichbleibend. Somit kann man im Falle der Bodenreaktionskräfte gleichermassen wie bei den Schlaggeschwindigkeiten die Bodenreaktionskraft in x-Richtung als ausreichend aussagekräftig werten.

Für zukünftige Untersuchungen bei geradlinigen Bewegungen der oberen Extremität kann man auf die Bestimmung der Parameter im Raum aus Vereinfachungsgründen verzichten, es ist ausreichend die Parameter in Hauptbewegungsrichtung zu erfassen. Dies wurde in der Untersuchung von (Walilko et al., 2005) für Beschleunigungsmessungen der Faust bzw. Hand bei geraden Faustschlägen bestätigt.

## 6.3 Anthropometrie

Die untersuchten 22 Probanden wurden in zwei Gruppen nach dem Merkmal Kampfsportferfahrung eingeteilt (siehe hierzu Kapitel 4.3), wobei 10 Probanden die Kampfsportgruppe und 12 Versuchspersonen die Referenzgruppe bildeten. Im Vergleich mit der Tätergruppe aus der Polizeilichen Kriminalstatistik aus dem Berichtsjahr 2006 war die Gruppe aller 22 Probanden mit einem mittleren Alter von 26,3 Jahren mit einer Standardabweichung von 6,2 Jahren in der Gruppe der Erwachsenen (21 u. älter), die 69,5% der Täter von Körperverletzung insgesamt ausmachten. Die Probanden waren alle männlichen Geschlechts und somit in der Gruppe der männlichen Täter von Körperverletzungen insgesamt mit 83,8% (Bundeskriminalamt, 2007).

Hinsichtlich der Anthropometrie im Vergleich der Körperlänge, Körpermasse sowie der Oberarm- und Unterarmlänge des Schlagarmes sind die Daten der Probanden in den Bereichen der zur Verfügung gestandenen anthropometrisch-statistischen Daten aus (NASA, 1978) angesiedelt. Die 22 Probanden lagen mit einem mittleren Körperlänge von 178 cm und einer Standardabweichung von 5,6 cm im Bereich der Vergleichsdaten mit einer mittleren Körperlänge von 177,4 cm und einer Standardabweichung von 6,2 cm. Die Körpermasse war ebenso mit einem Mittelwert von 75,7 kg und einer Standardabweichung von 9,6 kg im Bereich des Mittelwertes von 78,7 kg mit einer Standardabweichung von 9,7 kg im Bezug auf die vorhandenen Vergleichsdaten.

Die anthropometrischen Daten der oberen Extremität der Probanden lagen ebenfalls mit einer mittleren Oberarmlänge des Schlagarmes von 35,1 cm und einer Standardabweichung von 3,6 cm sowie mit einer mittleren Unterarmlänge des Schlagarmes von 26,7 cm und einer Standardabweichung von 1,8 cm im Bereich der Vergleichsdaten (NASA, 1978). Hierbei ist anzumerken, dass die Unterarmlänge in der Literatur nicht direkt gemessen wurde und somit die Unterarmlänge aus der Differenz von Oberarmlänge und Unterarm/Hand-Länge errechnet wurde. Die mittlere Oberarmlänge wurde mit 36,0 cm und einer Standardabweichung von 1,7 cm angegeben, die mittlere Unterarmlänge betrug 28,9 cm.

Das gleiche gilt im Vergleich mit den anthropometrischen Daten des Deutsches Institutes für Normung (Ergonomie, 2005).

Es wäre anzunehmen, dass man mit längerem Arm schneller schlägt, da die Gliedmasenlänge die Wegstrecke der zu beschleunigenden Faust positiv beeinflussen müsste. Die Bravais-Pearson-Korrelation (siehe Kapitel 5.5) zwischen der Schlagarmlänge  $arm_r$  und der Handgeschwindigkeit in Schlagrichtung  $\mu v_x$  zeigt einen schwachen linearen Zusammenhang. Die Armlänge spielt eine gewisse Rolle, jedoch muss es andere Faktoren geben, die signifikant die Schlagparameter beeinflussen. Eine mögliche Erklärung für diese schwa-

che Korrelation könnte darin bestehen, dass für die Optimierung der Schlagqualität die Maximierung der Schlaggeschwindigkeit nicht zielführend zu sein scheint.

Laut den Untersuchungen von (Viano et al., 2005) ist die übertragene Schlagmasse entscheidend für die „Schlagwucht“. Es wäre anzunehmen, dass die Körpermasse des Schlagenden die Bodenreaktionskraft in Schlagrichtung  $F_x$  als indirekt repräsentatives Korrelat für die Schlagmasse beeinflusst. Es zeigt sich für die beiden Gruppen getrennt keine signifikante Korrelation nach Bravais-Pearson. Somit kann davon ausgegangen werden, dass es keinen linearen Zusammenhang zwischen der Körpermasse des Schlagenden und der Bodenreaktionskraft gibt.

Des Weiteren kann somit postuliert werden, dass die Körpermasse des Schlagenden nicht entscheidend für die übertragene Schlagmasse ist, sondern die Technik einen entscheidenden Einfluss auf die übertragene Schlagmasse haben muss. Dies steht im Einklang mit den Feststellungen von (Smith et al., 2000), dass die Schlagkraft abhängig von der Erfahrung des Schlagenden ist.

Zusammenfassend kann somit angenommen werden, dass die körperlichen Merkmale eines Schlagenden keinen entscheidenden Einfluss auf den Faustschlag haben, sondern vielmehr die Technik und die Erfahrung eine signifikante Rolle spielen müssen. Mit einer hohen Wahrscheinlichkeit ist anzunehmen, dass eine relativ hohe Schlaggeschwindigkeit zu erzielen ist, jedoch die zu übertragende Schlagmasse bzw. -kraft als entscheidend gilt.

