

# **Zusammenhang zwischen der Schlagkraft und ausgewählten Kraft und Schnellkraft Parametern für die Sportart Boxen**

## **Masterarbeit**

Eingereicht am Fachhochschul-Studiengang Training und Sport von

Josef Jancso BSc, Matrikelnummer: 1410677012

zur Erlangung des akademischen Grades

Master of Science in Natural Sciences

Abgabedatum: 23. April 2017

Begutachter: Priv.-Doz. Dr. Klaus Wirth



## Zusammenfassung

Das Ziel der vorliegenden Studie ist den Zusammenhang zwischen der Kraft bei einem Boxschlag, im Weiteren als die Schlagkraft bezeichnet, und ausgewählten Kraft und Schnellkraft Parametern zu untersuchen. Die Bodenreaktionskraft (BRK) während des Schlages wurde ebenfalls untersucht. Eine ausführliche Literaturrecherche hat ergeben, dass es noch keine andere Studie gibt, die alle genannten Parameter für die Sportart Boxen bereits untersucht hätte.

Die Teilnehmer der Studie waren 31 Boxer aus dem Wiener Boxverein „Jab Club“ (Alter:  $29,8 \pm 7,8$ ; Gewicht:  $82,9 \pm 13,3$  kg; Größe:  $181,4 \pm 6,6$  cm). Für die Messung der Maximalkraft der unteren Extremitäten wurde das Einer-Wiederholungsmaximum (1RM) in der Kniebeuge und für die oberen Extremitäten das 1RM im Bankdrücken bestimmt. Die Ermittlung der Schnellkraft erfolgte für die Beine durch den Counter Movement Jump (CMJ) und für den Oberkörper durch eine vertikale Ausstoßbewegung mit einem Medizinball. Das Gewicht des Balles betrug 5% des 1RM im Bankdrücken. Die BRK wurde mittels Kraftmessplatten gemessen. Die Schlagkraftmessung erfolgte zweimal zu verschiedenen Messzeitpunkten.

In der ersten Messung korrelierte die Maximalkraft im Bankdrücken mit der Schlagkraft ( $n = 13$ ;  $r = 0,633$ ;  $p = 0,02$ ), sowie die relative Maximalkraft im Bankdrücken mit der relativen Schlagkraft ( $n = 13$ ;  $r = 0,595$ ;  $p = 0,032$ ) signifikant. Zu keinem Messzeitpunkt korrelierte das 1RM in der Kniebeuge mit der Schlagkraft. Die Schnellkraftübungen wiesen ebenfalls keinen Zusammenhang mit der Schlagkraft auf. Die BRK des hinteren Beines aus der ersten Messung hing mit der Schlagkraft ( $n = 20$ ;  $r = 0,574$ ;  $p = 0,008$ ) und mit der relativen Schlagkraft ( $n = 20$ ;  $r = 0,478$ ,  $p = 0,033$ ) signifikant zusammen.

Die Ergebnisse der präsentierten Studie konnten nur zum Teil die statistischen Zusammenhänge der untersuchten Parameter bestätigen. Trotzdem können folgende Schlussfolgerungen daraus gezogen werden: Die Maximalkraft der oberen Extremitäten hängt mit der Schlagkraft zusammen und ohne ein zusätzliches Krafttraining bleibt das Kraftniveau von Boxern wie von Bührle et al. (1982) beschrieben unterentwickelt. Die BRK des hinteren Beines ist an der Höhe der Schlagkraft ebenfalls beteiligt, allerdings war kein eindeutiges Muster bei der Gewichtsverlagerung während des Schlages zu erkennen. Die Schnellkraftübungen korrelierten nicht mit der Schlagkraft, das lag vermutlich an den gewählten Übungen bzw. an der Testmethode und weniger am generellen Zusammenhang zwischen der Schlagkraft und der Schnellkraft, wie andere Studien diesen belegen (Ebben & Blackard, 1997; Loturco et al., 2014; Loturco et al., 2016; Mack et al., 2010).

**Schlagerworte:** Boxen, Schlagkraft, Bodenreaktionskraft, Maximalkraft, Schnellkraft

## Abstract

The aim of the present study is to examine the relationship between punching force and selected strength and power parameters in boxing. The ground reaction force (GRF) was also explored during the punch. The author is not aware of any other studies, which have examined these factors and relationships in boxing.

The sample consisted of 31 male boxers from the box club “Jab Club” in Vienna (age:  $29,8 \pm 7,8$ ; body mass:  $82,9 \pm 13,3$  kg; stature:  $181,4 \pm 6,6$  cm). The one repetition maximum (1RM) was conducted in squats for the lower body and in the bench press for the upper body to determine maximum strength. The exercises designed for power were the countermovement jump (CMJ) for lower body and a medicine ball throw for upper body. The mass of the ball was 5% of 1RM. GRF was measured with the help of force plates. The punching force measurement was conducted twice at different times.

The first measurement findings showed that maximum strength and the relative maximum strength in bench press correlated significantly with punching force ( $n = 13$ ;  $r = 0,633$ ;  $p = 0,02$ ) and relative punching force ( $n = 13$   $r = 0,595$ ;  $p = 0,032$ ). There was no significant correlation between 1RM in squats and punching force. Neither a significant relationship was observed between punching force and power exercises. GRF from the rear leg at the first measurement positively correlated with punching force ( $n = 20$ ;  $r = 0,574$ ;  $p = 0,008$ ) and relative punching force ( $n = 20$ ;  $r = 0,478$ ,  $p = 0,033$ ).

The results of this study could only partially confirm the statistical relationships between the investigated parameters. Nevertheless, the current paper concludes that the upper body's maximum strength strongly associate with punching force. Moreover as Bührle et al. (1982) has mentioned, a boxer's strength level remains underdeveloped without a separate strength training. Rear leg's GRF is also related with punching force but there was no pattern that identified body mass shifting during the punch. The power exercises did not correlate significantly with punching force, but this may have been caused by the selected exercise or test methods. The general relationship between power and punching force is confirmed in the literature (Ebben & Blackard, 1997; Loturco et al., 2014; Loturco et al., 2016; Mack et al., 2010).

**Keywords:** boxing, punching force, ground reaction force, maximum strength, power

# Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis .....	3
Abbildungsverzeichnis .....	5
Tabellenverzeichnis .....	6
Abkürzungsverzeichnis .....	7
Vorwort.....	8
1. Einleitung .....	9
2. Literaturrecherche .....	11
2.1 Sportartanalyse für die Sportart Boxen .....	11
2.2 Körperkomposition.....	12
2.3 Ausdauer.....	12
2.4 Kraft.....	16
2.4.1 Schnellkraft.....	17
2.4.2 Exkurs Muskelleistung .....	18
2.4.3 Maximalkraft .....	19
2.4.4 Explosivkraft.....	20
2.4.5 Exkurs Dehnungs-Verkürzungszyklus .....	21
2.4.6 Zusammenhang zwischen Maximal- und Explosivkraft .....	22
2.4.7 Zusammenhang zwischen Maximalkraft und Muskelleistungsschwelle.....	23
2.4.8 Methoden für Schnellkraftraining.....	23
2.5 Schlagkraft.....	27
2.6 Kinetik und Kinematik der geraden Schlaghand.....	31
2.7 Bodenreaktionskraft .....	37
2.8 Trainingsempfehlung für die Steigerung der Schlagkraft der geraden Schlaghand...39	
2.9 Zentrale Fragestellungen und Hypothesen .....	41
3. Material und Methoden .....	42
3.1 Stichprobe.....	42

3.2	Material .....	42
3.3	Methoden.....	45
3.3.1	Schlagkraftmessung.....	45
3.3.2	Schnellkraftmessung.....	47
3.3.3	Maximalkraftmessung .....	49
3.4	Statistik.....	50
4.	Ergebnisse .....	51
4.1	Schlagmesswerte .....	51
4.2	Testgütekriterien für das Schlagmessgerät.....	53
4.3	Bodenreaktionskraft .....	54
4.4	Maximalkraftmessung.....	55
4.5	Schnellkraftmessung .....	56
4.6	Hypothesen.....	56
4.6.1	1. Hypothese – Korrelation Schlagkraft und Maximalkraft .....	56
4.6.2	2. Hypothese Korrelation Schlagkraft und Schnellkraft.....	56
4.6.3	3. Hypothese Korrelation Schlagkraft und Bodenreaktionskraft .....	57
4.7	Weitere Korrelationen .....	57
5.	Diskussion.....	60
5.1	1. Hypothese – Korrelation Schlagkraft und Maximalkraft.....	60
5.2	2. Hypothese Korrelation Schlagkraft und Schnellkraft .....	62
5.3	3.Hypothese Korrelation Schlagkraft und Bodenreaktionskraft .....	65
5.4	Korrelation Schlagkraft und Körpermasse .....	68
6.	Conclusio .....	70
7.	Literaturverzeichnis .....	73
8.	Anhang.....	78

Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wird in dieser Arbeit darauf verzichtet, die männliche und die weibliche Form der Substantive, wie beispielsweise „Athlet“ und „Sportler“ anzuführen. Es sind somit stets beide Geschlechter gemeint.

# Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Die Schnellkraft als Impuls auf der Kraft-Zeit Kurve (Wirth & Schmidtbleicher, 2007a).....	17
Abbildung 2: Verschieden Schnellkraft-Trainingsmethoden dargestellt auf der F-v Kurve (Haff & Nimphius, 2012, p. 7).....	24
Abbildung 3: Position verschiedener Kampfsportarten auf der Hill'schen F-v Kurve (Lehmann, 2000).....	25
Abbildung 4: Reihenfolge der Muskelrekrutierung der rechten Gerade mit maximaler Kraft (Dyson et al., 2007, p. 593) .....	32
Abbildung 5: Reihenfolge der Muskelrekrutierung der rechten Gerade mit maximaler Geschwindigkeit (Dyson et al., 2007, p. 593) .....	33
Abbildung 6: Darstellung der beteiligten Muskelschlingen an einer rechten Gerade (Tittel & Opitz, 2016, p. 283).....	35
Abbildung 7: Typische Kinematik des Ellbogens der geraden Schlaghand (Cheraghi et al., 2014, p. 42).....	36
Abbildung 8: Schlagmessgerät .....	43
Abbildung 9: Schlagobjekt.....	43
Abbildung 10: Kraftmesssensor Typ 8230-003 von Brüel & Kjaer .....	43
Abbildung 11: Schlagausführung der geraden Schlaghand auf zwei FITRONIC s.r.o. Kraftmessplatten.....	46
Abbildung 12: Versuch die Ausstoßbewegung mit dem Medizinball über die Kraftmessplatten zu berechnen .....	48
Abbildung 13: Ausstoßbewegung mit dem Medizinball.....	48
Abbildung 14: Schlagkraft und BRK eines Probanden.....	51
Abbildung 15: Hohe BRK wird in eine hohe Schlagkraft übertragen .....	66
Abbildung 16: Hohe BRK mit niedriger Schlagkraft.....	66
Abbildung 17: Hohe Schlagkraft ohne Abdruck, nur durch Gewichtsverlagerung .....	67
Abbildung 18: Hohe Schlagkraft ohne Beinabdruck und Gewichtsverlagerung .....	67
Abbildung 19: Leistungsbestimmenden Parameter für die Schlagkraft.....	71

# Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Ergebnisse verschiedener Schlagmessgeräte modifiziert nach (Lenetsky et al., 2013) .....	27
Tabelle 2: EMG-Messung von ausgewählten Muskeln und ihre Funktionen für die gerade Schlaghand (Dyson et al., 2007, p. 591) .....	32
Tabelle 3: Differenz für die Schlagauführung mit maximaler Kraft und mit maximaler Geschwindigkeit (Dyson et al., 2007, p. 594).....	33
Tabelle 4: Schlagparameter aus der ersten Messung .....	52
Tabelle 5: Schlagparameter aus der zweiten Messung .....	52
Tabelle 6: Nachweis der Testgütekriterien für das Schlagmessgerät durch die Schlagkraft, den Impuls und die Impulsdauer aus den zwei Messungen.....	53
Tabelle 7: Deskriptive Statistik der BRK .....	54
Tabelle 8: Ergebnisse der Maximalkraftmessungen .....	55
Tabelle 9: Ergebnisse der Schnellkraftmessung .....	56
Tabelle 10: Korrelationen aus der ersten Messung.....	58
Tabelle 11: Korrelationen aus der zweiten Messung .....	59



# Abkürzungsverzeichnis

1RM	Einer-Wiederholungsmaximum, one repetition maximum
a	Beschleunigung
BRK	Bodenreaktionskraft
CMJ	Counter Movement Jump
DVZ	Dehnungs-Verkürzungszyklus
EMG	Elektromyografie
F	Kraft, $F = m \cdot a$
F-v Kurve	Kraft-Geschwindigkeitskurve
HFmax	maximale Herzfrequenz
HIIT	high-intensity interval training
K.o.	Knockout
LIIT	lower-intensity interval training
m	Masse
MD	Mittelwertdifferenz
MLS	Muskelleistungsschwelle
MVC	maximal willkürliche Kontraktion
N	Newton
oz	Unzen
p	Impuls, Kraftstoß, $p = m \cdot a \cdot t = F \cdot t = m \cdot v$
P	physikalische Leistung, $P = W / t = F \cdot s / t = F \cdot v$
s	Weg
SD	Standardabweichung
t	Zeit
v	Geschwindigkeit
VO2max	maximale Sauerstoffaufnahme-fähigkeit
W	physikalische Arbeit
Wh	Wiederholungen
yd	Yard, 1 yd = 0,9144 m
ZNS	zentrale Nervensystem

# Vorwort

Ich möchte mich bei allen herzlich bedanken, die am Gelingen dieser Arbeit mitgeholfen haben. An erster Stelle möchte ich meinem Betreuer Priv.-Doz. Dr. Klaus Wirth danken, der mir mit seinen wertvollen Ratschlägen immer zur Seite gestanden ist. Besonderer Dank gebührt auch DI Dr. Markus Hochrainer MSc und der Mechatronik Abteilung der Fachhochschule Wiener Neustadt, die das Schlagmessgerät konstruiert haben. Ohne die technische Unterstützung und das Engagement von Dr. Hochrainer bei den Messungen persönlich anwesend zu sein, wäre das Projekt nicht durchführbar gewesen.

Des Weiteren möchte ich den „Jab Club“ Gründern Hermann Bendl, Gerald Pelikan und den Teilnehmern der „Jab Club“ Boxer für ihre Unterstützung danken. Vielen Dank auch an Profiboxer Shpetim Shala, durch dessen Betreuung ich als Athletiktrainer wertvolles Feedback aus der Praxis und Einblick ins Profiboxen erhalte.

Herzlichen Dank an das IMSB-Austria und Mag. Gregor Bialowas, die mir freundlicherweise die Kraftmessplatten für die Messungen zur Verfügung gestellt haben.

Meinen besonderen Dank möchte ich meinen langjährigen Klienten und dem Team Get Up aussprechen. Ohne diese Unterstützung wären sechs Jahre Fachhochschule berufsbegleitend nicht möglich gewesen.

Für die Durchsicht meiner Arbeit und den damit zeitlich verbundenen Aufwand möchte ich Verena und Ralph danken.

Zum Schluss möchte ich mich bei meinen Eltern, bei meiner Schwester und bei meiner lieben Freundin Natalia bedanken, die mir in guten und in schwierigen Zeiten beigestanden sind.

# 1. Einleitung

Im Wettkampfboxen entscheidet der Schlag zwischen Sieg und Niederlage. Er wird eingesetzt um technisch/taktische Vorgaben umzusetzen, beim Gegner physischen Schaden zu verursachen und um für einen Sieg notwendige Punkte zu erzielen. Der Kampf kann auch vorzeitig durch einen Knockout (K.o.) beendet werden (Smith, 2006). Der Schlag ist eine komplexe Bewegung, die sich aus der Koordination der Beine, des Rumpfes und der Arme zusammensetzt (Filimonov et al., 1985; Fritsche, 1978; Turner et al., 2011). Die Beeinträchtigung des Gegners erfolgt durch die Frequenz der Schläge und die Schlagkraft (Atha et al., 1985; Jordan, 2000; Pierce et al., 2006). Die Schlagkraft hängt neben der technischen Fertigkeit von der Muskelkraft des Boxers ab (Filimonov et al., 1985).

Mack et al. (2010) kamen bei Wettkampfboxern zum Ergebnis, dass die Armgeschwindigkeit hoch mit der Höhe der Schlagkraft korreliert. Deswegen spielt für die Höhe der Schlagkraft auch die Bewegungsgeschwindigkeit eine Rolle. Die Fähigkeit des Nerv-Muskelsystems einen Gegenstand, einen Körper oder einen Körperteil mit maximaler Geschwindigkeit zu bewegen wird als Schnellkraft bezeichnet (Weineck, 2010, p. 374). Die höchst mögliche Muskelkraft die das Nerv-Muskel-System bei maximaler willentlicher Kontraktion ausüben vermag, wird als Maximalkraft bezeichnet (Weineck, 2010, p. 371).

Ein weiteres Merkmal für die Höhe der Schlagkraft ist der Abdruck des hinteren Beines während des Schlages (Filimonov et al., 1985; Joch et al., 1982; Lenetsky et al., 2013; Turner et al., 2011). Filimonov et al. (1985) stellten fest, dass bei Boxern auf höchstem Leistungsniveau aus der Koordination von Beinabdruck, Rumpfrotation und Armstreckung, der Abdruck des hinteren Beines mit 39% den größten Einfluss auf die Höhe der Schlagkraft hatte. Eine valide und reliable Methode die Kraft der Beine zu bestimmen, ist die Messung der BRK mittels Kraftmessplatten (Lenetsky et al., 2013). In der Literatur sind sehr wenig konkrete Messungen zur BRK von Boxern während des Schlages zu finden.

Die Schlagkraft wird durch ein Schlagmessgerät ermittelt. In den vergangenen Jahrzehnten sind unterschiedliche Modelle zur Bestimmung der Schlagkraft konstruiert worden. Der Vergleich der Ergebnisse aus den verschiedenen Messungen gestaltet sich schwierig. Schlagmessgeräte können außer für wissenschaftliche Untersuchungen, im Training eingesetzt werden, sowie als Teamselektionsverfahren, oder zur Evaluierung von Trainingsinterventionen dienen (Lenetsky et al., 2013).

Das Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, für die Sportart Boxen den Zusammenhang zwischen der Schlagkraft und deren leistungsbestimmenden Parametern wie die Kraft, die

Schnellkraft und die BRK zu untersuchen. Für die Bestimmung der Schlagkraft diente die gerade Schlaghand, mit einem eigens konstruierten Schlagmessgerät von der Mechatronik Abteilung der Fachhochschule Wiener Neustadt. Die Maximalkraft für die unteren Extremitäten wurde durch das 1RM in der Kniebeuge und für die oberen Extremitäten durch das 1RM im Bankdrücken ermittelt. Die Schnellkraft für die Beine wurde durch den CMJ festgestellt. Für die Arme wurde die Schnellkraft durch eine Ausstoßbewegung aus der Rückenlage mit einem Medizinball gemessen. Die BRK wurde durch zwei Kraftmessplatten ermittelt. Die Teilnehmer an der Studie waren Boxer aus dem Wiener Boxverein Jab Club.

Ausführliche Literaturrecherchen zeigten, dass es keine anderen Untersuchungen gibt, die alle die genannten Parameter für die Sportart Boxen bereits ermittelt hätte. Die Ergebnisse der vorliegenden Studie sollen in der Praxis dazu dienen, dem Trainer oder dem Sportler die Wahl aus einer Vielzahl von Trainingsmöglichkeiten für die Schlagkraft zu erleichtern. Außerdem sollen sie als Anregung für weitere Arbeiten über die Schlagkraft dienen.

Die präsentierte Arbeit ist in vier Hauptteile gegliedert. Der erste Teil, der theoretische Teil, fasst den aktuellen Stand der Wissenschaft zu den Themen Boxen, Kraft und Schlagkraft zusammen. Im zweiten Teil, im empirischen Teil, werden die durchgeführten Methoden beschrieben. Im dritten Teil werden die Ergebnisse präsentiert und im letzten Abschnitt werden sie diskutiert und interpretiert.

## 2. Literaturrecherche

### 2.1 Sportartanalyse für die Sportart Boxen

Grundsätzlich wird im Boxen zwischen Amateur-, auch Olympisches Boxen genannt, und Profiboxen unterschieden. Die Hauptunterschiede liegen in der Anzahl der gekämpften Runden und in der Wertung des Kampfes. Daraus ergeben sich unterschiedliche technisch/taktische und konditionelle Anforderungen für den Kampf (Schmidli, 2016).

Amateurboxen ist eine olympische Disziplin. Das Reglement wird durch den Amateurboxverband AIBA bestimmt. Bei den Elite Herren dauert ein Kampf drei Runden für je 3 min mit 1 min Pause. Damen kämpfen vier Runden für je 2 min, ebenfalls mit 1 min Pause. Für den Sieg werden die Anzahl der Treffer gewertet. Die Treffer werden unabhängig von fünf Punkterichtern durch einen Computer, innerhalb der ersten Sekunde nach dem Schlag registriert. Werden drei der fünf Punkterichter den Schlag als Treffer, wird er gezählt. Außer durch die Punktwertung am Ende des Kampfes kann der Kampf durch einen K.o., oder durch einen technischen K.o. beendet werden. Ein K.o. ist ein Niederschlag nachdem sich ein Boxer nicht mehr erholen kann. Bei einem technischen K.o. beendet der Ringrichter, die eigene Ecke oder der Boxer selbst den Kampf aufgrund von Verletzungen oder Unterlegenheit. Die Wettkampfhandschuhe sind 10 oder 12 Unzen (oz) schwer, je nach Gewichtskategorie. Das Tragen eines ärmellosen Shirts in blau oder rot, von einem Mundschutz, einem Tiefschutz bei Männern und einem Brustschutz bei Frauen sind im Wettkampf vorgeschrieben. Außer Elite Herren müssen Damen und Nachwuchs einen Kopfschutz tragen.

Im professionellen Boxen werden vier bis zwölf Runden für je 3 min mit 1 min Pause geboxt. Die Bewertung erfolgt durch drei Kampfrichter nach einem Ten point must system. Der Sieger der Runde bekommt zehn Punkte, der Verlierer neun Punkte. Bei der Punktevergabe werden klare Treffer bei Angriffen oder Verteidigungen, aktives oder passives Kampfverhalten, Ringbeherrschung und Niederschläge berücksichtigt. Bei Verwarnungen wegen unsportlichen Verhaltens können Punkte abgezogen werden. Außer durch die Punktwertung kann der Kampf wie im Olympischen Boxen frühzeitig beendet werden. Das Reglement kann von Verband zu Verband leicht variieren. Gekämpft wird im Wettkampf mit 8 oder 10 oz Boxhandschuhen, ohne Kopfschutz, ohne Shirt, mit Zahn- und Tief-, oder Brustschutz (Schmidli, 2016).

Im Profiboxen besteht eine größere Gefahr verletzt zu werden als im Amateurboxen. Die Gründe dafür sind die längere Kampfdauer, oft eine größere Boxerfahrung als Profiboxer nach der Amateurkarriere, kleinere und weniger gepolsterte Wettkampfhandschuhe und eine positive

Bewertung von sichtbaren Verletzungen am Gegner. Bei der Amateurweltmeisterschaft 2001 gab es in 366 Kämpfen 6 K.o. Die geringe K.o. Quote bei Amateirkämpfen, lässt die Schlussfolgerung zu, dass im Profiboxen die Schlagkraft eine größere Bedeutung als im Amateurboxen besitzt (McCroory et al., 2012).

## **2.2 Körperkomposition**

Der durchschnittliche Körperfettanteil liegt zwischen 9 und 16% bei männlichen und zwischen 14 und 26% bei weiblichen Amateurboxern, abhängig vom Trainingszustand, dem Alter und der Gewichtsklasse. Die Werte für Körperfett decken sich mit denen aus anderen Kampfsportarten wie Karate, Taekwondo oder Judo. Boxer auf internationalem Niveau streben eine hohe Relativkraft mit einem niedrigen Körperfettanteil an (Chaabene et al., 2015). Die Relativkraft ist die Absolutkraft durch das Körpergewicht (Zatsiorsky & Kraemer, 2008, p. 77). Über das Verhältnis zwischen Körpergröße und Spannweite gibt wenig Studien für Boxen (Chaabene et al., 2015). In der Arbeit von Joch et al. (1982), hatte die Spannweite keinen Einfluss auf die Aufklärungsvarianz für die Schlagkraft.

Die leistungsbestimmenden Hauptmuskelgruppen für den Schlag sind die Beinmuskeln mit den Fußgelenksflexoren (*M. triceps surae*), den Kniestreckern (*M. quadriceps femoris*) und den Hüftstreckern (*M. gluteus maximus*, *M. ischiocrurales*). Die Rumpfmuskeln dienen zur Kraftübertragung aus den unteren in die oberen Extremitäten. Außerdem hilft eine kräftige Bauch- und Rückenmuskulatur gegnerische Schläge besser abzufangen und dient dem Boxer für Pendel- und Ausweichbewegungen. Für die Deckung sind hauptsächlich die Schultermuskeln (*M. deltoideus*) und die Armbeuger (*M. biceps brachii*, *M. brachialis* und *M. brachioradialis*) zuständig. Das Vorführen des Armes für den Schlag ist die Funktion der Brust- (*M. pectoralis major*) und Schultermuskulatur. An den geraden Schlägen sind die Armstrecker (*M. triceps brachii*) und bei den Aufwärts- und Seitwärtsthaken die Armbeuger beteiligt (Weineck, 2003, p. 342).

## **2.3 Ausdauer**

Um für den Sieg die notwendige Kraft, Schnelligkeit und Beweglichkeit bis zum Ende des Kampfes aufrechterhalten zu können, ist eine gut entwickelte sportartspezifische Ausdauer erforderlich (Pierce et al., 2006; Smith et al., 2000). Die Energiebereitstellung kann aerob und anaerob erfolgen. Die aerobe Kapazität wird durch die maximale Sauerstoffaufnahme (VO<sub>2</sub>max) mittels Spiroergometrie gemessen. Aus 27 Studien über Amateurboxen auf nationalem und internationalem Niveau wurde eine durchschnittliche VO<sub>2</sub>max bei Männern

zwischen 49 und 65 ml·kg<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup> und bei Frauen zwischen 44 und 52 ml·kg<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup> ermittelt. Die breite Streuung in der VO<sub>2</sub>max, kann vom Trainingszustand, von der Testmethode oder von der Gewichtsklasse des Boxers abhängen. Die Werte stehen im Einklang mit der VO<sub>2</sub>max aus anderen Kampfsportarten, sind jedoch unter den Höchstwerten von Elite Ausdauerathleten (Chaabene et al., 2015).

Beneke et al. (2013) analysierten die Energieversorgung während einer 3 x 2 minütigen Wettkampfsimulation mit Atemgasmessung von 32 Boxern mit dem Ergebnis, dass die Energie zu 73% aerob, zu 23% anaerob-alaktazid und zu 5% anaerob-laktazid erfolgte. Zu ähnlichen Resultaten kamen Davis et al. (2014) bei dem Energiestoffwechsel von 10 Boxern ebenfalls bei einem simulierten Wettkampf durch Boxprätzen, wobei die Energie zu 77% aerob, zu 19% anaerob-alaktazid und zu 4% anaerob-laktazid bereitgestellt wurde.

Arseneau et al. (2011) maßen bei neun erfahrenen Amateurboxern die VO<sub>2</sub>max direkt nach einem 3 x 2 minütigen Trainingskampf (Sparring) und während eines simulierten Sparrings mit Boxprätzen und am Boxsack. Die Durchschnittsbelastungen waren bei allen drei Belastungsformen ähnlich, die Sauerstoffaufnahme lag bei ~66-70% der VO<sub>2</sub>max und die Herzfrequenz (HF) war zwischen ~84-86% der HFmax. Die Intensität war nahe der maximalen Fettstoffwechselrate bei ~65% der VO<sub>2</sub>max (Romijn et al., 2000) und daher ebenfalls dominant im aeroben Bereich. Allerdings räumten die Autoren ein, dass die Intensität in einem realen Wettkampf höher wäre als im Sparring und damit die anaerobe Energiebereitstellung stärker zum Einsatz käme. Ghos (2010) maß bei 6 Eliteboxern unter simulierten Wettkampfbedingungen am Boxsack eine Intensität von 84-99% der VO<sub>2</sub>max und im Sparring für sechs Runden für je 2 min zwischen 14-15 mmol·L<sup>-1</sup> Laktat und zwischen 190-200 HF.

Boxer müssen daher eine hoch entwickelte aerobe Kapazität für den Wettkampf besitzen, auch im Hinblick auf die Regeneration der Kreatinphosphatspeicher in den Rundenpausen. Die anaerobe Energiebereitstellung sollte ebenfalls gut ausgebildet sein, um die hohe Laktatkonzentration und die nahezu maximale Ausbelastung tolerieren zu können (Ghos, 2010). Je höher die Anzahl der Runden sind, wie im Profiboxen, desto stärker kommt der aerobe Energiestoffwechsel zum Einsatz (Arseneau et al., 2011).

Eine häufig eingesetzte Trainingsmethode im Boxen um die Ausdauer zu trainieren, sind lange extensive Dauerläufe, das „roadwork“. Viele bekannte Boxweltmeister aus den 80er und 90er Jahren wie Mike Tyson, Evander Holyfield oder Vitali Klitschko sind an typischen Trainingstagen zwischen 5 und 11 km gelaufen (Gery, 2010).

Moderne Tendenzen im Kampfsport raten jedoch verstärkt von Dauerläufen ab (Ebben & Blackard, 1997; Hatfield, 1997; Lachlan et al., 2013; Ruddock et al., 2016; Tack, 2013) und empfehlen stattdessen Intervalltraining im extensiven (LIIT, lower-intensity interval training) sowie im intensiven (HIIT, high-intensity interval training) Bereich. Mit der Begründung, dass Intervalltraining mehr dem intermittierenden Belastungsprofil von Kampfsport entspricht und die Einheiten durch sportspezifische Übungen oder durch technisch/taktische Elemente absolviert werden können (Lachlan et al., 2013; Ruddock et al., 2016; Tack, 2013). Im LIIT liegt die Belastung zwischen 75-85% der VO<sub>2</sub>max und im HIIT zwischen 110-120% der VO<sub>2</sub>max (Lachlan et al., 2013).

Helgerud et al. (2007) untersuchten vier Laufprotokolle mit verschiedenen Belastungsintensitäten für acht Wochen an Sportstudenten. Zwei davon waren kontinuierliche Dauerläufe, mit 70% der HFmax für 45 min und mit 85% der HFmax für 25 min. Die anderen zwei Protokolle haben die Autoren als HIIT bezeichnet. Eines mit 15 s Belastung mit 90-95% der HFmax und 15 s Pause mit 70% der HFmax für 47 Wiederholungen (Wh). Das andere mit 4 x 4 min Belastung mit 90-95% der HFmax und 3 min Pause mit 70% der HFmax. Das 4 x 4 Protokoll hat die VO<sub>2</sub>max um 7,3% signifikant verbessert und das 15 / 15 Protokoll um 5,5%. Hingegen haben sich die Studenten durch die Dauermethoden kaum verbessert. Allerdings ist hier die Bezeichnung HIIT nicht zutreffend, weil es charakteristisch für ein Intervalltraining ist, zwischen den Belastungen eine lohnende Pause für die Erholung zu halten (Weineck, 2010, p. 279). Die Intensität mit 70% der HFmax war jedoch so hoch für die Pause im Intervalltraining, wie der trainingswirksame Bereich für den extensiven Dauerlauf. Deswegen sind in Helgerud et al. (2007) Studie kontinuierliche Dauermethoden mit Dauermethoden mit Belastungsspitzen verglichen worden. Die Dauermethoden mit Belastungsspitzen waren in dieser Untersuchung im Bezug auf die VO<sub>2</sub>max und das Herzminutenvolumen den kontinuierlichen Dauermethoden überlegen.

Für Tomasits and Haber (2011, p. 93) ist die entscheidende Trainingsmaßnahme um die VO<sub>2</sub>max zu verbessern den Trainingsumfang zu erhöhen, mit einer Trainingsintensität von > 50% der VO<sub>2</sub>max. Durch intensiveres Training wird eine bessere Ausnutzung der VO<sub>2</sub>max trainiert.

Ein Problem welches im Zusammenhang mit der Ausdauer auftreten kann, ist die störende Interferenz von Kraft- und Ausdauertraining (Bounty et al., 2011; Craig et al., 1991; Ebben & Blackard, 1997; Häkkinen et al., 2003; Lachlan et al., 2013). Bei langen extensiven Ausdauereinheiten kann es zu einer strukturellen Umwandlung von schnellzuckenden Typ II Muskelfasern in langsamzuckende Typ I Muskelfasern kommen (Ebben & Blackard, 1997;



Häkkinen et al., 2003; Turner et al., 2011). Kampfsportler sind nicht daran interessiert, die für die Schnelligkeit und Schlagkraft notwendigen Typ II Fasern umzuwandeln, auch wenn beim Laufen in erster Linie die Muskulatur der Beine betroffen ist. Es ist eine effiziente Periodisierung der Trainingsinhalte notwendig um die gegensätzlichen Wirkungsmechanismen von Kraft- und Ausdauertraining so gering wie möglich zu halten (Lachlan et al., 2013). Andere Sportarten wie z.B. Rugby zeigen vor, dass beide konditionellen Fähigkeiten auf einem hohen Level entwickelt und über die Spielsaison gehalten werden können (Baker & Nance, 1999).