## 6.4 Subjektive „Wucht“-Einschätzung

In der Versuchsphase wurden die einzelnen Probanden nach ihrer subjektiven „Wucht“-Einschätzung nach jedem erfolgten Schlag befragt. Hierbei war zu beobachten, dass die subjektive „Wucht“-Einschätzung der Referenzgruppe mit der Grössen- bzw. Massenzunahme des Schlagobjektes wuchs. Eine mögliche Erklärung für dieses Phänomen könnte sein, dass für die Referenzgruppe bei der subjektiven Beurteilung der „Widerstand“ beim Auftreffen auf das Schlagobjekt eine grosse Rolle spielt. Die in Abbildung 5.1 dargestellte Knickbildung (die subjektiv wahrgenommene „Wucht“ erreicht die maximalen Werte beim Schlag auf den Ball, gefolgt vom Schlag auf den Marker und zuletzt vom Schlag auf der Ringerpuppe) bei der Kampfsportgruppe lässt sich möglicherweise dadurch erklären, dass der Faustball mit seiner äusseren Geometrie sehr gut als Schlagobjekt geeignet ist, wobei zu beachten ist, dass die Unterschiede sehr gering sind. Die Standardabweichung der subjektiven „Wucht“-Einschätzung im Vergleich beider Gruppen zeigt tendenziell eine geringere Streuung der Kampfsportgruppe bei allen drei Schlagobjekten, dies könnte auf deren Schlagerfahrung zurückzuführen sein.

Die Ergebnisse der statistischen Auswertung zeigen, dass es keinen klaren linearen Zu-

sammenhang zwischen den objektiven ausgewerteten Schlagparametern und der subjektiven Einschätzung der Schlagqualität gibt; dies gilt unabhängig von Objektart wie Masse, Grösse oder Erscheinung. Hierbei spielt der Trainingsgrad der schlagenden Person offenbar keine Rolle. Es kann postuliert werden, dass man unabhängig, ob man gewohnt ist zu schlagen, einen Schlag subjektiv nicht bezüglich der hier gemessenen objektiven Schlagqualität einschätzen kann. Hierbei wäre zu erwähnen, dass durchaus relativ starke negative Korrelationen zwischen Subjektivität und der Schlaggeschwindigkeit sowie Bodenreaktionskraft zu beobachten waren. Einschränkung dieser Aussage ist, dass in dieser Studie nur zwei objektive Parameter untersucht wurden. Es muss andere Einflussgrössen der subjektiven „Wucht“-Einschätzung geben. Hier wären als mögliche Einflussgrösse der subjektiven „Wucht“-Einschätzung die visuelle Wahrnehmung, Druckempfindung der Hand bzw. generell die taktile Wahrnehmung in Kombination mit der Tiefensensibilität (Propriozeption) zu nennen, dies bezüglich wären Untersuchungen in dieser Richtung anzustreben. Bezüglich der für die subjektive Wahrnehmung der Schlagqualität relevanten Parameter sind dem Autor keine Daten aus der relevanten Fachliteratur bekannt.

Im Vergleich mit der Untersuchung von (Kaatsch et al., 1994) konnte die Aussage, dass die subjektive „Wucht“-Einschätzung mit den objektiven Parametern in Beziehung steht, nicht bestätigt werden. Hierbei ist anzumerken, dass die Kontaktgeschwindigkeit und nicht die vor Kontakt maximale Geschwindigkeit betrachtet wurde, auch wenn Stich- und Schlagvorgänge generell vergleichbare Bewegungen darstellen.

Für die Praxis kann bis jetzt festgehalten werden, dass die Aussagen eines Schlagenden über die Schlaqualität in Kenntnis dieser Studie aktuell nicht verwertbar sind, da die Wahrnehmung des Schlagenden nicht mit den gemessenen objektiven Parametern im Einklang steht.

## 6.5 Kinematische und dynamische Parameter

Auf Grund der Überlegungen in Kapitel 6.2 werden in diesem Abschnitt die kinematischen und dynamischen Parameter in x-Richtung diskutiert.

### 6.5.1 Schlaggeschwindigkeit

Betrachtet man die einzelnen Schläge jedes einzelnen Probanden auf die drei einzelnen Schlagobjekte und dessen Streubreite, zeigte sich im zeitlichen Verlauf bei zehn Schlägen keine Verbesserungstendenz im Sinne von Zunahme der Schlaggeschwindigkeit als Lern- bzw. Trainingseffekt; diese Beobachtungen gelten für alle Probanden.

Im Bezug auf die intraindividuellen Unterschiede der Schläge im Vergleich der drei Schlagobjekte zeigt sich bei dem grössten Teil der Probanden beider Gruppen eine Abnahme der mittleren Schlaggeschwindigkeit mit der Zunahme der Masse und Grösse des Schlagobjek-

tes. Bei den übrigen Probanden ist die mittlere Schlaggeschwindigkeit auf den Faustball am grössten, gefolgt von der mittleren Schlaggeschwindigkeit auf dem Marker und zuletzt auf die Ringerpuppe. Zwei Probanden zeigen fast konstante mittlere Schlaggeschwindigkeiten und ein Proband zeigt zunehmende mittlere Schlaggeschwindigkeiten im Kontrast zu den meisten Probanden. Diese Beobachtung lässt sich möglicherweise auf die Affekthemmung zurückführen. Eine weitere Erklärungsmöglichkeit könnte sein, dass, um den Marker und den Faustball bei kleinen Massen zu bewegen, einfach eine hohe Faustgeschwindigkeit ausreicht, hingegen, um die Ringerpuppe zu bewegen, zur Schlaggeschwindigkeit deutlich mehr Schlagmasse notwendig ist.

Vergleicht man die Schlaggeschwindigkeiten beider Gruppen untereinander, so zeigt sich, dass die Kampfsportgruppe bei allen drei Schlagobjekten signifikant langsamer mit einer wesentlich kleineren Streubreite schlug. Dies ist wahrscheinlich auf die Erfahrung der Kampfsportgruppe und deren Ziel nicht die Schlaggeschwindigkeit zu maximieren, sondern die Impulsübertragung bedingt durch die Stossmasse, im Gegensatz zu der intuitiven, nicht durch Erfahrungen geprägten Ausführung der Referenzgruppe, die Schlaggeschwindigkeit zu maximieren, was in der grösseren Schlaggeschwindigkeit in Verbindung mit einer grossen Streubreite der Referenzgruppe zu sehen ist. Eine kleinere Streubreite der Schlaggeschwindigkeit der Kampfsportgruppe dürfte auch Ausdruck für deren „Erfahrung im Schlagen“ sein, beruhend am wahrscheinlichsten auf eine grössere Routine bedingt durch deren Training.

Im Vergleich mit den Voruntersuchungen können folgende Feststellungen gemacht werden:

Die Schlaggeschwindigkeit in der Studie von (Whiting et al., 1988) erreichte vergleichbar mit dieser Studie im zeitlichen Verlauf kurz vor Kontakt mit dem Schlagobjekt das Maximum. Die Werte bei geraden Schlägen ohne Boxhandschuh lagen im Bereich der Werte der Kampfsportgruppe beim Schlag auf die Ringerpuppe, welche ähnliche Eigenschaften wie der dort verwendete Übungsboxsack hatte. Betrachtet man die maximalen Handgeschwindigkeiten aus den entsprechenden Voruntersuchungen, siehe hierzu Tabelle 2.9, so ist festzuhalten, dass die hier gemessenen maximalen Schlaggeschwindigkeiten in den Bereichen der Voruntersuchungen lagen.

Wie zu erwarten war, besteht keine Korrelation zwischen der maximalen Handgeschwindigkeit und der Körpermasse, dies wurde in der Studie von (Walilko et al., 2005) bestätigt. Die in deren Untersuchung ermittelte Kontaktf Faustgeschwindigkeit stand in keiner Abhängigkeit der Körpermasse bzw. Gewichtsklasse. Es wird hiermit ebenfalls deutlich, dass die Faustgeschwindigkeit kein Kriterium der Schlagoptimierung darstellt, sondern eher als Grundvoraussetzung bzw. Basis für weitere, die „Schlagwucht“ entscheidend beeinflussende, Parameter fungiert.

### 6.5.2 Bodenreaktionskraft

Vergleicht man die Bodenreaktionskraft in x-Richtung in Bezug auf die drei Schlagobjekte, so sind die Werte beim Schlag auf den Faustball am grössten, gefolgt vom Schlag auf den Marker und zuletzt vom Schlag auf die Ringerpuppe bei nur minimalem Unterschied. Die Beobachtung gilt für die Kampfsportgruppe wie gleichermassen für die Referenzgruppe, wobei die Werte der Kampfsportgruppe im Mittel doppelt so hoch sind. Zu beachten ist die grosse Streubreite der Kampfsportgruppe im Vergleich mit der Referenzgruppe. Eine mögliche Erklärung hierfür könnte der vermehrte Körpereinsatz der Kampfsportgruppe und somit die vermehrte Kraftübertragung über die Füße sein.

Betrachtet man die intraindividuellen Unterschiede der Bodenreaktionskraft in x-Richtung auf die drei Schlagobjekte in Abhängigkeit der Schlagobjektmerkmale untereinander, so zeigen sich im Gegensatz zur Schlaggeschwindigkeit in x-Richtung für alle Probanden keine charakteristischen Unterschiede unabhängig von den Gruppenzugehörigkeit. Es sind keine Regelmässigkeiten erkennbar im Sinne von Zunahme oder Abnahme der Bodenreaktionskraft abhängig von dem Schlagobjekt.

Umgekehrt als bei der Schlaggeschwindigkeit in x-Richtung liegen die Werte der Bodenreaktionskraft in x-Richtung der Kampfsportgruppe höher als die der Referenzgruppe. Eine Erklärung dafür könnte die intuitive, nicht durch Erfahrungen geprägte Versuch der Referenzgruppe sein, die Geschwindigkeit zu maximieren. Erfahrene und somit die Kampfsportgruppe steigern bei fast konstanter Geschwindigkeit die Bodenreaktionskraft, wodurch deren Streubreite begründet sein könnte.

Vergleiche mit Voruntersuchungen sind nur eingeschränkt möglich, da in diesen Studien die Schlagkraft direkt beim Kontakt der Faust auf die Auftrefffläche bzw. auf das Schlagobjekt selbst untersucht wurde. Grundlegend kann aber die Bodenreaktionskraft als Startkraft der biomechanischen Kette betrachtet werden und die direkte Schlagkraft bei Kontakt als die letztendlich resultierende Kraft bezeichnet werden, wobei innerhalb der biomechanischen Kette die Kräfte in zukünftigen Untersuchungen näher untersucht werden müssen.

Im Vergleich mit den Voruntersuchungen lässt sich die Aussage aus der Studie von (Smith et al., 2000) bestätigen, dass die Schlagkraft abhängig von der Erfahrung des Schlagenden ist.

Die in den Studien von (Viano et al., 2005) und (Walilko et al., 2005) postulierte Aussage, dass die Schlagkraft abhängig von der Körpermasse des Schlagenden ist, konnte hier nicht reproduziert werden. Es zeigte sich in dieser Studie keinen linearen Zusammenhang zwischen Körpermasse des Schlagenden und Bodenreaktionskraft in Schlagrichtung. Dies kann auf die Tatsache zurückgeführt werden, dass die Kraft nur indirekt gemessen wurde. Ein weiterer Grund könnte darin liegen, dass es sich im Gegenteil zu den zitierten Studien in dieser Arbeit nicht um professionelle Sportler mit höchstem Leistungsniveau handelte,

sondern um Amateursportler mit weniger präziser Technik.

Aus der Untersuchung von (Smith und Hamill, 1986) ist ersichtlich, dass je höher der Trainings- bzw. Erfahrungslevel ist, desto mehr Kraftübertragung bei gleicher Faustgeschwindigkeit sich erzielen lässt. Für die Kraftübertragung und somit daraus resultierenden Verletzungsschwere ist die effektive Schlagmasse zur Kraftsteigerung entscheidend. Dies ist in der Untersuchung von (Viano et al., 2005) bestätigt. Es kann davon ausgegangen werden, dass das Erhöhen der effektiven Schlagmasse die beste Methode ist, um die Schlagkraft zu steigern.

## 6.6 Schlussfolgerung

Die forensisch-biomechanische Untersuchung des Faustschlag und dessen kinematischen und dynamischen Parameter mittels biomechanischer Standardverfahren unter Zuhilfenahme eines optischen Bewegungsanalysesystem und zweier Kraftmessplatten sowie einer Datenerhebung mittels Fragebögen zur subjektive wahrgenommenen „Wucht“-Einschätzung lassen soweit analysiert folgende Schlussfolgerungen zu:

Die anthropometrischen Merkmale eines Schlagenden beeinflussen dessen Faustschlag nicht relevant, vielmehr spielen Schlagtechnik und Erfahrung eine wesentliche Rolle.