Ein weiteres Hindernis neben der Muskelfaserumverteilung ist, dass sich der Skelettmuskel nicht gleichzeitig im vollen Ausmaß morphologisch und metabolisch anpassen kann. Während einer morphologischen Beanspruchung im Hypertrophietraining findet eine periphere Ermüdung wie Muskelfaserschädigung und Entleerung der Glykogenspeicher statt. Im HIIT kommt es ebenfalls auf peripherer Ebene aber zu einer metabolischen Ermüdung, wie die Anreicherung von anorganischem Phosphat, Ammoniak oder Laktat und auch zu einer Entleerung der Glykogenspeicher. Die Erholungsprozesse und damit auch die Anpassung beider Trainingsmethoden geschehen auf peripherer Ebene und beanspruchen hauptsächlich die gleichen Energiespeicher, deshalb ist es ungünstig Hypertrophietraining mit HIIT zu kombinieren (Leveritt et al., 1999).

Neben der peripheren Muskelermüdung gibt es noch eine zentrale Ermüdung des zentralen Nervensystems (ZNS) (Hohmann et al., 2014, p. 50). Eine zentrale Ermüdung wird durch eine verminderte neuronale Erregungsfähigkeit der beanspruchten Muskulatur verursacht (Asmussen, 1979). García-Pallarés et al. (2009) und Lachlan et al. (2013) schrieben, dass es bei LIIT hauptsächlich zu einer zentralen Anpassung kommt und deswegen eignet sich die Kombination mit der peripheren Anpassung von Hypertrophietraining mehr. Die zentrale, neuronale Anpassung vom Maximalkraft-/ Schnellkrafttraining lässt sich besser mit HITT verbinden. Hier würde eine geringere periphere Überschneidung stattfinden und die Muskelfaserumverteilung kann durch die hohe Intensität auch niedriger ausfallen.

Hypertrophietraining und extensive Ausdauer sind beide Umfang orientiert, keine wettkampfspezifischen Belastungen und sollten daher in der frühen Vorbereitungsperiode absolviert werden. HIIT und Maximalkraft-/ Schnellkrafttraining sollten in der Wettkampfperiode stattfinden (Lachlan et al., 2013).

Zusammenfassend zum Ausdauertraining im Boxen ist anzumerken, dass durch die dominant aerobe Energiebereitstellung im Wettkampf, ein adäquates Niveau der VO<sub>2</sub>max erforderlich ist. Nach Tomasits and Haber (2011, p. 93) ist die entscheidende Trainingsmaßnahme um die VO<sub>2</sub>max zu erhöhen, den Trainingsumfang zu steigern, mit einer

Mindestintensität ab 50% der VO<sub>2</sub>max. Aus dieser Überlegung ist das „roadwork“ nicht, wie von einigen Autoren empfohlen, vom Trainingsplan zu entfernen. Allerdings sollte die extensive Dauertraining nicht die einzige Methode sein um die Ausdauer zu trainieren und sollte in der Vorbereitungsperiode eingesetzt werden. Danach ist die Trainingsintensität zu erhöhen um eine bessere Ausnutzung der VO<sub>2</sub>max bzw. noch eine weitere Steigerung der VO<sub>2</sub>max zu erreichen.

Um die gegensätzlichen Wirkungsmechanismen von Kraft- und Ausdauertraining gering zu halten empfiehlt die Literatur, Hypertrophietraining mit extensivem Ausdauertraining in der Vorbereitungsperiode und Maximalkraft-/ Schnellkrafttraining mit intensivem Ausdauertraining mit geringem Umfang, wie das HIIT, in der Wettkampfperiode zu kombinieren. Das Ausdauertraining in der Wettkampfperiode sollte in das Technik/ Taktiktraining integriert werden, oder sportartspezifisch im Sparring stattfinden.

## **2.4 Kraft**

Ein differenziertes Krafttraining kann viele Vorteile sowohl für den Leistungssportler, als auch für den Gesundheitssportler haben. Die wichtigsten im Überblick sind:

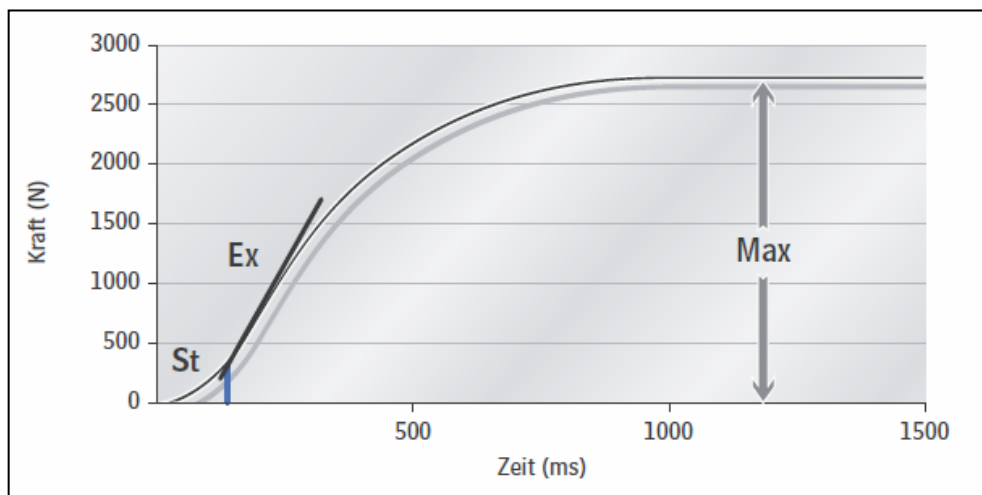
- Kraftzuwachs
- Verbesserung der Schnelligkeit
- Steigerung der Knochendichte
- Höhere Beweglichkeit
- Verstärkung der Bänder, Sehnen, Faszien und Gelenksstrukturen
- Verbesserung der Gelenkstabilisierung
- Verletzungsprophylaxe
- Schnellere Rehabilitation nach Verletzungen und Erkrankungen
- Positive Auswirkung auf den Gehirnstoffwechsel und Psyche (Gottlob, 2013)

Eine ausgeprägte Kraftfähigkeit trägt dazu bei, die physischen Anforderungen im Wettkampf erfüllen zu können (Chaabene et al., 2015). Wie in vielen anderen Sportarten ist es auch im Boxen erforderlich einen hohen Kraftanstieg in einer relativ kurzen Zeit für die sportliche Bewegung zu erreichen. Dafür ist eine hohe Schnellkraft bzw. eine hohe Explosivkraft erforderlich (Haff & Nimphius, 2012; Kawamori et al., 2013; Wirth & Schmidtbleicher, 2007a). Wie bereits erwähnt, ist für den Ausgang eines Kampfes besonders im Profiboxen die Schlagkraft von Bedeutung (McCrory et al., 2012). Die nächsten Kapitel werden sich mit den Teilbereichen der Kraft befassen.

## 2.4.1 Schnellkraft

„Nach Schmidtbleicher (1984) wird mit Schnellkraft die Fähigkeit des neuromuskulären Systems bezeichnet, einen möglichst großen Impuls in der zur Verfügung stehenden Zeit zu produzieren.[...] Den Vorgang, einer Masse eine bestimmte Geschwindigkeit zu verleihen, nennt man Impuls ( $p$ ). Die Höhe des Impulses ergibt sich aus dem Produkt der Masse des zu bewegendes Körpers, der verabreichten Beschleunigung und der Zeit, innerhalb derer diese Beschleunigung auf den Körper einwirkt ( $p = m \cdot a \cdot t$  oder auch  $p = m \cdot v$ ). Da die Kraft ( $F$ ) durch das Produkt aus Masse und Beschleunigung definiert ist ( $F = m \cdot a$ ), ergibt sich für den Kraftstoß  $p = F \cdot t$ .“ (Wirth & Schmidtbleicher, 2007a, p. 35)

Die Schnellkraft fügt sich aus der Start-, der Explosiv- und der Maximalkraft zusammen. Die Startkraft ist die Anfangskontraktion einer Bewegung in den ersten 25-30 ms. Die Explosivkraft ist die höchste Kraftzunahme pro Zeiteinheit. Die Maximalkraft ist das höchste willkürlich realisierte Kraftmaximum des Muskel-Nerv-Systems (Wirth & Schmidtbleicher, 2007a). Aus physiologischer Sicht sind für die Schnellkraft vor allem der Muskelquerschnitt, die Muskelfaserverteilung, das Rekrutierungsvermögen des ZNS und die Impulsfrequenz, mit der der Muskel innerviert wird, verantwortlich (de Marées & Heck, 2002; Wirth & Schmidtbleicher, 2007a). Auf Abbildung 1 ist die Schnellkraft als Impuls mit ihren Teilkomponenten dargestellt. Die Startkraft wird in der vorliegenden Arbeit nicht mehr gesondert behandelt, weil sie als ein Teil der Explosivkraft verstanden wird.



**Abbildung 1: Die Schnellkraft als Impuls auf der Kraft-Zeit Kurve (Wirth & Schmidtbleicher, 2007a)**

Legende: St = Startkraft, Ex = Explosivkraft, Max = Maximalkraft, N = Newton, ms = Millisekunden

## 2.4.2 Exkurs Muskelleistung

Ein weiterer Parameter im Zusammenhang mit der Schnellkraft ist neben dem Impuls, vor allem im angloamerikanischen Raum, die Muskelleistung oder „Power“. Die physikalische Leistung (P) ist die verrichtete Arbeit (W) pro Zeiteinheit (t),  $P = W / t$ ,

die Arbeit ist die wirkende Kraft mal der Wegstrecke,  $W = F \cdot s$ ,

daher ist  $P = F \cdot s / t = F \cdot v$  (Haff & Nimphius, 2012).

Für die Muskelleistung bedeutete das, die Geschwindigkeit mit der Muskelkraft verrichtet wird, oder in praktischer Form, die Explosivität mit der die sportliche Bewegung absolviert wird (Asçi & Açıkada, 2007; B. Pampus, 1989).

Asçi and Açıkada (2007) verglichen in verschiedenen Sportarten (Sprinten, Basketball, Handball, Volleyball und Bodybuilding) die Maximalleistung und den Maximalimpuls im Bankdrücken und stellten keinen signifikanten Unterschied zwischen den Lasten fest. Sowohl für die Maximalleistung als auch für den Maximalimpuls lagen sie zwischen 50-59% des 1RM. Außer bei den Bodybuildern waren Maximalleistung mit 63% des 1RM und Maximalimpuls mit 42% des 1RM weiter auseinander, jedoch nicht signifikant.

B. Pampus (1989) definiert die Maximalleistung oder die Muskelleistungsschwelle (MLS), als den Punkt an dem die Skelettmuskulatur mit der höchsten Energieübertragung arbeitet. Die MLS kann nur erreicht werden, indem alle beteiligten Muskeln mit maximaler Verkürzungsgeschwindigkeit arbeiten (B. Pampus, 1989). Die Muskel-Verkürzungsgeschwindigkeit ist jene Geschwindigkeit, mit der sich Ursprung und Ansatz eines Muskels oder einer Muskelfaser annähern (Wirth & Schmidtbleicher, 2007a). In B. Pampus (1989) Untersuchung korrelierte die MLS sehr hoch mit der isometrischen Maximalkraft ( $r = 0,92$ ) sowie mit der maximalen kinetischen Energie ( $r = 0,96$ ) als Schnellkraftindikator.

Die MSL liegt zwischen 30-80% des 1RM, abhängig vom Trainingszustand des Sportler und von der ausgeführten Übung (Asçi & Açıkada, 2007; Baker, 2001; Baker et al., 2001). Das Training an oder um die MLS wird in der Literatur als die Schnellkrafttrainingsmethode (Wirth & Schmidtbleicher, 2007a) oder das „Power“-Training (Filimonov et al., 1985; Ruddock et al., 2016; Tack, 2013) bezeichnet.

### 2.4.3 Maximalkraft

Die Maximalkraft gilt als Basisgröße für die Schnell-, und Explosivkraft. Durch die Methode der maximalen Kontraktion kommt es in erster Linie zu einer Verbesserung der Innervation der Skelettmuskulatur durch das ZNS. Es findet eine Optimierung der intramuskulären Koordination statt. Die neuronalen Hauptmechanismen für die intramuskuläre Koordination sind die Geschwindigkeit mit der die Muskulatur angesteuert wird (Frequenzierung), die Fähigkeit auf möglichst viele motorische Einheiten zu Kontraktionsbeginn zugreifen zu können (Rekrutierung) und die Fähigkeit diese auch möglichst gleichzeitig aktivieren zu können (Synchronisation) (Wirth et al., 2012, p. 25). Eine wichtige Voraussetzung für eine hohe Frequenzierung ist eine hohe willentlich explosive Kraftentfaltung. Die Maximalkraft kann bereits mit einer Entladungsfrequenz von 55 Hz erreicht werden. Bei einem hohen explosiven Kraftanstieg können bis zu 100 Hz erzeugt werden. Wird der erzeugte Impuls mit niedriger Entladungsfrequenz durchgeführt, dient sie nur zur Überwindung der Hantellast und die Effekte für die Schnellkraft sind viel geringer bis gar nicht vorhanden (Behm & Sale, 1993; Wirth & Schmidtbleicher, 2007a). Das Maximalkrafttraining mit explosiver Ausführung wird als intramuskuläres Koordinationstraining (IK-Training) bezeichnet (Wirth & Schmidtbleicher, 2007a).

Zwischen dem Maximalkraftniveau und der Bewegungsschnelligkeit während der sportlichen Bewegung gibt es einen hohen signifikanten Zusammenhang (Bührle & Schmidtbleicher, 1977; Loturco et al., 2014; Loturco et al., 2016; Stone et al., 2003; Wirth et al., 2011). Loturco et al. (2016) stellten bei 15 Amateurboxern aus dem brasilianischen Nationalteam eine sehr hohe Korrelation ( $r=0,83$ ;  $p<0,01$ ) zwischen der isometrischen Maximalkraft in der Kniebeuge und der Schlagkraft der geraden Schlaghand fest. Des Weiteren bestimmten Loturco et al. (2014) bei 19 Karatekas (Karatesportler) ebenfalls aus dem brasilianischen Nationalteam zwischen der Beschleunigung der geraden Schlaghand (Giaku-Tsuki) und dem relativen 1RM in der Kniebeuge ( $r = 0,657$ ;  $p < 0,05$ ) und dem relativen 1RM im Bankdrücken ( $r = 0,708$ ;  $p < 0,05$ ) ebenfalls eine hohe signifikante Abhängigkeit.

Eine Freiburger Arbeitergruppe konnte bei elf Boxern des nationalen A-Kaders den Zusammenhang zwischen der Bewegungsschnelligkeit in einer liegenden Ausstoßbewegung mit einem nahezu reibungslosen Schlitten, ähnlich einem Boxstoß, und der isometrischen Maximalkraft der Armstrecker mit einer sehr hohen Korrelation ( $r = 0,75$ ) belegen. Außerdem wurde die Maximalkraft der Boxer mit der von Sportstudenten verglichen, mit dem Ergebnis, dass die Boxer schwächer waren. Die Studenten waren keine Leistungssportler und betrieben auch kein regelmäßiges Krafttraining. Erschrocken von dem Ergebnis, absolvierten die Boxer

ein gezieltes Krafttraining und nach zehn Monaten verbesserten die vier stärksten Athleten ihre Ausstoßzeit um 7,1%. Die Schlussfolgerung der Autoren war, dass je höher die koordinativen Fertigkeiten der Athleten war, umso mehr konnte eine Steigerung der Maximalkraft in eine Verbesserung der Bewegungsgeschwindigkeit umgesetzt werden. Außerdem blieb selbst bei Boxern auf höchstem Niveau, ohne ein zusätzliches Krafttraining, die Maximalkraft unterentwickelt (Bührle et al., 1982).

Trotzdem gab oder gibt es eine gewisse Skepsis gegenüber dem Training mit hohen Lasten im Boxen (Ebben & Blackard, 1997). Eine Erklärung dafür wäre die Fehlinterpretation, dass Krafttraining erstens langsam macht (Bührle et al., 1982; Bührle & Schmidtbleicher, 1977; Ebben & Blackard, 1997; Heyden et al., 1988; Joch et al., 1982) und zweitens, dass Krafttraining zwangsläufig mit einer Gewichtszunahme einhergeht und dadurch der Verbleib in der Gewichtsklasse gefährdet wäre (Ebben & Blackard, 1997).

Als Teilkomponente der Schnellkraft, ist die Maximalkraft für die Schnellkraft unerlässlich. Das konnte im Schnellkraft- und Maximalkraftkapitel aufgezeigt werden und wird auch in den folgenden Kapiteln ausführlich dokumentiert. Bezüglich der Massezunahme ist zu erwähnen, dass es in der Hypertrophie-Trainingsphase in der Vorbereitungsperiode (Lachlan et al., 2013; Wirth & Schmidtbleicher, 2007b) zu einer Gewichtszunahme durch die morphologische Anpassung der Muskelfasern kommen kann (Wirth et al., 2012, p. 21). Hingegen wird in der Wettkampfperiode die Maximalkraft- (Wirth et al., 2012, p. 25) oder die Schnellkraftmethode (Lachlan et al., 2013) eingesetzt, wodurch es hauptsächlich zu einer funktionellen, neuronalen Anpassung des ZNS kommt, welche abhängig vom Trainingszustand kaum eine Gewichtszunahme verursacht (Wirth et al., 2012, p. 21). Wirth et al. (2011) konnte bei 196 Sportstudenten in acht Wochen die Maximalkraft zwischen 11,1 und 32,2% steigern und nur in einer Trainingsgruppe (24 Personen) stieg die Körpermasse um 0,87 kg signifikant an. Außerdem kann eine geringe Gewichtszunahme durch diätarische Maßnahmen, von Sportlern die mit dem Prozess der Gewichtsreduktion vertraut sind, leicht kompensiert werden (Ebben & Blackard, 1997).

#### **2.4.4 Explosivkraft**

Die Explosivkraft ist der Kraftanstieg pro Zeiteinheit oder die Eigenschaft, maximale Kraft in minimaler Zeit zu entwickeln. Diese Eigenschaft ist deswegen von Bedeutung, weil für die Kraftübertragung während einer Wettkampfübung ein limitiertes Zeitfenster zur Verfügung steht. Im Spitzensport dauert z.B. der Abdruck mit den Füßen im Sprint zwischen 0,08-0,10 s, oder der Abwurf im Speerwerfen zwischen 0,16-0,18 s (Zatsiorsky & Kraemer, 2008, p. 43). In

Cheraghi et al. (2014) Arbeit dauerte ein Schlagzyklus von der ersten Bewegung im Sprunggelenk bis zum Auftreffen der Faust ca. 0,3 s. Die Zeit bis der Impuls auf das Schlagobjekt einwirkt ist wesentlich kürzer. In der vorliegenden Studie war im Mittel die Impulsdauer 0,03 s. Bei Walilko et al. (2005) Boxern dauerte der Impact 0,013 s. Das Erreichen der nahezu vollständigen isometrischen Maximalkraft dauert im Schnitt 0,3-0,4 s. Ziel ist es, in diesem limitierten Zeitfenster so viel wie möglich von dem vorhandenen Kraftpotential zu generieren, welches über die Explosivkraftfähigkeit zu erreichen ist (Zatsiorsky & Kraemer, 2008, pp. 43,44). Je kürzer der Beschleunigungsweg, je höher die Bewegungsgeschwindigkeit und je kleiner die bewegte Masse, umso mehr Bedeutung gewinnt die Explosivkraft für die sportliche Bewegung (Wirth & Schmidtbleicher, 2007a).

Um die Explosivkraftfähigkeit gesondert zu trainieren werden Übungen mit hohen Bewegungsgeschwindigkeiten und niedrigen Lasten wie Sprünge, Würfe- oder Sprintvarianten eingesetzt. Explosivkraftübungen finden oft im Dehnungs-Verkürzungszyklus (DVZ) statt und werden auch als Reaktivkrafttraining bezeichnet (Wirth et al., 2012, pp. 33,38).

#### **2.4.5 Exkurs Dehnungs-Verkürzungszyklus**

Typische Trainingsübungen im DVZ sind der CMJ, Drop Jump oder Medizinball Prellwürfe (Güllich & Schmidtbleicher, 1999). Im DVZ wird der konzentrischen (Verkürzung) Phase der Bewegung unmittelbar davor eine exzentrische (Dehnung) vorgeschaltet. Wenn eine Sehne oder aktiver Muskel gedehnt wird, entsteht dabei elastische Energie, wie bei einer Feder. Diese Energie wird im Muskelsehnenkomplex gespeichert und bei der unmittelbar darauffolgenden konzentrischen Bewegung wieder freigesetzt und zwar in der gleichen Größe wie zuvor gespeichert. Dadurch erhöht sich die Kraft- und Leistungsabgabe und der Energieaufwand sinkt (Zatsiorsky & Kraemer, 2008, p. 54). Es wird angenommen, dass sich 90% aller sportlichen Bewegungen im DVZ befinden, das sind alle Lauf- und Sprungformen, Wurf und Stoßbewegungen. Die „Stiffness“ des Muskelsehnenkomplexes kann durch das Reaktivkrafttraining verbessert werden und zu einem steileren Kraftanstieg führen (Güllich & Schmidtbleicher, 1999). Im Boxen sind bei Bewegungsanalysen der geraden Schlaghand, ebenfalls kurze exzentrische Auftaktbewegungen vor dem Schlag festgestellt worden (Cheraghi et al., 2014; Piorkowski et al., 2011).

Ein zweiter Mechanismus der beim DVZ zusätzlich zu einem schnelleren Kraftanstieg beitragen kann, ist die Aktivierung des Dehnungsreflexes. Der Dehnungsreflex, gesteuert über die Muskelspindel, kann bei einer sehr schnellen Dehnung der Muskulatur, wie bei einer harten Landung nach einem Niedersprung, durch eine Reflexkontraktion auf Rückenmarksebene, eine

Zunahme der Entladungsfrequenz bewirken und dadurch den Kraftanstieg zusätzlich erhöhen. Allerdings kann der Golgi-Sehnen-Reflex, der die Muskulatur und Sehne vor zu großer Spannung schützt, durch seine inhibitorische Wirkung, die Stärke des Dehnungsreflexes mindern. Die beiden Reflexe bewirken gemeinsam das Niveau der Muskelaktivierung und durch Training kann die hemmende Wirkung der Golgi-Sehnen Organe, zugunsten des Dehnungsreflexes, herabgesetzt werden (Zatsiorsky & Kraemer, 2008, pp. 56,57).

#### **2.4.6 Zusammenhang zwischen Maximal- und Explosivkraft**

Für den Ausprägungsgrad der Explosivkraft ist die Maximalkraft bis zu einem gewissen Teil verantwortlich (Bührle et al., 1982; Wirth & Schmidtbleicher, 2007a). Das belegt auch der signifikante Zusammenhang der Explosiv- und der Maximalkraft in der Literatur (Aagaard et al., 2002; Baker & Nance, 1999; Bührle et al., 1982; Bührle & Schmidtbleicher, 1977; Moss et al., 1997; Oliveira et al., 2013).

Aagaard et al. (2002) ließen 15 kraftunerfahrene Probanden 14 Wochen, nach einer Eingewöhnungsphase, Hypertrophie- und Maximalkrafttraining absolvieren. Posttraining wurde die Explosivkraft (Nm/s) mittels Elektromyografie (EMG) durch eine isometrisch maximal willkürliche Kontraktion (MVC) des Oberschenkels gemessen. Das Ergebnis war eine signifikante Erhöhung der kontraktiven Explosivkraft, in der Startphase von 0 bis 50 ms zwischen 23-26% und von 100 bis 200 ms zwischen 17-20%. Oliveira et al. (2013) bekamen ähnliche Resultate nach einer sechswöchigen, isometrischen Maximalkraftphase für die Beinstrecker bei neun kraftunerfahrenen Sportstudenten. Die Explosivkraft stieg signifikant zwischen 22-28% für die Beinstrecker in den ersten 20 ms.

Es gibt aber auch Studien, die keinen Zusammenhang zwischen der Maximal- und der Explosivkraft feststellen konnten. Wirth et al. (2006) erreichten bei 222 mäßig krafttrainierten Probanden eine signifikante Verbesserung in der sportlichen Bewegung (Squat Jump und CMJ) nach einer achtwöchigen Trainingsphase mit verschiedenen Belastungsintensitäten, aber bei der Messung der isometrischen Explosivkraft der Beine gab es keine Steigerung sondern teilweise eine signifikante Verschlechterung. Cormie et al. (2010) maßen nach zehn Wochen Maximalkrafttraining eine Erhöhung der Explosivkraft im Squat Jump aber keine Verbesserung der Explosivkraft in der isometrischen MVC.

Das Ziel vom Krafttraining im Leistungssport ist neben der Verletzungsprophylaxe, die gesteigerte Explosivkraft auf die sportliche Bewegung übertragen zu können. Ob das Techniktraining ausreichend ist um die Explosivkraft auf die Zielübung zu übertragen hängt vom Kraftniveau des Athleten ab. Wird der Kraftanstieg bei einem relativen Kraftanfänger durch IK-



Training stark verbessert, wird der Transfer auf die Zielübung auch hoch sein. Steigt das Kraftniveau des Athleten, werden die Fortschritte im IK-Training kleiner und dadurch wird auch der Transfer kleiner. In diesem Fall sind daher zusätzliche Übungen für die Explosivkraft notwendig um eine weitere Übertragung auf die Zielübung zu erzielen (Wirth et al., 2012, p. 34).

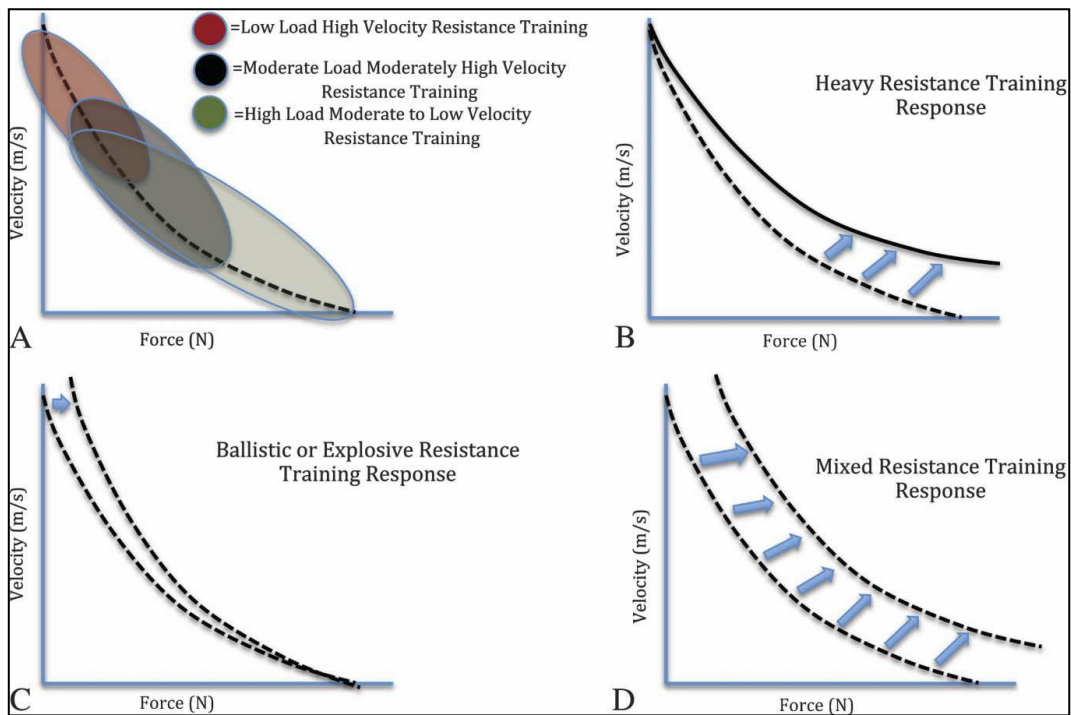
#### **2.4.7 Zusammenhang zwischen Maximalkraft und Muskelleistungsschwelle**

Die MLS ist ebenfalls von der Höhe der Maximalkraft abhängig (Baker, 2001; Baker & Nance, 1999; McBride et al., 2002; Moss et al., 1997). Baker and Nance (1999) maßen bei zwölf Rugby Profispielern den linearen Zusammenhang zwischen dem 3RM im Bankdrücken, in der Kniebeuge und der MLS während einer Ausstoßbewegung im Bankdrücken, einer gesprungenen Kniebeuge und im Hangreißen. Die Korrelation zwischen dem Bankdruck und der Ausstoßbewegung ( $r = 0,89$ ) und zwischen der Kniebeuge und der gesprungenen Kniebeuge ( $r = 0,81$ ) war sehr hoch. Im Hangreißen korrelierte die MLS stärker mit der Kniebeuge ( $r = 0,79$ ) als mit dem Bankdrücken ( $r = 0,51$ ). Der Zusammenhang zwischen dem 3RM im Bankdrücken und in der Kniebeuge war ebenfalls groß ( $r = 0,58$ ). Die Korrelation zwischen der MLS in der Ausstoßbewegung und in der Sprungkniebeuge betrug  $r = 0,71$ . Alle Zusammenhänge waren auf einem Signifikanzniveau von  $p \leq 0,05$ .

Moss et al. (1997) stellten während einer isolierten Armbeugebewegung einen fast perfekten Zusammenhang ( $r = 0,93$ ,  $p < 0,001$ ) bei 31 gut trainierten Sportstudenten zwischen dem 1RM und der MLS her. Die MLS lag zwischen 35-50% des 1RM. Außerdem wurde eine sehr hohe Korrelation ( $r = 0,73$ ;  $p < 0,001$ ) zwischen der Maximalkraft und der Muskelleistung mit einer Last von 2,5 kg ermittelt. Das ist ein Indiz dafür, dass die Maximalkraft auch für schnelle Bewegungen mit geringer Last von Bedeutung ist.

#### **2.4.8 Methoden für Schnellkrafttraining**

Wie bisher erwähnt gibt es drei verschiedene Trainingsmethoden um die Schnellkraft zu entwickeln: Das IK-Training, das Explosivkrafttraining und das Training an der MLS bzw. das Schnellkrafttraining. In der Praxis werden auch Kombinationen aus den drei Trainingsmethoden angewendet. Abbildung 2 zeigt die verschiedenen Schnellkraft-Trainingsmethoden, dargestellt auf der Hill'schen Kraft-Geschwindigkeitskurve (F-v Kurve).



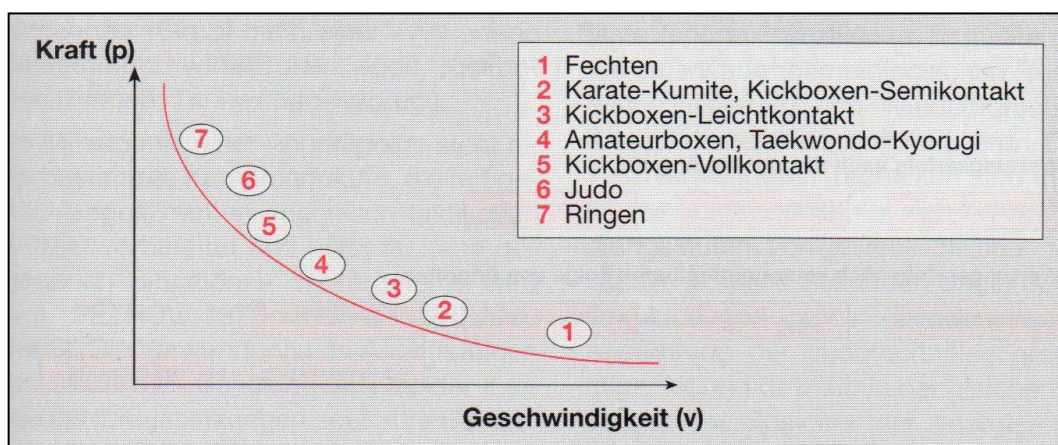
**Abbildung 2: Verschieden Schnellkraft-Trainingsmethoden dargestellt auf der F-v Kurve (Haff & Nimpius, 2012, p. 7)**

Grafik A zeigt die verschiedenen Belastungsintensitäten der drei Trainingsmethoden, gut zu sehen ist der größte Einfluss der Maximalkraft. Den mittleren Bereich deckt die Schnellkraftmethode ab. Auf Grafik B ist die primäre Anpassung durch ein Maximalkrafttraining zu sehen, mit hohen Lasten und niedriger Bewegungsgeschwindigkeit. Auf Grafik C ist die Entwicklung durch die Explosivkraftmethode dargestellt, mit niedrigen Lasten und hoher Bewegungsgeschwindigkeit. Grafik D zeigt kombinierte Trainingsmethoden, wodurch es zu einer kompletten Rechtsverschiebung auf der F-v Kurve kommen kann. Es können sowohl höhere Geschwindigkeiten erreicht werden als auch höhere Lasten bewältigt werden. Wie bereits erwähnt, kann ein reines IK-Training, bis zu einem bestimmten Kraftniveau, über die Steigerung der Maximalkraft die Explosivkraft verbessern (Bührlé et al., 1982; Wirth & Schmidtbleicher, 2007a) und damit auch die Anpassungen auf Grafik D bewirken.