Die subjektive „Wucht“-Einschätzung eines Schlagenden ist in Kenntnis dieser Studie nicht aussagekräftig. Die Wahrnehmung des Schlagintensität steht auch bei erfahrenen Kampfsportlern nicht im Einklang mit den objektiven hier untersuchten Schlagparametern.

Menschen ohne spezifische Erfahrung mit Schlagauführungen erreichen beim Schlagen höhere Faustgeschwindigkeiten, erfahrene Schläger schlagen hingegen mit konstanter Geschwindigkeit unterhalb der maximal möglichen.

Betrachtet man die Bodenreaktionskraft, so zeigt sich, dass die hier gemessenen Werte der Erfahrenen weit höher liegen als die der Unerfahrenen. Es zeigt sich, dass die Bodenreaktionskraft gleichermassen wie die Schlagkraft abhängig von dem Erfahrungslevel des Schlagenden ist.

Für zukünftige Untersuchungen kann bei geradlinigen Bewegungen der oberen Extremität auf die Bestimmung der Parameter im Raum aus Vereinfachungsgründen verzichtet werden, es ist ausreichend, die kinematischen Parameter in Hauptbewegungsrichtung zu erfassen.

# Kapitel 7

## Zusammenfassung

In der vorliegenden Studie wurden die forensisch-biomechanischen Aspekte des Faustschlages untersucht. Die häufigste Konstellation aus „Tatmittel“ blosser Körperkraft und Verletzungslokalisation stellt der einzelne Faustschlag gegen das Gesicht dar. Mittels biomechanischen Standardverfahren der optische Bewegungsanalyse und der Bodenreaktionskraftmessung wurden dynamische sowie kinematische Parameter analysiert. 22 Probanden, unterteilt in eine Gruppe bestehend aus 10 Amateur-Kampfsportlern und einer 12-köpfigen Referenzgruppe, wurden anthropometrisch vermessen und mittels Fragebogen nach deren eigenen subjektiven „Wucht“-Einschätzung befragt. Es wurden Faustschläge auf insgesamt drei in Grösse und Masse sowie Erscheinung sich unterscheidende Schlagobjekte (Marker, Faustball und Ringerpuppe) in einer Trainings- und einer Aufzeichnungsphase ausgeführt. Mittels eines optischen Bewegungsanalyzesystems mit acht Kameras wurde die Schlaggeschwindigkeit der Faust vor Kontakt mit den Schlagobjekten untersucht. Zeitgleich wurden die Bodenreaktionskräfte der Probanden mit Hilfe von zwei Mehrkomponenten-Messplattformen aufgezeichnet und analysiert.

Die 22 teilnehmenden Probanden waren zwischen 14 und 43 Jahre alt mit einer Körperlänge zwischen 168 bis 194 *cm* und einer Körpermasse zwischen 54 und 98 *kg*.

Bei den Faustschlägen der Kampfsportgruppe auf den Marker wurde im Mittel eine maximale Schlaggeschwindigkeit in Hauptbewegungsrichtung vor Kontakt von 8,85 *m/s* mit einer Standardabweichung von 0,61 *m/s* erreicht. Die Schlaggeschwindigkeit bei den Schlägen auf den Faustball der Kampfsportgruppe lag im Mittel bei 8,64 *m/s* mit einer Standardabweichung von 0,73 *m/s* und bei den Schlägen auf die Ringerpuppe im Mittel bei 8,34 *m/s* mit einer Standardabweichung von 0,59 *m/s*.

Bei der Referenzgruppe wurden maximale Schlaggeschwindigkeiten vor Kontakt für Schläge auf den Marker im Mittel von 9,18 *m/s* mit einer Standardabweichung von 1,11 *m/s*, für Schläge auf den Faustball im Mittel von 9,07 *m/s* mit einer Standardabweichung von 1,06 *m/s* und für Schläge auf die Ringerpuppe im Mittel von 8,51 *m/s* mit einer Standardabweichung von 1,02 *m/s* gemessen.

Die maximale Bodenreaktionskraft in Hauptbewegungsrichtung vor Kontakt betrug bei Schlägen der Kampfsportgruppe auf den Marker im Mittel 402  $N$  mit einer Standardabweichung von 175  $N$ , auf den Faustball im Mittel 407  $N$  mit einer Standardabweichung von 167  $N$  und auf die Ringerpuppe im Mittel 397  $N$  mit einer Standardabweichung von 193  $N$ .

Die Referenzgruppe erzielt für Schläge auf den Marker im Mittel 162  $N$  mit einer Standardabweichung von 85  $N$ , auf den Faustball im Mittel 194  $N$  mit einer Standardabweichung von 80  $N$  und auf die Ringerpuppe im Mittel 186  $N$  mit einer Standardabweichung von 68  $N$ .

Es zeigte sich, dass die anthropometrischen Merkmale eines Schlagenden dessen Faustschlag nicht relevant beeinflussen, dagegen sind Schlagtechnik und Erfahrung entscheidende Einflussfaktoren. Seitens der subjektiven „Wucht“-Einschätzung eines Schlagenden können in Kenntnis dieser Studie keine Rückschlüsse auf die hier gemessenen Schlaggeschwindigkeiten oder Bodenreaktionskräfte gezogen werden. Hierbei ist anzumerken, dass die Wahrnehmung der Schlagintensität auch bei erfahrenen Kampfsportlern nicht im Einklang mit den objektiven hier untersuchten Schlagparametern steht. Es lässt sich desweiteren postulieren, dass Menschen ohne spezifische Erfahrung mit Schlagaussführungen beim Schlagen höhere Faustgeschwindigkeiten erreichen, wohingegen erfahrene Schläger mit konstanter Geschwindigkeit unterhalb der maximal möglichen schlagen. Betrachtet man indes die Bodenreaktionskraft, liegen die hier gemessenen Werte der Erfahrenen weit höher als die der Unerfahrenen. Die Bodenreaktionskraft ist gleichermassen wie die Schlagkraft abhängig von dem Erfahrungslevel des Schlagenden. Es lässt sich festhalten, dass für zukünftige Untersuchungen von geradlinigen Bewegungen der oberen Extremität auf die Bestimmung der Parameter im Raum aus Vereinfachungsgründen verzichtet werden kann und es suffizient ist, die kinematischen Parameter in Hauptbewegungsrichtung zu erfassen.