Eine oft diskutierte Frage ist, ob die Schnellkraftmethode einen weiteren Vorteil gegenüber der Maximalkraftmethode in Bezug auf die Schnellkraftleistung der sportlichen Bewegung besitzt, zumal die Meinungen in der Literatur zu diesem Thema auseinandergehen. In Abbildung 3 Grafik A ist zu sehen, dass der Bereich der Schnellkraftmethode eigentlich vom Maximalkraft- und Explosivkrafttraining abgedeckt wird. In der Periodisierung für Kampfsport findet in der Wettkampfperiode je nach Autoren sowohl die Schnellkraftmethode (Filimonov et al., 1985; Ruddock et al., 2016; Tack, 2013), als auch die Maximalkraftmethode (Bounty et al., 2011; Güllich & Schmidtbleicher, 1999; Henry, 2011; Lenetsky et al., 2013; Wirth et al., 2012;

Wirth & Schmidtbleicher, 2007b), oder Mischmethoden aus beiden (Lachlan et al., 2013; Turner et al., 2013) statt.

Abbildung 3 zeigt die Position der Wettkampfleistung von verschiedenen Kampfsportarten nach Lehmann (2000) auf der Hill'schen F-v Kurve. Zu erkennen ist der Verlauf von schnelligkeitsbetonten Leichtkontakt Sportarten wie Fechten oder Karate hinzu zu kraftbetonten Kontakt-Kampfsportarten wie Judo oder Ringen. Amateurboxen befindet sich in der Mitte der Kurve. Es ist davon auszugehen, dass sich Berufsboxen aufgrund der höheren Gewichtung der Schlagkraft (McCrary et al., 2012) weiter links auf der Kurve befindet. Möglicherweise kann die Darstellung von Lehmann (2000) zu der Annahme führen, dass die verschiedenen Kampfsportarten entsprechend ihrer Position auf der Hill'schen F-v Kurve trainiert werden müssen. Bei so einem Vorgehen, wurde jedoch der Zusammenhang zwischen den Erscheinungsformen der Kraft ignoriert oder nicht verstanden. Welche Trainingsmethode angewendet werden sollte ist primär vom Trainingszustand des Athleten abhängig, je nachdem ob ein Maximalkraft- oder ein Explosivkraftdefizit vorliegt (Zatsiorsky & Kraemer, 2008, pp. 44,45).



**Abbildung 3: Position verschiedener Kampfsportarten auf der Hill'schen F-v Kurve (Lehmann, 2000)**

Wirth and Schmidtbleicher (2007a) führen die teilweise Fehlinterpretation oder die Überbewertung der Schnellkrafttrainingsmethode auf die verwechselnden oder fälschlicherweise synonym gebrauchten *Geschwindigkeitsbegriffe* im Zusammenhang mit der Schnellkraft zurück. Ziel einer schnellkräftigen Bewegung ist es in einer vorgegebenen Zeit eine möglichst große Kraft bzw. eine hohe *Bewegungsgeschwindigkeit* zu entwickeln. Für eine hohe *Bewegungsgeschwindigkeit* ist eine hohe inter- und intramuskuläre Koordination notwendig. Die intermuskuläre Koordination, das Zusammenspiel der verschiedenen Muskelgruppen an einer Bewegung hängt von der Bewegungstechnik ab. Die intramuskuläre Koordination bestehend aus

der Frequenzierung, der Rekrutierung und der Synchronisation der Muskelfasern und wird wie schon erwähnt, im IK-Training gegen maximale Lasten am besten trainiert. Das IK-Training verbessert die *Kontraktionsgeschwindigkeit*.

Die *Kontraktionsgeschwindigkeit* ist die Zeit die ein Muskel benötigt um einen bestimmten Spannungszustand zu erreichen und wird genetisch durch die Muskelfasertypen determiniert (Bernd Pampus, 1992; Wirth & Schmidtbleicher, 2007a). Die Schnellkrafttrainingsmethode an der MLS wird mit maximaler *Verkürzungsgeschwindigkeit* ausgeführt. Die *Verkürzungsgeschwindigkeit* ist jene Geschwindigkeit mit der sich ein Muskel oder eine Muskelfaser um einen bestimmten Betrag verkürzt. Sie hängt neben der intermuskulären Koordination von der Muskellänge und von der *Kontraktionsgeschwindigkeit* der Muskelfasern ab (Wirth & Schmidtbleicher, 2007a).

Zwei Fehlinterpretationen können zur Annahme führen, dass die Schnellkraftmethode der IK-Methode als ebenbürtig oder gar überlegen verstanden wird: Erstens, dass die *Kontraktionsgeschwindigkeit* am besten mit Belastungsintensitäten um die MLS zu entwickeln ist. Zweitens, dass Bewegungen mit maximalen Lasten mit niedriger *Bewegungs-* und *Verkürzungsgeschwindigkeit* auch mit einer niedrigen *Kontraktionsgeschwindigkeit* einhergehen müssen. Beide Interpretationen treffen nicht zu und aus diesem Grund hat die Schnellkrafttrainingsmethode gegenüber der Maximalkraftmethode nur ergänzenden Charakter.

Hinzukommt, dass es sich in vielen Studien, so auch über die MLS, um kurze Trainingsinterventionen mit kraftuntrainierten Probanden handelt. Unter solchen Bedingungen reichen auch geringe Trainingsreize um eine Adaptation auszulösen. Es kann nicht davon Ausgegangen werden, dass diese Anpassungen auf austrainierte Leistungssportler übertragbar sind, solange die physiologischen Grundlagen dafür fehlen. Das bedeutet nicht, dass das Training um die MLS gar keine Berechtigung für die Erhöhung der Bewegungsgeschwindigkeit hat, nur sollte beachtet werden, wann es für wen sinnvoll eingesetzt werden kann (Wirth & Schmidtbleicher, 2007a).

Das Ziel im Leistungssport ist, den Impuls oder die Muskelleistung während der sportlichen Bewegung zu verbessern. Die verwendeten Lasten dafür hängen von der Wettkampfübung ab, für den Gewichtheber als Beispiel sind das maximale Lasten mit der Langhantel und für den Boxer sind es minimale Lasten mit den Boxhandschuhen.

Es gibt keinen physiologischen Nachweis bis jetzt, wieso das Training um die MLS die beste Trainingsmethode für die Schnellkraft sowohl mit maximalen als auch mit minimalen Lasten darstellen sollte (Wirth & Schmidtbleicher, 2007a). Die nächsten Kapitel widmen sich der speziellen Form der Kraft im Boxen, der Schlagkraft.

## 2.5 Schlagkraft

Obwohl Schnelligkeit und Treffgenauigkeit für die Effektivität eines Schläges notwendig sind (Piorkowski et al., 2011), haben mehrere Studien gezeigt, dass die Schlagkraft einen wesentlichen Beitrag zum Sieg eines Kampfes leistet (Lenetsky et al., 2013; Loturco et al., 2016; Pierce et al., 2006; Smith, 2006), besonders im Profiboxen (McCrary et al., 2012). Die Messung der Schlagkraft kann als Leistungsdiagnostik für Teamselektionsverfahren, als Talentidentifizierung dienen, oder um die Effizienz von Trainingsinterventionen zu evaluieren. Leider wird auf dieses wichtige Leistungsmessinstrument häufig im Kampfsport verzichtet (Lenetsky et al., 2013). Es wurden verschiedene Systeme entwickelt um die Schlagkraft zu messen:

- In einem mit Wasser gefüllten Boxsack installierter Drucksensor (Fortin et al., 1995; Fritsche, 1978),
- Im Nacken eines Aufprall-Dummys befestigter Kraftsensor (Loturco et al., 2014; Mack et al., 2010; Walilko et al., 2005),
- Eine verkleidete Kraftmessplatte auf einer Wand befestigt (Loturco et al., 2016) .
- Ein Pendel mit einem Kraftsensor (Atha et al., 1985) oder mit einem Dehnungsstreifen (Chadli et al., 2014) versehen
- In Boxhandschuhen integrierte Kraftsensoren (Pierce et al., 2006)

Häufig werden Schlagmessgeräte mit einem piezoelektrischen Kraftsensor ausgestattet (Atha et al., 1985; Girodet et al., 2005; Lenetsky et al., 2013; Smith et al., 2000). Die Wahl für diese Kraftsensoren liegen in der Genauigkeit und im leichten Nachweis der Reliabilität (Harris et al., 2010; Lenetsky et al., 2013). Tabelle 1 zeigt die Ergebnisse verschiedener Schlagmessgeräte.

**Tabelle 1: Ergebnisse verschiedener Schlagmessgeräte modifiziert nach (Lenetsky et al., 2013)**

Studie	Teilnehmer	Schlagmessgerät	Getesteter Schlag	Schlagkraft in N
mean force (MF) = durchschnittliche Schlagkraft; peak force (PF) = maximale Schlagkraft				
(Birken et al., 2001)	Boxweltmeister Vitali Klitschko	Boxhandschuh und Boxsack mit Beschleunigungssensor ausgestattet	Schlaghand	5315 (PF)
	Boxweltmeister Wladimir Klitschko (n=2)			5545 (PF)
(Atha et al.,	Boxweltmeister Frank	Gepolstertes 7 kg Pendel mit einem	Schlaghand	4.096 (PF)

1985)	Bruno (n=1)	piezoelektrischen Kraftsensor			
(Smith et al., 2000)	Olympische Boxer Elite (n=7), Fortgeschritten(n=8), Anfänger (n=8)	In einer Platte integrierter Boxdynamometer mit einem dreidimensionalen piezoelektrischen Kraftsensor	Elite Schlaghand	4.800 ± 227 (MF)	
			Elite Führhand	2.874 ± 225 (MF)	
			Fortgeschritten Schlaghand	3.722 ± 133 (MF)	
			Fortgeschritten Führhand	2.283 ± 126 (MF)	
			Anfänger Schlaghand	2.381 ± 116 (MF)	
			Anfänger Führhand	1.604 ± 97 (MF)	
(Walilko et al., 2005)	Olympische Boxer 48-109 kg (n=7)	Kraftsensoren im Kopf und Nacken eines Aufprall-Dummys integriert und ein Beschleunigungsmesser in der Hand des Boxers	Gerade Schlaghand	1.990–4.741 (PF)	
				3.427 ± 811 (MF)	
(Pierce et al., 2006)	Profiboxer 59-99 kg (n=12)	Kraftsensor eingebettet im Boxhandschuh	Nicht bekannt	866,6-1.149,2 (MF)	
				5.358 (PF)	
(Loturco et al., 2016)	Olympische Boxer vom brasilianischen Nationalem (n=9 Männer, n=7 Frauen)	An einer Wand befestigte Kraftmessplatte mit einem Schlagpolster verkleidet	Führhand aus fixierter Position	Männer	Frauen
				1.152±247 (MF)	903±214 (MF)
			Führhand aus selbstgewählter Position	1.212±270 (MF)	933±165 (MF)
				Schlaghand aus fixierter Position	1,332±235 (MF)
(Joch et al., 1982)	Olympische Boxer Schlagniveau 1 >3500N (n=10)	Boxsack (Schlagdynamometer)	Gerade Schlaghand	3874±289 (MF)	
	Schlagniveau 2 2500-3500N (n=26)			2886±286 (MF)	
	Schlagniveau 3 <2500N (n=34)			2160±273 (MF)	

Die höchste Schlagkraft wurde von Schwergewichtsweltmeister Wladimir Klitschko mit 5545 N gemessen, mit einem Impuls von 203 Ns, mit einer Impulsdauer von 20 ms und einer Maximalgeschwindigkeit von 9,5 m/s. Die Automobil-Unfallforschung stuft einen so hohen Impuls, übertragen auf eine relativ geringe Masse wie den menschlichen Kopf (~7 kg) als kritisch ein (Birken et al., 2001). Atha et al. (1985) verglichen die Schlagkraft von 4.096 N von Boxweltmeister Frank Bruno, mit der Wucht eines 6 kg schweren Holzschlägers, welcher auf 32,2 km/h beschleunigt wird.

Bei Bruchtests von Karatekas sind 3200 N erforderlich um einen 4 cm dicken Ziegelstein zu brechen. Umgerechnet sind 3142 N notwendig um einen menschlichen Knochen wie z.B. die Rippen zu brechen. Jedoch ist ein Karateschlag mit der bloßen Faust nur bedingt mit einem Schlag mit Handschuhen zu vergleichen, weil die Kraft punktuell auf eine kleinere Fläche verteilt ist (Walker, 1975).

Die Messungen für die Schlagkraft in Tabelle 1 erfolgten gegen ruhende Ziele, aus einer vorgegebenen oder aus einer selbstgewählten Position. Außer von Pierce et al. (2006), sie maßen die Schlagkraft und die Schlagfrequenz von zwölf Profiboxern direkt in sechs Kämpfen in verschiedenen Gewichtsklassen, von Leicht- bis Schwergewicht. Die 36 g leichten Kraftsensoren waren in allen zwei Boxhandschuhen von beiden Boxern eingearbeitet. Die höchste Schlagkraft wurde im Cruisergewicht (< 90,72 kg) mit 5358 N und im Halbweltergewicht (< 63,5 kg) mit 5033 N gemessen, im Vergleich zum besten Schlag im Schwergewicht mit 3554 N. Die höchste durchschnittliche Schlagkraft lag mit 1149,2 N im Halbweltergewicht (< 63,5 kg). Von den 1675 Schlägen in den sechs Kämpfen waren 59,2% unter 1000 N, 5,3% über 2000 N und nur 1,1% über 3000 N. Die restlichen Schläge waren zwischen 1000-2000 N. Die Schlagkraft korrelierte nicht signifikant mit dem Körpergewicht und es war signifikant auch kein Unterschied zwischen der Schlagkraft der Führhand und der Schlaghand festzustellen (Pierce et al., 2006).

Ein Merkmal, das sich bei den drei Punktesiegern aus den sechs Kämpfen zeigte, war die kumulative Schlagkraft. Das ist die Summe aller Schläge in N im gesamten Kampf. Die höchste kumulative Schlagkraft war in einem vier Runden Kampf im Halbweltergewicht mit 342.472 N, mit der höchsten Schlagfrequenz von 298 Schlägen, mit der höchsten durchschnittlichen Schlagkraft von 1149,2 N und mit einer maximalen Schlagkraft von 5033 N. Um eine hohe kumulative Kraft für den Sieg zu erreichen sind Schlagkraft, Schlagfrequenz, Schlaggeschwindigkeit, Schlagtechnik und eine ausgeprägte Ausdauer erforderlich. Um Aussagen über die Auswirkung der Ermüdung auf die Schlagkraft in einem zwölf Runden Kampf treffen zu können, sind weitere Untersuchungen notwendig (Pierce et al., 2006).

Außerdem kann durch die kumulative Schlagkraft beurteilt werden, wie viele Schläge ein Boxer eingesteckt hat und ab wann die Sportart für ihn gesundheitsgefährdend werden kann (Pierce et al., 2006). Denn neben unglücklichen schweren Einzeltreffen ist es die Anzahl der harten Treffer über die Jahre im Wettkampf oder im Sparring, die chronische Hirnerkrankungen verursachen können (Jordan, 2000). Dazu wäre aber eine zusätzliche Videoaufzeichnung notwendig, um Treffer am Kopf und Körper von Schlägen in die Deckung unterscheiden zu können (Pierce et al., 2006).

Die Conclusio von Pierce et al. (2006) war, dass die hohen Schlagkraftwerte unter idealen Bedingungen auf ruhende Ziele für den Wettkampf überschätzt werden. Obwohl die maximale Schlagkraft im Kampf mit 5358 N höher war als in den meisten anderen Studien auf ruhende Ziele, waren die durchschnittlichen Schlagkraftwerte mit ca. 1000 N weit unter den Spitzenwerten aus Tabelle 1. Die Gründe dafür sind, dass bei einem starren Ziel die ideale Position eingenommen und der Start des Schlages beliebig gewählt werden kann, ohne einen Konterschlag befürchten zu müssen. Außerdem kann ein Gegner die Wucht des Schlages durch Ausweich- oder Abwehrhandlungen reduzieren oder komplett verpuffen lassen. Der erfahrene Boxer besitzt gute Antizipationsfähigkeiten bzw. bietet ein schweres Ziel zum Treffen. Das sind Faktoren, die bei einem stationären Schlagmessgerät nicht berücksichtigt werden. Wegen der höheren Schlagkraft von leichteren Athleten, waren für Pierce et al. (2006) die Schlaggeschwindigkeit und die Schlagtechnik wichtiger als die Körpermasse der Athleten.

Joch et al. (1982) stellten bei 70 Amateurboxern aus drei verschiedenen Leistungskategorien eine signifikant moderate Korrelation ( $r = 0,35$ ;  $p < 0,05$ ) zwischen der Schlagkraft und dem Körpergewicht fest. Eine bessere Korrelation ( $r = 0,47$ ;  $p < 0,05$ ) ergab sich bei 24 Boxern auf dem höchsten Niveau von den gesamten 70 Teilnehmern. Die Autoren gingen davon aus, dass der Zusammenhang zwischen den zwei Variablen, obwohl statistisch gesichert, nicht generalisierbar ist. Boxer mit höheren koordinativen Fähigkeiten wären aber besser in der Lage, das Körpergewicht für den Schlag zu nutzen. Außerdem konnte ebenfalls wie bei Pierce et al. (2006) keine signifikante Abhängigkeit zwischen der Schlagkraft und der Schlagfrequenz festgestellt werden. Fritsche (1978) und Walilko et al. (2005) stellten einen hohen Zusammenhang ( $r = 0,585$ ;  $p < 0,01$ ;  $r = 0,539$ ;  $p < 0,05$ ) zwischen der Schlagkraft und dem Körpergewicht her.

Wie bereits festgestellt, spielt die Bewegungstechnik für die Höhe der Schlagkraft eine entscheidende Rolle (Filimonov et al., 1985; Joch et al., 1982; Pierce et al., 2006). Das nächste Kapitel wird sich mit dem Bewegungsablauf und dem Krafttransfer der geraden Schlaghand, dem "Cross", beschäftigen.



## 2.6 Kinetik und Kinematik der geraden Schlaghand

*„Die Kinematik (griechisch kinema = Bewegung) beschreibt und analysiert Bewegungen von Körpern, ohne die verursachenden oder dabei entstehenden Kräfte zu betrachten.[...] Kennt man die Lage der beteiligten Körper zu jedem Zeitpunkt, so ist die Bewegung vollständig beschrieben. Kinematik ist also „zeitveränderliche Geometrie“. Typische Anwendungsgebiete in der Biomechanik sind die Ganganalyse und die Gelenkkinematik. [...] In der Kinetik (oder Dynamik) wird die Wechselwirkung zwischen der Bewegung eines Körpers und den Kräften, die auf ihn wirken untersucht. Es werden nun auch Kräfte und Momente betrachtet, die dadurch entstehen, dass ein Körper seine Lage und seinen Bewegungszustand ändert.“* (Simon, 2011, pp. 3,12)

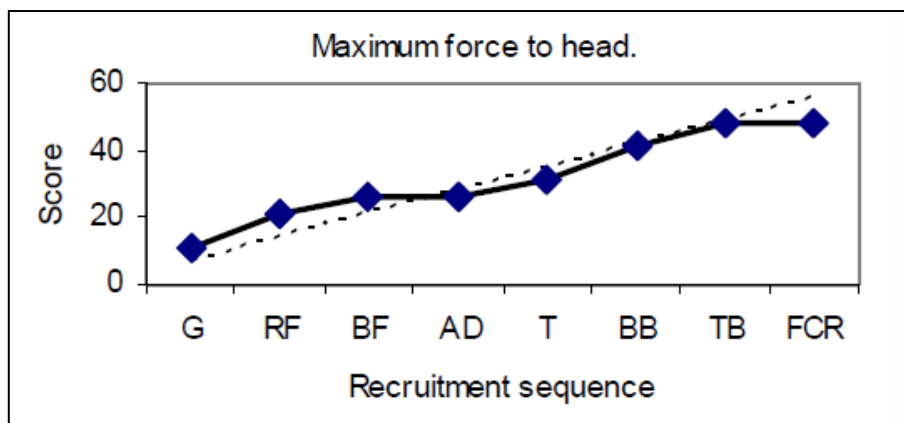
Filimonov et al. (1985) untersuchten bei Boxern verschiedenen Leistungsniveaus den Krafttransfer bei einem Schlag aus den Beinen über den Rumpf in die Arme. Auf dem höchsten Leistungslevel waren mit 39% der Abdruck des hinteren Beines, mit 37% die Rumpfrotation und mit 24% die Armstreckung für die Höhe der Schlagkraft verantwortlich. In der mittleren Leistungsstufe waren das hintere Bein mit 32%, der Rumpf mit 42% und die Armstreckung mit 26% an dem Schlag beteiligt. In der die niedrigsten Leistungsstufe inklusive Nachwuchs, wurden das hintere Bein nur mit 16,50%, der Rumpf mit 45,50% und die Armstreckung mit 38% für den Schlag eingesetzt. Es wurden keine weiteren Angaben zu der Messmethode getätigt. Die Conclusio der Autoren war, dass je fortgeschrittener die Boxer waren, umso besser war die Koordination zwischen Beinen, Rumpf und Armen und umso größer war auch die Kraftübertragung aus dem hinteren Bein in den Schlag. Im Gegensatz dazu, führten die Boxer mit niedrigerem Leistungsniveau den Schlag verstärkt über die Armstreckung aus. Turner et al. (2011) verglichen den Boxschlag mit ähnlichen kinematischen Bewegungen, wie einem Baseballwurf, Speerwurf, Tennisschlag oder Kugelstoßen.

Dyson et al. (2007) maßen bei sechs Amateurboxern mittels EMG an acht beteiligten Muskelgruppen, die Muskelrekrutierung der geraden Schlaghand. Die Reihenfolge der Muskelansteuerung basierte auf einem linear ansteigenden Rekrutierungsmodell in horizontaler Richtung. Neben der Reihenfolge der Muskelrekrutierung konnten die Höhe der Einzelmuskelaktivitäten und die Summe der Muskelaktivitäten für die gesamte Bewegung gemessen werden. Tabelle 2 zeigt die Muskelgruppen und ihre Funktionen, die für die Ausführung der geraden Schlaghand gemessen wurden.

**Tabelle 2: EMG-Messung von ausgewählten Muskeln und ihre Funktionen für die gerade Schlaghand (Dyson et al., 2007, p. 591)**

Muskeln	Code	Funktion für die Schlagauführung
Musculus (M.) gastrocnemius	G	Plantarflexion im Sprunggelenk und Kniebeugung
M. biceps femoris	BF	Hüftstreckung und Kniebeugung
M. rectus femoris	RF	Hüftbeugung und Kniestreckung
M. trapezius pars descendens	T	Anheben des Schulterblattes
M. deltoideus pars clavicularis	AD	Vorführen des Armes
M. biceps brachii	BB	Armbeugung und Supination des Unterarmes
M. flexor carpi radialis	FCR	Handgelenksbeugung und Radialabduktion
M. triceps brachii	TB	Armstreckung

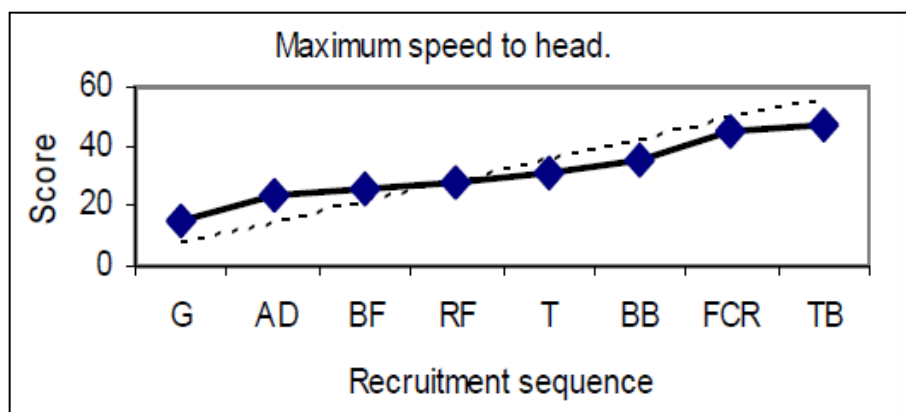
Die Probanden hatten die Anweisung, entweder mit maximaler Geschwindigkeit oder mit maximaler Kraft das Schlagobjekt zu treffen. Abbildung 4 und 5 zeigen die Reihenfolge der Muskelrekrutierung für den harten und für den schnellen Schlag. Die Reihenfolge variierte leicht. Die gepunktete Linie war das lineare Rekrutierungsmodell, die tatsächliche Rekrutierung wich nicht stark davon ab.



**Abbildung 4: Reihenfolge der Muskelrekrutierung der rechten Gerade mit maximaler Kraft (Dyson et al., 2007, p. 593)**

Der Schlag mit höchster Schlagkraft begann mit einer Plantarflexion durch den M. gastrocnemius (G), gefolgt durch die Kniestreckung durch den M. rectus femoris (RF) und die Hüftstreckung durch den M. biceps femoris (BF). Danach wurde der M. deltoideus pars clavicularis (AD) innerviert um ein Vorführen des Oberarmes zu bewirken, gefolgt vom M. trapezius pars descendens (T), um das Schulterblatt anzuheben. Der M. biceps brachii (BB), hielt vorerst den Arm in einer gebeugten Position. Die Hauptbewegung, die Armstreckung, fand

durch den M. triceps brachii (TB) statt, der M. flexor carpi radialis beugte die Faust nach unten und innen in die Schlagposition.



**Abbildung 5: Reihenfolge der Muskelrekrutierung der rechten Gerade mit maximaler Geschwindigkeit (Dyson et al., 2007, p. 593)**

Während der Rekrutierung mit maximaler Geschwindigkeit wurde nach dem Start der Bewegung durch den M. gastrocnemius (G) gleich mit dem Vorführen des Oberarmes durch den M. deltoideus pars clavicularis (AD) begonnen. Die Hüftstreckung durch den M. biceps femoris (BF) fand vor der Kniestreckung durch den M. rectus femoris (RF) statt. Außerdem wurde die Faust durch den M. flexor carpi radialis (FCR) vor der Armstreckung durch den M. triceps brachii (TB) in Position gebracht. Bei der Ausführung des Schlags mit maximaler Kraft, war die Schlagkraft um 38% (1587 N) höher als bei der Variante mit maximaler Geschwindigkeit. Die Autoren registrierten eine 27% höhere Muskelaktivität des M. rectus femoris des hinteren Beines während der höheren Schlagkraft. Tabelle 3 zeigt die Differenz zwischen der Schlagkraft und der EMG-Muskelaktivität während der zwei Schlagvariationen.

**Tabelle 3: Differenz für die Schlagauführung mit maximaler Kraft und mit maximaler Geschwindigkeit (Dyson et al., 2007, p. 594)**

Gerade Schlaghand	Schlagkraft (N)	Muskelaktivität ( $\mu$ V)
mit maximaler Kraft ausgeführt	4202 $\pm$ 1037	1248 $\pm$ 306
mit maximaler Geschwindigkeit ausgeführt	2614 $\pm$ 591	910 $\pm$ 256
Differenz	1587 $\pm$ 515	338 $\pm$ 139

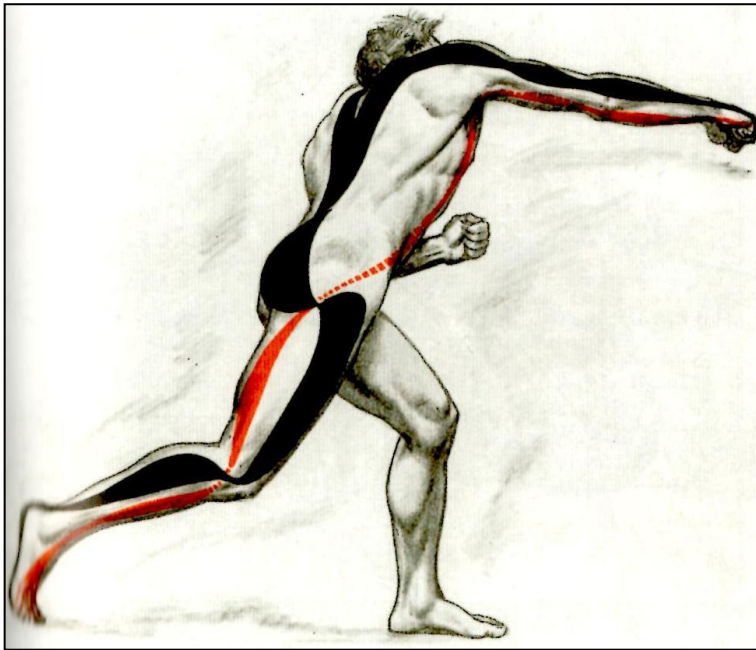
Eine Erklärung für die höhere Aktivität der Oberschenkel Vorderseite bei der Intention mit maximaler Kraft zu schlagen könnte sein, dass die Muskelrekrutierung sequenziell vom Sprung- über Knie-, Hüft-, Schulter-, Ellbogen- und Handgelenk stattgefunden hat und dadurch eine bessere Kraftübertragung erfolgte. Hingegen war bei der Schlagvariante mit höchster Geschwindigkeit diese Reihenfolge unterbrochen worden, indem die Armstreckung gleich nach

der Sprunggelenksaktivität eingeleitet wurde und die Hüftstreckung vor der Kniestreckung stattgefunden hat.

Auf Abbildung 6 ist die Darstellung von Tittel and Opitz (2016) einer geraden Schlaghand. Die Autoren analysieren sportliche Bewegungen anhand der beteiligten Muskelschlingen. Die schwarze Schlinge stellt die Agonisten, die ausführenden Muskelgruppen dar. Die Streckerschlinge der unteren Extremitäten besteht aus den Wadenmuskeln (*M. triceps surae*), aus der Oberschenkelvorderseite (*M. quadriceps femoris*) und aus dem großen Gesäßmuskel (*M. gluteus maximus*). Die Kraft wird weiter über die Rückenstrecker (*M. erector spinae*), die Lendenrückenbinde (*Fascia thoracolumbalis*), den breiten Rückenmuskel (*M. latissimus dorsi*) und den großen Rundmuskel (*M. teres major*) über die Schultermuskulatur (*M. deltoideus*) in die oberen Extremitäten übertragen. Die Agonisten der Arme bei der geraden Schlaghand sind die Armstrecker (*M. triceps brachii*) und die Muskulatur der Unterarmvorderseite (*M. brachioradialis*, *M. extensor carpi radialis*, *M. anconeus*, *M. extensor carpi radialis brevis* und *M. extensor digitorum*) (Tittel & Opitz, 2016, pp. 259, 283).

Die rote Muskelschlinge ist die Beugeschlinge, oder auch die „Bremsschlinge“, die als Antagonisten, als gegenspielende Muskelgruppen bei der geraden Schlaghand wirken. Für die unteren Extremitäten ist das die Muskulatur der Unterschenkelvorderseite (*M. tibialis anterior*, *M. extensor halucis longus*, und *M. extensor digitorum longus*), der Oberschenkelrückseite (*M. biceps femoris*, *M. semitendinosus* und *M. semimembranosus*) und der Hüftbeuger (*M. iliopsoas*). Als Antagonisten für die Rückenmuskulatur dienen die geraden und schrägen Bauchmuskeln (*M. rectus abdominis*, *M. obliquus abdominis externus* und *internus*) und der große Brustmuskel (*M. pectoralis major*). Bei den Armen sind die Gegenspieler der zweiköpfige Armmuskel (*M. biceps brachii*), der Armbeuger (*M. brachialis*) und die Unterarmrückseite (*M. flexor carpi ulnaris*). Die Aufgabe der „Bremsschlinge“ ist, die Streckbewegung zu stoppen und den Sportler im Gleichgewicht zu halten (Tittel & Opitz, 2016, pp. 267, 283).

Neben der Ko-Kontraktion von Agonisten und Antagonisten wirken zusätzlich die Synergisten als Unterstützer während der motorischen Bewegung mit. Die Synergisten arbeiten als Gelenkstabilisatoren oder zentrieren die Gliedmaßen richtig in die Gelenke um einen Gelenkverschleiß entgegenzuwirken. Erst durch die ideale Ko-Kontraktion oder die intermuskuläre Koordination der verschiedenen Muskelgruppen kann die sportliche Bewegung präzise ausgeführt werden. Die aufgelisteten Muskelgruppen für die Muskelschlingen dienen nur zum schematischen Verständnis und erheben keinen Anspruch auf Vollständigkeit, insgesamt sind nach Tittel und Opitz 42 Muskelgruppen an einer rechten Gerade beteiligt (Tittel & Opitz, 2016, pp. 249, 283).