# Anhang A

## Abkürzungen

$a$	Jahr
ALL	Gruppe aller Probanden
$arm_r$	Schlagarmlänge
ASCII	American Standard Code for Information Interchange
AVI	Audio Video Interleaved
$b$	Faustball
BAS	Bewegungsanalysesystem
DLT	Direktes Lineares Transformationsverfahren
EvaRT	EVa Real-Time Software
$F_{max}$	maximale Schlagkraft
$F_r$	Bodenreaktionskraft im Raum
$F_x$	Bodenreaktionskraft in x-Richtung
$haken_{box}$	Haken mit Boxhandschuhen
$haken_{faust}$	Haken mit blosser Faust
$gerade_{box}$	Gerade mit Boxhandschuhen
$gerade_{faust}$	Gerade mit blosser Faust
K 1...K 10	einzelner Proband der Kampfsportgruppe
KG	Kampfsportgruppe
KMP	Kraftmessplatte
$K_p$	Korrelationskoeffizient nach Bravais-Pearson
$m$	Marker

$m_k$	Körpermasse
$\mu$	Mittelwert
ML	Medianlinie
$max$	Maximum
$min$	Minimum
NTSC	National Television System Committee
$p$	Impuls
PKS	Polizeiliche Kriminalstatistik
Proc.	Processus
prox.	proximal
$r$	Ringerpuppe
R 1...R 10	einzelner Proband der Referenzgruppe
RG	Referenzgruppe
$\sigma$	Standardabweichung
Sig.	Signifikanz
SP	Schnittpunkt
SI	Internationale Einheitensystem (Système international d'unités)
$v_{contact}$	Kontaktgeschwindigkeit
$v_{max}$	maximale Faustgeschwindigkeit
$v_r$	Schlaggeschwindigkeit im Raum
$v_x$	Schlaggeschwindigkeit in x-Richtung
VL	Verbindungsline

# Anhang B

## Auszug aus dem Strafgesetzbuch

StGB, (Weigend, 2005)

### Siebzehnter Abschnitt

#### Straftaten gegen die körperliche Unversehrtheit

##### § 223 Körperverletzung

(1) Wer eine andere Person körperlich mißhandelt oder an der Gesundheit schädigt, wird mit Freiheitsstrafe bis zu fünf Jahren oder mit Geldstrafe bestraft.

(2) Der Versuch ist strafbar.

##### § 224 Gefährliche Körperverletzung

(1) Wer die Körperverletzung

1. durch Beibringung von Gift oder anderen gesundheitsschädlichen Stoffen,
2. mittels einer Waffe oder eines anderen gefährlichen Werkzeugs,
3. mittels eines hinterlistigen Überfalls,
4. mit einem anderen Beteiligten gemeinschaftlich oder
5. mittels einer das Leben gefährdenden Behandlung

begeht, wird mit Freiheitsstrafe von sechs Monaten bis zu zehn Jahren, in minder schweren Fällen mit Freiheitsstrafe von drei Monaten bis zu fünf Jahren bestraft.

(2) Der Versuch ist strafbar.

##### § 225 Mißhandlung von Schutzbefohlenen

(1) Wer eine Person unter achtzehn Jahren oder eine wegen Gebrechlichkeit oder Krankheit

wehrlose Person, die

1. seiner Fürsorge oder Obhut untersteht,
2. seinem Hausstand angehört,
3. von dem Fürsorgepflichtigen seiner Gewalt überlassen worden oder
4. ihm im Rahmen eines Dienst- oder Arbeitsverhältnisses untergeordnet ist,

quält oder roh mißhandelt, oder wer durch böswillige Vernachlässigung seiner Pflicht, für sie zu sorgen, sie an der Gesundheit schädigt, wird mit Freiheitsstrafe von sechs Monaten bis zu zehn Jahren bestraft.

(2) Der Versuch ist strafbar.

(3) Auf Freiheitsstrafe nicht unter einem Jahr ist zu erkennen, wenn der Täter die schutzbefohlene Person durch die Tat in die Gefahr

1. des Todes oder einer schweren Gesundheitsschädigung oder
2. einer erheblichen Schädigung der körperlichen oder seelischen Entwicklung bringt.

(4) In minder schweren Fällen des Absatzes 1 ist auf Freiheitsstrafe von drei Monaten bis zu fünf Jahren, in minder schweren Fällen des Absatzes 3 auf Freiheitsstrafe von sechs Monaten bis zu fünf Jahren zu erkennen.

### **§ 226 Schwere Körperverletzung**

(1) Hat die Körperverletzung zur Folge, daß die verletzte Person

1. das Sehvermögen auf einem Auge oder beiden Augen, das Gehör, das Sprechvermögen oder die Fortpflanzungsfähigkeit verliert,
2. ein wichtiges Glied des Körpers verliert oder dauernd nicht mehr gebrauchen kann oder
3. in erheblicher Weise dauernd entstellt wird oder in Siechtum, Lähmung oder geistige Krankheit oder Behinderung verfällt,

so ist die Strafe Freiheitsstrafe von einem Jahr bis zu zehn Jahren.

(2) Verursacht der Täter eine der in Absatz 1 bezeichneten Folgen absichtlich oder wissentlich, so ist die Strafe Freiheitsstrafe nicht unter drei Jahren.

(3) In minder schweren Fällen des Absatzes 1 ist auf Freiheitsstrafe von sechs Monaten bis zu fünf Jahren, in minder schweren Fällen des Absatzes 2 auf Freiheitsstrafe von einem Jahr bis zu zehn Jahren zu erkennen.

### **§ 227 Körperverletzung mit Todesfolge**

(1) Verursacht der Täter durch die Körperverletzung (§§ 223 bis 226) den Tod der ver-

letzten Person, so ist die Strafe Freiheitsstrafe nicht unter drei Jahren.

(2) In minder schweren Fällen ist auf Freiheitsstrafe von einem Jahr bis zu zehn Jahren zu erkennen.

### **§ 228 Einwilligung**

Wer eine Körperverletzung mit Einwilligung der verletzten Person vornimmt, handelt nur dann rechtswidrig, wenn die Tat trotz der Einwilligung gegen die guten Sitten verstößt.