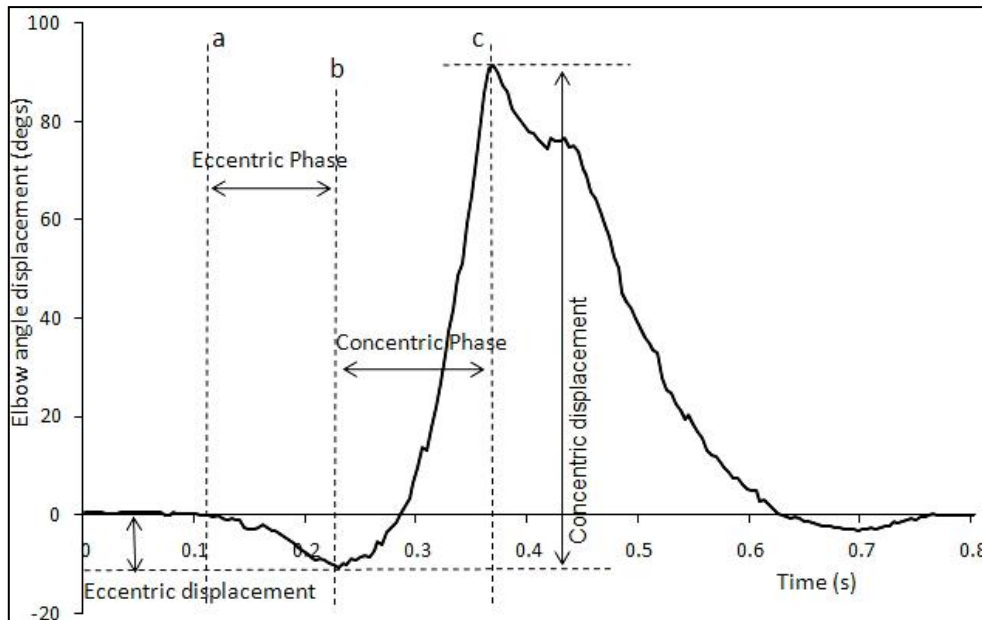
**Abbildung 6: Darstellung der beteiligten Muskelschlingen an einer rechten Gerade (Tittel & Opitz, 2016, p. 283)**

Cheraghi et al. (2014) erfassten bei acht internationalen Amateurboxern die Kinematik der geraden Schlaghand mit Hilfe von High-Speed Kameras und Bewegungsmarkern an ausgewählten Gelenken und am Kopf in der Sagittalebene. Die Winkelveränderung in der Schulter, Ellbogen, Hüfte, Knie und Sprunggelenk wurden gemessen. Die Schläge wurden auf eine optische Signalgebung ausgeführt. Die Messungen ergaben ein ähnliches Muster bei allen Teilnehmern. Jeder Schlag begann mit einer kurzen Auftaktbewegung, einer exzentrischer Beugung des Ellbogens und des Kniegelenks.

Die Messung für den gesamten Schlagzyklus (100%) erfolgte von der ersten Gelenkbewegung, dem Sprunggelenk, bis zum Auftreffen der Faust am Schlagobjekt. Im Mittel dauerte die Ausführungszeit ca. 0,3 s, davon war ca. 0,1 s die Auftaktbewegung, die Faust legte ein Weg von 0,65 m zurück, mit einer durchschnittlichen Höchstgeschwindigkeit von 7,8 m/s. Abbildung 4 zeigt eine typische Winkelveränderung des Ellbogens der geraden Schlaghand im Zeitverlauf. Alle Winkel in der Messung waren relativ, zwischen den Körperteilen zu einander, z.B. der Winkel im Ellbogen war zwischen Unter- und Oberarm. Auf Abbildung 7 wurde der Ausgangswinkel von  $69^\circ$  im Ellbogen abgezogen. Das bedeutet, dass der Sportler auf der Grafik eine Auftaktbewegung von ca.  $-10^\circ$  und eine Armstreckung von ca.  $90^\circ$  hatte. Inklusiv dem Ausgangswinkel von  $69^\circ$  hatte er beim Aufprall der Faust einen relativen Ellbogenwinkel von ca.  $160^\circ$  (Cheraghi et al., 2014).

Der Aufprallwinkel des Ellbogens stimmt mit den Aussagen von Fritsche (1978) überein, dass eine optimale Ellbogenwinkelstellung für die maximale Schlagimpulsübertragung vor der

kompletten Streckung (180°) notwendig ist. In der letzten Streckphase bremsen die reflektorischen Schutzmechanismen die Winkelgeschwindigkeit zwischen Ober- und Unterarm auf null ab. Um infolge der Masseträgheit der Körperteile durch eine volle Streckung, möglichen Schaden des Ellbogengelenks, der Sehnen und Bänder zu verhindern.



**Abbildung 7: Typische Kinematik des Ellbogens der geraden Schlaghand (Cheraghi et al., 2014, p. 42)**

Die Streckung der Gelenke erfolgte sequenziell wie bei Dyson et al. (2007), angefangen beim Sprunggelenk bei 45% der gesamten Bewegung über das Knie- bei 60% und dem Ellbogengelenk bei 80%. Durch die Streckung des Sprunggelenks und des Knies fand eine horizontale Hüftverschiebung um 28 cm in Richtung Schlagobjekt und eine Hüftrotation statt. Dabei erfolgte eine Gewichtsverlagerung vom hinteren auf das vordere Bein. Der Abdruck des hinteren Beines spielt für die Höhe der Schlagkraft eine wichtige Rolle, um die Körpermasse in Richtung Schlagobjekt zu bewegen und den dabei entwickelten Impuls ( $p = m \cdot v$ ), in die oberen Extremitäten weiterzuleiten. Durch die Gewichtsverlagerung wurde die effektive Masse für den Schlag erhöht. Dieser Effekt kann nochmals verstärkt werden, indem nicht aus dem Stand sondern mit einem Schritt Richtung Gegner, geschlagen wird. Die Autoren empfahlen für den Schlag die Explosivkraft durch Krafttraining, inklusive plyometrische Übungen, und besonders auch für die unteren Extremitäten zu trainieren (Cheraghi et al., 2014).

Die höchste Kopfgeschwindigkeit mit 1,6 m/s in horizontaler und medialer Richtung findet am Beginn der Ellbogenstreckung, bei ca. 80% vom Schlagzyklus, statt. Das bedeutet, dass ein Konterschlag zu diesem Zeitpunkt, Aufgrund der entgegenwirkenden Kräfte vom Kopf und Schlag, die höchste Wirkung verursachen kann. Die biomechanischen Parameter während

der Schläge zeigten zwar ähnliche Muster aber mit großen Standardabweichungen (SD) in manchen Variablen. Die Erklärung für die hohen SD für Cheraghi et al. war, dass die unterschiedlichen Bewegungstechniken diese verursachten. Darauf war die Empfehlung der Autoren an die Trainer, bei Eliteboxern nicht nur ein spezielles Technikleitbild zu verfolgen, sondern auch die individuellen, erfolgreichen Techniken der Athleten zu fördern (Cheraghi et al., 2014).

Piorkowski et al. (2011) maßen in ihrer Studie über die unterschiedlichen Schlaggeschwindigkeiten zwischen Einzel- und Kombinationsschlägen ebenfalls eine Auftaktbewegung im Knie- und Ellbogengelenk bei den Einzelschlägen. Die Schlagkinematik zwischen den Einzel- und Kombinationsschlägen war sehr ähnlich, außer dass es in der Schlagkombination durch die Führ- und Schlaghand keine sichtbare Auftaktbewegung gab. Diese erfolgte automatisch durch den vorherigen Schlag. Die Schlaggeschwindigkeit war für die Einzelschläge höher als in der Kombination, möglicherweise weil mehr Zeit für die Beschleunigung war. Die Einzelschläge dauerten durchschnittlich mit  $607 \pm 221$  ms länger, als die Schläge in der Kombination mit  $320 \pm 163$  ms.

Zusammengefasst ist festzuhalten, dass für die Kinematik und Kinetik des Schlages mit hoher Schlagkraft der Abdruck des hinteren Beines eine wesentliche Rolle spielt. Eine valide und reliable Methode die Kräfte der unteren Extremitäten zu bestimmen, ist die Messung der BRK mittels Kraftmessplatten (Lenetsky et al., 2013)

## **2.7 Bodenreaktionskraft**

Die BRK basiert auf dem dritten newtonschen Axiom „actio est reactio“. Bezogen auf den Abdruck des Beines bedeutet Newtons dritter Grundsatz, dass jeder Kraft (passiv durch das Körpergewicht, aktiv durch die Aktionskraft, das Wegdrücken) die gleiche Kraft in die entgegengesetzte Richtung auf den Körper wirkt (Schöllhorn, 1995).

Im Weit- und Hochsprung liegen die BRK in der Exzentrik vor dem Absprung zwischen 6000-9000 N (Bosco et al., 1979). Bei Niedersprüngen von 7 Hochspringern aus 0,49 m, betragen die exzentrischen Kräfte durchschnittlich bei der Landung 4885 N ( das 6,97 fache des Körpergewichts) und die konzentrischen Kräfte beim Absprung 4273 N ( das 6,04 fache des Körpergewichts) (Dworak et al., 2008).

Bei 7 Collage-Baseballern betrug beim Ballwurf die dreidimensionale resultierende BRK des hinteren Beines im Durchschnitt das 1,0-fache der Körpergewichtskraft und beim Landen auf dem vorderen Bein das 1,75-fache der Körpergewichtskraft. Die Handgeschwindigkeit beim Abwurf korrelierte sehr hoch ( $r = 0,76$ ) mit der resultierenden BRK. Die Schlussfolgerung der

Autoren war, dass Aufgrund des hohen linearen Zusammenhanges zwischen der BRK und der Ballabwurfgeschwindigkeit das Krafttraining der Beine für Baseball einen essenziellen Aspekt darstellt. Außerdem sei das Training der Beine wichtig, um die hohen „bremsenden“ BRK beim Landen verletzungsfrei kompensieren zu können (MacWilliams et al., 1998).

Weyand et al. (2000) ermittelten eine signifikant hohe Korrelation ( $n= 33$ ;  $r = 0,62$ ;  $p = 0,01$ ) zwischen der BRK und der maximalen Sprintgeschwindigkeit am Laufband. Zusätzlich stellten sie fest, dass die Bewegungsschnelligkeit der Beine nicht mit der Laufgeschwindigkeit korrelierte. Die Zeit für einen vollständigen Laufzyklus unterschied sich nicht signifikant zwischen den langsamen und den schnellen Läufern. Ausschlaggebend für die Sprintgeschwindigkeit war die Schrittlänge mit einer Korrelation von  $r = 0,88$ , resultierend aus einer hohen BRK.

Außerdem gibt es einen signifikanten Zusammenhang zwischen der Sprintgeschwindigkeit auf unterschiedlich kurzen Distanzen (5 - 40 yd = 4,6 - 37 m) und der Maximalkraft der Beine. Diese Abhängigkeit ist für mehrgelenkige Übungen wie die Kniebeuge stärker ausgeprägt als für isolierte eingelenkige Beinübungen (McBride et al., 2009; Wisløff et al., 2004). Das lässt die Schlussfolgerung zu, dass die Höhe der BRK, neben der sportlichen Technik von der Kraftfähigkeit der Beine abhängig ist. Wisløff et al. (2004) fanden die stärkste Korrelation zwischen der BRK und der Sprintzeit auf 10 m ( $n = 17$ ,  $r = - 0,94$ ;  $p < 0,001$ ). McBride et al. (2009) hingegen ermittelten den höchsten Zusammenhang mit der 40 yd (37 m) Sprintzeit ( $n = 17$ ;  $r = -0,60$ ;  $p = 0,01$ ).

Für den Boxschlag ist die Relevanz der BRK in der Literatur gut dokumentiert (Filimonov et al., 1985; Joch et al., 1982; Lenetsky et al., 2013; Turner et al., 2011). Allerdings fehlen in den meisten Studien über die Schlagkraft konkrete Messungen der BRK und somit auch Referenzwerte. Aus den aufgelisteten Studien in Tabelle 1 zur Schlagkraftmessung hatten nur Joch et al. (1982) in einer multiplen Korrelation einen linearen Zusammenhang zwischen der Schlagkraft und der BRK hergestellt.

In Joch et al. (1982) Arbeit trugen die horizontalen und vertikalen BRK bei 24 Eliteboxern mit 20% zur gesamten Aufklärung von  $r^2 = 93\%$  der Schlagkraft bei. Die Varianzaufklärung, oder auch das Bestimmtheitsmaß,  $r^2$  gibt an, zu wie viel % eine gesuchte Größe (in diesem Fall die Schlagkraft) aus einzelnen Variablen (eine war die BRK) aufgeklärt wird. Je niedriger das Leistungslevel der Boxer war, umso niedriger war auch die Varianzaufklärung,  $r^2 = 58\%$  bei nationalen Boxern und 45% bei Hobbyboxern ohne Kampferfahrung. Der Anteil der BRK war dementsprechend auch niedrig, zwischen 0-5%. Die Autoren erklärten sich den abgeschwächten Aufklärungsanteil bei leistungsschwächeren Boxern



damit, dass zu viel Überflusmotorik die Schlagtechnik kennzeichnete. Eine Optimierung der Schlagkraft besteht demnach darin, die Überflusmotorik abzubauen. Auch in dieser Studie fehlten allerdings konkrete Werte zur BRK.

Bremer (2008) untersuchte die subjektive Einschätzung der „Wucht“ des eigenen Schlages zwischen Kampfsportlern und Nichtkampfsportlern auf verschiedenen Schlagobjekten. Die objektiven Messkriterien für die „Wucht“ des Schlages, waren die BRK und die Schlaggeschwindigkeit. Die Probanden standen mit beiden Beinen auf einer Kraftmessplatte, der Schlag wurde aus dem Stand ausgeführt und gemessen wurde die horizontale BRK in Schlagrichtung und die resultierende dreidimensionale BRK im Raum. Das Ergebnis war, dass die Schlaggeschwindigkeit der Nichtkampfsportler höher war, jedoch ohne Signifikanz. Die BRK war bei den Kampfsportlern signifikant höher. Eine Erklärung dafür war, dass die Nichtkampfsportler ohne Schlagtechnik intuitiv versucht haben die Geschwindigkeit zu maximieren, während die Kampfsportler die „Wucht“ des Schlages über den Abdruck des hinteren Beines erzeugt haben. Im Schnitt war die BRK in Schlagrichtung für die Kampfsportler mit ~ 400 N ca. doppelt und die resultierende BRK im Raum mit ~ 1500 N ca. dreimal so hoch, wie die der Referenzgruppe. Außerdem bestand bei keiner Gruppe ein linearer Zusammenhang zwischen der Körpermasse und der BRK. Die Höhe der Schlagkraft wurde nicht gemessen.

Die Ergebnisse von Bremer (2008), dass Nichtkampfsportler aufgrund mangelnder Kraftübertragung während des Schlages höhere Bewegungsgeschwindigkeiten erreicht haben, sind mit denen von Dyson et al. (2007) vergleichbar. Hier hatten selbst erfahrene Kampfsportler auf Kosten einer höheren Bewegungsgeschwindigkeit die Höhe der Schlagkraft einbüßen müssen. Weyand et al. (2000) zeigten für den Sprint, dass nicht die Bewegungsschnelligkeit der Beine, sondern die Größe der BRK und damit die Schrittlänge für die Sprintgeschwindigkeit von Bedeutung waren. Die Ergebnisse zeigen erstens, dass für eine hohe Kraftübertragung ein hoher Beinabdruck notwendig ist und zweitens, dass die zwei Parameter Kraft und Geschwindigkeit nicht beide gleichzeitig erhöht werden können.

## **2.8 Trainingsempfehlung für die Steigerung der Schlagkraft der geraden Schlaghand**

Turner et al. (2011) haben ein Kraftkonzept entwickelt um die Schlagkraft der geraden Schlaghand zu verbessern:

- **Erhöhung des hinteren Beinabdrucks**

Um die BRK für den Schlag zu erhöhen, empfehlen Turner et al. (2011) und Filimonov et al. (1985) die Muskelstreckerkette in vertikaler und horizontaler Richtung zu trainieren. In vertikaler Richtung sind das Übungen mit axialen Lasten wie Kniebeugen, Stoßen, Reißen oder vertikale Sprungvarianten. In horizontaler Richtung sind das Druck- und Zugübungen mit gewichtsbeladenen Schlitten und horizontale Sprung- und Wurfübungen (Lenetsky et al., 2013). Die Intensität der Kraftübungen sollte größer als 80% des 1RM sein (Turner et al., 2011).

- **Erhöhung der Kraftübertragung durch das vordere Bein**

Besonders bei einem Schritt nach vorne ist die Stützkraft des vorderen Beines von Bedeutung, um wenig Energie während der Kraftübertragung verpuffen zu lassen. Plyometrische Übungen in der Landephase (z.B. Drop Jumps) oder die Landephase in den Variationen der Gewichtheberübungen (Standreißen, Standstoßen) sind gut dafür geeignet. Außerdem bewirkt eine harte Landung eine Herabsetzung der hemmenden Wirkung der Golgi-Sehnen Rezeptoren zugunsten einer höheren Muskelspannung (Turner et al., 2011).