### **§ 229 Fahrlässige Körperverletzung**

Wer durch Fahrlässigkeit die Körperverletzung einer anderen Person verursacht, wird mit Freiheitsstrafe bis zu drei Jahren oder mit Geldstrafe bestraft.

### **§ 230 Strafantrag**

(1) Die vorsätzliche Körperverletzung nach § 223 und die fahrlässige Körperverletzung nach § 229 werden nur auf Antrag verfolgt, es sei denn, daß die Strafverfolgungsbehörde wegen des besonderen öffentlichen Interesses an der Strafverfolgung ein Einschreiten von Amts wegen für geboten hält. Stirbt die verletzte Person, so geht bei vorsätzlicher Körperverletzung das Antragsrecht nach § 77 Abs. 2 auf die Angehörigen über.

(2) Ist die Tat gegen einen Amtsträger, einen für den öffentlichen Dienst besonders Verpflichteten oder einen Soldaten der Bundeswehr während der Ausübung seines Dienstes oder in Beziehung auf seinen Dienst begangen, so wird sie auch auf Antrag des Dienstvorgesetzten verfolgt. Dasselbe gilt für Träger von Ämtern der Kirchen und anderen Religionsgesellschaften des öffentlichen Rechts.

### **§ 231 Beteiligung an einer Schlägerei**

(1) Wer sich an einer Schlägerei oder an einem von mehreren verübten Angriff beteiligt, wird schon wegen dieser Beteiligung mit Freiheitsstrafe bis zu drei Jahren oder mit Geldstrafe bestraft, wenn durch die Schlägerei oder den Angriff der Tod eines Menschen oder eine schwere Körperverletzung (§ 226) verursacht worden ist.

(2) Nach Absatz 1 ist nicht strafbar, wer an der Schlägerei oder dem Angriff beteiligt war, ohne daß ihm dies vorzuwerfen ist.



# Anhang C

## Fragebogen



S. Bremer<sup>1</sup>, Prof. Dr. med. M. Graw<sup>1</sup>, Prof. Dr. rer. nat. Dr. phil. habil. K. Schneider<sup>2</sup>  
<sup>1</sup>Institut für Rechtsmedizin der Universität München  
<sup>2</sup>Institut für Sportwissenschaften der Universität der Bundeswehr München



### Fragebogen zum Versuch „Faustschlag“

Versuch: \_\_\_\_\_ Datum: \_\_\_\_\_  
 Name: \_\_\_\_\_ Vorname: \_\_\_\_\_  
 Alter: \_\_\_\_\_ Händigkeit: \_\_\_\_\_

#### Welche Sportart bzw. Sportarten üben Sie aus? (Kombinationen möglich)

Laufen:  Kraftsport:   
 Radfahren:  Ballsport:   
 Fitness:  Kampfsport:

Sonstiges: .....

#### Wie würden Sie sich selbst hinsichtlich Ihrer Sportlichkeit einschätzen? (Einzelauswahl)

unsportlich							extrem sportlich
<input type="checkbox"/>							
1	2	3	4	5	6	7	

#### Wie fit fühlen Sie sich im Vergleich zu anderen? (Einzelauswahl)

unfit						absolut fit
<input type="checkbox"/>						
1	2	3	4	5	6	7

#### Für wie fit halten Sie sich im Moment? (Einzelauswahl)

unfit						extrem fit
<input type="checkbox"/>						
1	2	3	4	5	6	7

Abbildung C.1: Fragebogen - 1. Seite





S. Bremer<sup>1</sup>, Prof. Dr. med. M. Graw<sup>1</sup>, Prof. Dr. rer. nat. Dr. phil. habil. K. Schneider<sup>2</sup>  
<sup>1</sup>Institut für Rechtsmedizin der Universität München  
<sup>2</sup>Institut für Sportwissenschaften der Universität der Bundeswehr München



**subjektives Schlagempfindung** von dem/der Probanden/-in selbst nach jedem einzelnen Versuch („Schlagwucht“)

Versuch: ..... nicht maximal Kommentar:  
 getroffen .....  
 .....        .....  
 ..... 1 2 3 4 5 6 7 .....  
 -----

Versuch: ..... nicht maximal Kommentar:  
 getroffen .....  
 .....        .....  
 ..... 1 2 3 4 5 6 7 .....  
 -----

Versuch: ..... nicht maximal Kommentar:  
 getroffen .....  
 .....        .....  
 ..... 1 2 3 4 5 6 7 .....  
 -----

Versuch: ..... nicht maximal Kommentar:  
 getroffen .....  
 .....        .....  
 ..... 1 2 3 4 5 6 7 .....  
 -----

Versuch: ..... nicht maximal Kommentar:  
 getroffen .....  
 .....        .....  
 ..... 1 2 3 4 5 6 7 .....  
 -----

Versuch: ..... nicht maximal Kommentar:  
 getroffen .....  
 .....        .....  
 ..... 1 2 3 4 5 6 7 .....  
 -----

Versuch: ..... nicht maximal Kommentar:  
 getroffen .....  
 .....        .....  
 ..... 1 2 3 4 5 6 7 .....  
 -----

**Abbildung C.3:** Fragebogen - 3. Seite



# Literaturverzeichnis

- Abdel-Aziz, Y. I. und Karara, H. M.: Direct linear transformation from comparator coordinates into object space coordinates in close-range photogrammetry. In: *Proceedings of the Symposium on Close-Range Photogrammetry*. American Society of Photogrammetry, 1971, S. 1–18.
- Atha, J., Parsons, K., Sandover, J. und Yeadon, M. R.: Measuring the mechanical properties of a heavyweight's punch. In: *Journal of Sports Sciences*. 1984, Band 2, S. 188–189.
- Atha, J., Yeadon, M. R., Sandover, J. und Parsons, K.: The damaging punch. In: *British Medical Journal*, Band 291:S. 1756–1757, 1985.
- Böhm, E. und Schmidt, B. U.: Kriminelle und kinetische Energie bei Tötungsdelikten durch stumpfe Gewalt. In: *Zentralblatt Rechtsmedizin*, S. 331–338, 1986.
- Birken, L., Morlock, M., Gross, E. und Weltin, U.: Determination of selected punch parameters for professional boxers. In: *Book of Abstracts ISB 2001*. International Society of Biomechanics, 2001.
- Bostroem, L.: Injury panorama and medical consequences for 1158 persons assaulted in the central part of Stockholm, Sweden. In: *Archives of Orthopaedic and Trauma Surgery*, Band 116(7):S. 315–320, 1997. ISSN 09368051.
- Bundeskriminalamt, Wiesbaden: Polizeiliche Kriminalstatistik 2006 - Bundesrepublik Deutschland. 2007. ISSN 09434674.
- Colmant, H. J. und Dotzauer, G.: Analyse eines tödlich ausgegangenen Boxkampfes mit ungewöhnlich schweren cerebralen Schäden. In: *Zentralblatt Rechtsmedizin*, Band 84:S. 263–278, 1980.
- Dolman, Clarisse L.: *Rupture of Posterior Inferior Cerebellar Artery by Single Blow to Head*, Band 110. Department of Pathology, Vancouver Hospital, British Columbia, 1986.
- Donivan, James Michael: *A kinematic analysis of the three basic boxing punches*. Dissertation, Pennsylvania State University, 1984.

- Eppendorf, Kirstin: *Gesichtsschädelverletzungen durch Rohheitsdelikte - Häufigkeit, Ursachen, soziale Begleitumstände und ökonomische Belastungen*. Dissertation, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, 2000.
- Ergonomie, Normenausschuss: *Ergonomie - Körpermaße des Menschen - Teil 2: Werte*. Din 33402-2, DIN Deutsches Institut für Normung e. V., Burggrafenstraße 6 10787 Berlin, 2005.
- Fenton, Todd W., deJong, Joyce L. und Haut, Roger C.: Punched with a Fist: the Etiology of a Fatal Depressed Cranial Fracture. In: *Journal of Forensic Science*, Band 48(2):S. 277–281, 2003.
- Graw, M., Praxl, N., Schuller, E., Bremer, S. und Schönpflug, M.: The Car as a Weapon - Biomechanical Reconstruction of an Atypical Homicide. In: *Forensic Science International*, Band 136:S. 190, 2003a.
- Graw, M., Schönpflug, M., Praxl, N., Schuller, E. und Bremer, S.: Reconstruction of an Atypical Homicide as Example of Successful Biomechanical-Forensic Cooperation. In: *Book of Abstracts 19th ISB Congress*. 2003b.
- Gutewort, W.: Die Biomechanik sportlicher Bewegungen als eine der naturwissenschaftlichen Grundlagen der Sportwissenschaft. In: *Schriften der Deutschen Vereinigung für Sportwissenschaft*, S. 39–46, 1993.
- Haberda, A.: Die Diagnose des verletzenden Werkzeuges. In: *Beiträge zur Gerichtlichen Medizin*, Band X:S. 1–4, 1930.
- Hamill, J., Bates, B. T. und Holt, K. G.: Timing of lower extremity joint actions during treadmill running. In: *Medicine & Science in Sports & Exercise*, Band 24:S. 808–813, 1992.
- Hatze, Herbert: The meaning of the term „biomechanics“. In: *Journal of Biomechanics*, Band 7:S. 189–190, 1974.
- Henze, Arnim: *Dreidimensionale biomechanische Modellierung und die Entwicklung eines Reglers zur Simulation zweibeinigen Gehens*. Dissertation, Eberhard-Karls-Universität, Tübingen, 2002.
- Hettinger, Theodor und Hollmann, Wildor: *Sportmedizin*. Schattauer, Stuttgart, New York, 2000. ISBN 3794516729.
- Hochmuth, Gerhard: *Biomechanik sportlicher Bewegungen*. Sportverlag, Berlin, 1982. ISBN 3328000216.
- Kaatsch, H.-J., Mehrens, C. und Nietert, M.: Untersuchung zur Biomechanik bei Stichvorgängen. In: *Rechtsmedizin*, Band 4:S. 91–98, 1994.

- Kassat, Georg: *Biomechanik für Nicht-Biomechaniker*. Fitness-Contur, 1993. ISBN 3928148060.
- Knezevic, D. und Dirnhofer, R.: *Begutachtung von Körperverletzungen - einige Fälle aus der Praxis*. Deuticke, Wien, 1988. ISBN 370054605X.
- Krejcová, H. und Cerný, R.: Vestibular abnormalities in encephalopathia pugilistica. In: *Acta Oto-Laryngologica*, Band 468:S. 209–210, 1989.
- Lohman, Timothy G., Roche, Alex F. und Martorell, Reynaldo: *Anthropometric Standardization Reference Manual*. Human Kinetics Books, 1991. ISBN 0873221214.
- Madea, Burkhard: *Praxis Rechtsmedizin*. Springer, Berlin, Heidelberg, 2003. ISBN 3540438858.
- Madea, Burkhard und Brinkmann, Bernd: *Handbuch gerichtliche Medizin 1*. Springer, Berlin, Heidelberg, 2004. ISBN 3540002596.
- McLeod, D.: Ocular injuries from boxing (editorial). In: *British Medical Journal*, Band 304:S. 197, 1992.
- Misliwetz, J.: *Tatumstand und Verletzungsbild bei vorsätzlichen Körperverletzungen (unter besonderer Berücksichtigung des Waffengebrauchs)*. Institut für gerichtliche Medizin der Universität Wien, Berlin, Heidelberg, 1989.
- Misliwetz, J. und Denk, W.: *Tod infolge Mißhandlung (durch Faustschläge und Fußstritte)*, Band 3. Institut für gerichtliche Medizin der Universität Wien, Berlin, Heidelberg, 1992.
- Moser, M., Schmid, P. und Wolf, W.: Zentrale Gleichgewichtsstörungen bei Boxern. In: *Laryngologie, Rhinologie, Otologie*, Band 59:S. 467–471, 1980.
- Muggenthaler, H., Praxl, N., Schönpflug, M., Dier, A., Graw, M. und Schneider, K.: Elektromyographie - Anwendungsmöglichkeiten in der forensischen Biomechanik. Posterpräsentation auf der 83. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Rechtsmedizin, Göttingen, 2004.
- Murphy, Gordon K.: Beaten to Death. In: *The American Journal of Forensic Medicine and Pathology*, Band 12(2):S. 98–101, 1991.
- NASA: Anthropometric Source Book - Volume I: Anthropometry for Designers. Technischer Bericht, National Aeronautics and Space Administration, 1978.
- Peldschus, S., Adamec, J. und Schuller, E.: Accident Reconstruction Using Human Models. In: *Proceedings of EuroPAM 2005*. 2005.
- Peldschus, S. und Schuller, E.: Simulation des Anpralls von Motorradfahrern an Strassenschutzzeineinrichtungen mit Hilfe eines numerischen Menschmodells. In: *6. Internationale Motorradkonferenz, Köln*. 2006.

- Schönfeld, Elke: *Abfahren - Eingefahren*. Straelener Manuskripte-Verlag, Straelen/Niederrhein, 1986. ISBN 3891070098.
- Smith, M. S., Dyson, R. J., Hale, T. und Janaway, L.: Development of a boxing dynamometer and its punch force discrimination efficacy. In: *Journal Of Sports Sciences*, Band 18:S. 445–450, 2000.
- Smith, P. K. und Hamill, J.: The effect of punching glove type and skill level on momentum transfer. In: *Journal of Human Movement Studies*, Band 12:S. 153–161, 1986.
- Tokuda, T., Ikeda, S., Yanasigawa, N., Ihara, Y. und Glenner, G. G.: Re-examination of exboxers' brains using immunohistochemistry with antibodies to amyloid Beta-protein and tau protein. In: *Acta Neuropathologica*, Band 82:S. 280–285, 1991.
- Unterharnscheidt, F.: *Pathologie des Nervensystems 13/VI.C. (Traumatische Schäden des Gehirns - forensische Pathologie)*, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York Tokio, Kapitel Traumatische Hirnschäden infolge von Sportverletzungen, insbesondere die traumatische Enezphalopathie des Boxers. 1994.
- Vadala, G., Mollo, M., Roberto, S. und Fea, A.: Boxing and the eyes; morphological aspects of the ocular system in boxers. In: *European Journal of Ophthalmology*, Band 7:S. 174–180, 1997.
- Viano, David C., Casson, Ira R., Pellman, Elliot J., Bir, Cynthia A., Zhang, Liying, Sherman, Donald C. und Boitano, Marilyn A.: Concussion in Professional Football: Comparison with Boxing Head Impacts. In: *Neurosurgery*, Band 57(6):S. 1154–1172, 2005.
- Walilko, Timothy J.: *Biomechanical response of the temporomandibular joint from impacts in boxing*. Dissertation, Wayne State University, Detroit, Michigan, 2004. ISBN 9780496126545.
- Walilko, Timothy J., Viano, David C. und Bir, Cynthia A.: Biomechanics of the Head for Olympic boxer punches to the face. In: *British Journal of Sports Medicine*, Band 39:S. 710–719, 2005.
- Weigend, Thomas: *Strafgesetzbuch StGB*. DTV-Beck, 2005. ISBN 3423050071.
- Whiting, C. William, Gregor, Robert J. und Finerman, Gerald A.: Kinematics analysis of human upper extremity movements in boxing. In: *The American Journal of Sports Medicine*, Band 16(2):S. 130–136, 1988.
- Winter, David A.: *Biomechanics and Motor Control of Human Movement*. Wiley-Interscience, 1990. ISBN 0471509086.

# Danksagung

Ich danke Herrn Prof. Dr. med. Wolfgang Eisenmenger, unter dessen Leitung ich diese Studie im Institut für Rechtsmedizin der Universität München durchführen konnte.

Mein tiefster Dank gilt Prof. Dr. med. Matthias Graw, der mir das Thema dieser Arbeit überlassen hat, mir immer mit Rat und Tat zur Seite stand und mich über die lange Zeitspanne durchwachsen von Höhen und Tiefen begleitet hat.

Desweiteren möchte ich mich herzlich bei Prof. Dr. rer. nat. Dr. phil. habil. Klaus Schneider und seinem Team um das Labor für Bewegungs- und Trainingswissenschaft am Institut für Sportwissenschaft und Sport der Universität der Bundeswehr München für die großzügige Unterstützung und äußerst freundliche Zusammenarbeit bedanken.

Weiterer Dank gilt den Mitbetreuern meiner Arbeit Ph. D. Jiri Adamec und Dr. phil. Norbert Praxl sowie dem gesamten Biomechanik Team des Institutes, insbesondere Dr. rer. biol. hum. H. Muggenthaler, für deren unermüdlichen Eifer und ihrer Geduld mit mir.

Herrn Günter Gürke und Herrn Heinz Jenny von der Firma Kistler Instrumente AG möchte ich meinen Dank aussprechen für deren tatkräftige Unterstützung. Ebenso möchte ich Herrn Dr. sc. hum. Dipl.-Psych. Peter K. Strohbeck vom Institut für Rechtsmedizin und Verkehrsmedizin des Universitätsklinikums Heidelberg danken.

Mein Dank gilt insbesondere allen Probanden, die an der Studie teilgenommen haben und deren Daten es erst ermöglicht haben, diese Arbeit zu erstellen.

Bei meinen Eltern, meinen Schwestern und meiner Freundin möchte ich mich zu guter Letzt bedanken.



# Lebenslauf

## Persönliche Daten

Name	Stefan Michael Bremer
Geburtsdatum	1. Dezember 1974
Geburtsort	München
Staatsangehörigkeit	deutsch

## Schulbildung

09/81 - 08/85	Grundschule, Neuried
09/85 - 08/94	Feodor-Lynen-Gymnasium, Planegg

## Hochschulausbildung

10/94 - 09/97	Medizinische Fakultät, Universität Leipzig
10/97 - 11/01	Medizinische Fakultät, Ludwig-Maximilians-Universität München
November 2001	Ärztliche Prüfung

## Berufliche Tätigkeit

Januar 2003 - September 2003	Arzt im Praktikum am Institut für Rechtsmedizin der Universität München
Oktober 2003 - Juli 2004	Arzt im Praktikum an der Chirurgischen Klinik Dr. Rinecker in München
Juli 2004	Ärztliche Approbation, Ludwig-Maximilians-Universität München
seit Oktober 2004	Assistenzarzt an der Chirurgischen Klinik Dr. Rinecker in München