- **Erhöhung der Kraftübertragung durch den Rumpf**

Die Übertragung der BRK in die oberen Extremitäten erfolgt durch die lumbale Stabilisierung des Rumpfes. Bei der Rotation der Hüfte während des Schlages versteift die Rumpfmuskulatur den Torso mit der Hüfte um die Kraft aus den Beinen und der Hüfte möglichst ohne Verluste übertragen zu können (Lenetsky et al., 2013). Medizinball Wandprellwürfe oder Rotationsübungen am Kabelzug trainieren gut diese Funktion des Rumpfes (Turner et al., 2011)

- **Erhöhung der Schlaggeschwindigkeit**

Erfolgt durch die Steigerung der Schnellkraft/ Explosivkraft durch IK- Training (Wirth & Schmidtbleicher, 2007a), durch Übungen aus dem Gewichtheben oder durch plyometrische Übungen, wie z.B. Medizinballwürfe (Turner et al., 2011)

- **Erhöhung der effektiven Masse für den Schlag**

Ist effektiv durch Prätzen- oder Boxsacktraining zu entwickeln. Der Boxer trainiert den Körper kurz vor dem Impact anzuspannen um viel von der entwickelten Kraft übertragen zu können. Das funktioniert bei Schlägen gegen Widerstand besser, weil die Stützmuskulatur während des Aufpralls stärker aktiviert wird, als bei Schlägen ohne Kontakt (Turner et al., 2011)

## 2.9 Zentrale Fragestellungen und Hypothesen

Das Ziel der vorliegenden Studie ist die Untersuchung des Zusammenhanges zwischen der wichtigsten motorischen Aktion im Boxen, dem Schlag, und ausgewählten Kraft- und Schnellkraft Parametern. Außerdem wurde der Zusammenhang zwischen der Schlagkraft und der BRK berechnet. Für die Praxis soll auf die Bedeutung des teilweise vernachlässigten Krafttrainings für den Boxsport aufmerksam gemacht werden. Zur Bestimmung der Schlagkraft wurde die gerade Schlaghand ausgewählt. Für die Kraftparameter wurde die Maximalkraft für die unteren Extremitäten in der Kniebeuge und für die oberen Extremitäten im Bankdrücken ermittelt. Als Schnellkraftparameter wurde für die Beine der CMJ und für den Oberkörper eine Ausstoßbewegung aus der Rückenlage mit einem Medizinball bestimmt. Die Masse des Medizinballes betrug gerundet 5% des 1RM im Bankdrücken. Daraus leiten sich folgende Hypothesen ab:

### **1. Parameter Maximalkraft H0: Nullhypothese**

Es gibt keine signifikante Korrelation zwischen der Schlagkraft und der Maximalkraft in den ausgewählten Übungen.

### **H1: Alternativhypothese**

Es gibt eine signifikante Korrelation zwischen der Schlagkraft und der Maximalkraft in den ausgewählten Übungen.

### **2. Parameter Schnellkraft H0: Nullhypothese**

Es gibt keine signifikante Korrelation zwischen der Schlagkraft und der Schnellkraft in den ausgewählten Übungen.

### **H1: Alternativhypothese**

Es gibt eine signifikante Korrelation zwischen der Schlagkraft und der Schnellkraft in den ausgewählten Übungen.

### **3. Parameter Bodenreaktionskraft H0: Nullhypothese**

Es gibt keine signifikante Korrelation zwischen der Schlagkraft und der Bodenreaktionskraft des hinteren Beines.

### **H1: Alternativhypothese**

Es gibt eine signifikante Korrelation zwischen der Schlagkraft und der Bodenreaktionskraft des hinteren Beines.

## 3. Material und Methoden

### 3.1 Stichprobe

Insgesamt nahmen 31 Teilnehmer im Alter zwischen 17 und 42 Jahren aus dem Wiener Boxverein Jab Club an der Studie teil, abgebildet in Tabelle 4.

**Tabelle 4: Teilnehmer der vorliegenden Studie**

	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standardabweichung
Alter	31	17,00	42,00	29,8065	7,88001
Gewicht [kg]	31	52,00	120,00	82,8710	13,34539
Größe [cm]	31	170,00	197,00	181,3871	6,60645
BMI	31	17,99	35,06	25,0817	3,06665
Gültige Werte (Listenweise)	31				

Folgende Voraussetzungen waren für die Teilnahmeberechtigung zu erfüllen:

- Seit mindestens drei Jahre Boxen regelmäßig auszuüben, um mit der Schlagtechnik vertraut zu sein
- Aktuell die regelmäßige Teilnahme an mindesten 3 Boxeinheiten pro Woche, um eine ausreichende Fitness für die Übungen aufzuweisen
- Unterzeichnung der Einwilligungserklärung der Fachhochschule (FH) Wiener Neustadt
- Ausfüllen und unterschreiben eines Anamnesebogens (ACSM'S Guidelines for Exercise Testing and Prescription) um den notwendigen Gesundheitszustand für die Tests zu bestätigen

Die Teilnehmer sind vorab über den Ablauf der Studie informiert worden, über ihre freiwillige Teilnahme und dass sie jederzeit ohne Angabe von Gründen zurücktreten können.

### 3.2 Material

Das Schlagmessgerät mit einem Gesamtgewicht von ca. 250 kg wurde von der Mechatronik Abteilung der FH Wiener Neustadt konstruiert (Abbildung 8) und wurde für die Messungen im Boxverein aufgestellt. Das Schlagobjekt hatte einen Durchmesser von ca. 25 cm (Abbildung 9). Die erste Schicht war aus Holz mit einer Stärke von ca. 4 cm. Die Holzscheibe wurde auf einem Schlitten mit Kugellagern befestigt, sodass beim Aufprall des Schlages, der Schlitten eine horizontale Bewegung von ca. 20 cm ausführen konnte. Auf der Holzscheibe

wurden noch zwei Scheiben Industrieschaumstoff mit insgesamt 8 cm Stärke aufgeklebt. So wurde sichergestellt, dass die Oberfläche des Schlagobjektes nicht zu hart war, um mit voller Kraft dagegen zu schlagen.



**Abbildung 8: Schlagmessgerät**



**Abbildung 9: Schlagobjekt**



**Abbildung 10: Kraftmessensor  
Typ 8230-003 von Brüel & Kjaer**

Die Schlagkraft wurde mit einem piezoelektrischen Kraftmesssensor Typ 8230-003 von Brüel & Kjaer (Abbildung 10) gemessen. Der Sensor kann Kompressionskräfte bis 22.000 N messen. Die Daten der Werkskalibrierung wurden verwendet. Befestigt wurde der Sensor am Ende des Schlittens, hinter einer 40 cm langen und 1 cm dicken Stahlachse. Das andere Ende der Achse war genau im Mittelpunkt des Schlagpolsters befestigt, zu sehen ist die Kerbe dafür auf Abbildung 8. Die Achse war in zwei zylinderförmigen Führungen platziert und konnte um die eigene Achse rotieren. Der Zweck der Achse war erstens, den Impuls möglichst axial auf den Sensor zu übertragen und zweitens durch die Rotation um die eigene Achse, die Rotationskräfte während des Schlages nicht auf die Befestigung des Schlagpolsters zu übertragen.

In einem ersten Modell wurde der Sensor direkt hinter dem Schlagpolster ohne die Achse befestigt und die beschriebenen Probleme traten auf. Wenn ein Sportler die Polsterung am Rand traf, wurde durch das zusätzliche Drehmoment bis zum Mittelpunkt des Schlagobjekts eine größere Kraft am Rand als zentral gemessen. Das zweite Problem war, dass sich die ursprüngliche starre Befestigung des Schlagobjekts durch die Anzahl der Schläge lockerte und zwischen Sensor und Schlagpolster ein Spielraum entstand. Die Schlagkraft wurde dadurch nicht reliabel gemessen. Für die Reliabilität der Schlagkraftmessung, war die Achse die technisch beste Lösung um die Schlagkraft so direkt wie möglich auf den Sensor zu übertragen.

Für die Messung der BRK während des Schlages und die Berechnung der Sprunghöhe beim CMJ wurden freundlicherweise vom IMSB-Austria zwei Kraftmessplatten von FITRONIC s.r.o. (Abbildung 10) bereitgestellt. Die Platten konnten sowohl horizontale als vertikale Kräfte messen. Bei der BRK während des Schlages wurde die resultierende Kraft sowohl für das rechte als auch für das linke Bein berechnet. Beim CMJ wurde nur die Vertikalkraft gemessen.

Die Signale wurden synchron sowohl vom Kraftsensor als auch von den Kraftmessplatten von einem LMS SCADAS Mobile Datenerfassungsgerät aufgezeichnet und mit der Software Siemens LMS TestXpress weiter verarbeitet. Die Ausstoßbewegung erfolgte mit Gummimedizinbällen zwischen 3 und 6 kg. Die Kniebeugen und das Bankdrücken wurden mit einer 20 kg Langhantel in einem Standard Kniebeugenständer und auf einer Standard Bankdrückbank durchgeführt. Alle Teilnehmer verwendeten dieselben Testgeräte.

## 3.3 Methoden

### 3.3.1 Schlagkraftmessung

Bevor die Sportler zur Schlagkraftmessung antraten, führten sie selbständig ein fünfzehnminütiges, standardisiertes, boxtypisches Aufwärmen durch, bestehend aus Gelenkmobilisierung, Schnurspringen und Schattenboxen. Nach dem Aufwärmen hatten sie 5 min Zeit zum Erholen. Die Schlagausgangsposition wurde standardisiert, um die Ergebnisse miteinander vergleichen zu können. Die Starposition (Abbildung 11, Bild links oben) war, mit ausgestreckter Führhand auf Schulterhöhe den Schlagpolster zu berühren. Danach wurde die Schlagausgangsstellung (Abbildung 11, Bild rechts oben) eingenommen. Die meisten Teilnehmer waren in der Normalauslage. Die Normalauslage oder auch Rechtsauslage ist die Boxausgangsstellung in der Regel für Rechtshänder. Das linke Bein und der linke Arm befinden sich weiter vorne und die rechte Hand bildet die Schlaghand. Der Athlet auf Abbildung 10 steht in der Normalauslage. Die Linksauslage ist umgekehrt, die linke Hand ist die Schlaghand. Für Linksausleger sind die Kraftmessplatten entsprechend umgestellt worden.

Die Teilnehmer hatten die Möglichkeit das Schlagmessgerät mit zwei bis drei Schlägen zu testen. Danach nahmen sie die Ausgangsstellung wieder ein und die Füße wurden auf den Kraftmessplatten mit Klebestreifen markiert, um für jeden Schlag die gleiche Startposition einzunehmen. Die Sportler hatten die Anweisung, so hart wie möglich dreimal mit einer Pause von 15 s auf den Schlagpolster zu schlagen (Abbildung 11, Bild unten links). Zwischen den Schlägen wurde der Schlitten vom Testleiter wieder in die Startposition gebracht. Der Schlag mit der höchsten Kraft wurde für die weitere Bearbeitung verwendet. Alle Teilnehmer verwendeten denselben Fight Top Ten 12 oz Boxhandschuh. Die weitere Verarbeitung und die grafische Aufbereitung der Daten erfolgte mit der Software MATLAB R2015a. Die Schlagkraftmessung wurde insgesamt dreimal, zu verschiedenen Terminen durchgeführt. Die Daten aus der ersten Messung konnten aufgrund des Umbaus des Gerätes nicht verwendet werden. Zwei verwertbare Messdurchgänge waren notwendig um die Testgütekriterien für das Schlagmessgerät zu überprüfen.



Startposition



Schlagausgangsposition in der Normalauslage

Ausführung der gerade Schlaghand (Cross)



Abbildung 11: Schlagauführung der geraden Schlaghand auf zwei FITRONIC s.r.o. Kraftmessplatten



### 3.3.2 Schnellkraftmessung

#### Counter Movement Jump

Im Anschluss an die Schlagkraftmessung wurde der CMJ ausgeführt. Um die Schnellkraft der Beine zu bestimmen werden häufig Sprungtests eingesetzt. Von den gängigen Sprungtestvarianten wie dem Jump and Reach-, Ablakov-, Standweitsprung- oder Dreifachweitsprung Test besitzen der CMJ und der Squat Jump die höchste Reliabilität und Validität für sportlich aktive Männer (Markovic et al., 2004). Das US Olympic Education Center (USOEC) entwickelte eine Testbatterie für die Bestimmung der Leistungsfähigkeit von Amateurboxern. Für die Ermittlung der Schnellkraft bzw. Muskelleistung wurden ein Vertikalsprung und ein vertikaler Medizinballstoß ausgeführt (Ebben & Blackard, 1997).

Zwischen den Schlägen und dem CMJ sind mindestens 15 min vergangen. Da keiner der Probanden mit dem CMJ vertraut war, wurde die Technik mit Armen in der Hüfte zu Beginn vorgezeigt. Nach zwei bis drei Probesprüngen hatten die Teilnehmer die Anweisung so hoch wie möglich zu springen. Aus drei Sprüngen mit 15 s Pause wurde der höchste gewertet. Der CMJ wurde auf einer Kraftmessplatte ausgeführt. Die Berechnung der Sprunghöhe erfolgte aus dem Impuls ebenfalls mit MATLAB.

$$\text{Sprunghöhe } h = \frac{1}{2 \cdot m^2 \cdot g} \cdot (\int F dt)^2$$

#### Ausstoßbewegung

Weitere 15 min nach dem CMJ erfolgte die Ausstoßbewegung mit dem Medizinball. Auch hier wurden zwei zeitlich getrennte Messdurchgänge absolviert. Im ersten Durchgang wurde eine Langbank auf zwei Kraftmessplatten gestellt (Abbildung 12), die Sportler legten sich auf die Bank und stießen den Medizinball von der Brust so hoch wie möglich. Das Problem an dieser Messmethode war, dass sich die Ballwurfhöhe nicht wie die Höhe beim CMJ über den Impuls berechnen ließ. Der Impuls ist das Produkt aus der Masse des bewegten Körpers multipliziert mit der Bewegungsgeschwindigkeit ( $p = m \cdot v$ ), nur war die bewegte Masse die Masse des Balles und die der Arme. Die Masse der Arme war nicht bekannt und somit war auch die gesamte bewegte Masse unbekannt. Aus diesem Grund waren die Ergebnisse aus dem ersten Durchgang unbrauchbar. Beim CMJ war die bewegte Masse das Körpergewicht.



**Abbildung 12: Versuch die Ausstoßbewegung mit dem Medizinball über die Kraftmessplatten zu berechnen**

In der zweiten Messung wurde die Höhe mit der Videosoftware Kinovea ermittelt. Eine Digitalkamera wurde 6 m entfernt, auf ein 1,80 m hohes Stativ aufgestellt um den gesamten Wurf im Blickfeld zu haben. Das Prinzip bei der Längenmessung in Kinovea ist, im Video (in einem eingefrorenen Standbild) eine reale Länge einzutragen und dadurch das Längenverhältnis zu kalibrieren. Alle anderen Längen können aus dem Video abgemessen werden (Abbildung 13).



**Abbildung 13: Ausstoßbewegung mit dem Medizinball**

Die linke grüne Linie ist die reale Länge von 248 cm, die rechte Linie ist die berechnete Ballhöhe von 235,18 cm. Die Ballmasse betrug 5%, gerundet auf ganze Kilogramm, des 1RM im

Bankdrücken. Die Boxer nahmen die Ausgangsposition in Rückenlage auf einem Stepper ein und konnten wieder zwei bis drei Probewürfe tätigen. Die Instruktion war Gesäß und Oberkörper auf dem Stepper liegen zu lassen, die Füße auf den Boden aufzustellen und den Ball von der Brust so hoch wie möglich zu stoßen. Aus drei Versuchen mit 15 s Pause, wurde der höchste Wurf gewertet.

### **3.3.3 Maximalkraftmessung**

#### **Kniebeugen**

Zur Bestimmung der Maximalkraft der unteren Extremitäten ist die Nackenkniebeuge gewählt worden. Die Kniebeuge ist eine häufig eingesetzte Übung um die Muskelkraft der Beine und des Rumpfes zu messen (Ebben & Blackard, 1997; Loturco et al., 2014; Zawieja et al., 2016). Der Umkehrpunkt in der Kniebeuge war, als die Oberschenkel parallel zum Boden waren (Kniewinkel zwischen 60-70°) um einerseits den höchsten retropatellaren Anpressdruck in der 90° Halbkniebeuge zu vermeiden. Andererseits wäre bei den höheren Lasten in der Halbkniebeuge die Rumpfmuskulatur der limitierende Faktor für die Lastbewältigung und die eigentlichen Zielmuskeln der Beine würden nicht zur Ausbelastung kommen (Wirth et al., 2012, pp. 62-65).

Das standardisierte Aufwärmprogramm beinhaltete 5 min mit 9 km/h am Laufband, 5 min mobilisieren der Gelenke und dynamisches Dehnen. Danach wurde die gewünschte Kniebeugetechnik vorgezeigt und jeder Sportler absolvierte einen Satz mit 10 Wh nur mit der Langhantel. Weitere zwei Aufwärmätze folgten, mit ca. 50% des 1RM mit 5 Wh und mit ca. 70% des 1RM mit 3 Wh. Das 1RM ist vorher gemeinsam geschätzt worden. Zwischen den Aufwärmätzen waren 3 min Pause. Für die Ermittlung des 1RM bildeten immer vier Boxer eine Gruppe, sodass jeder ca. 5 min Pause bis zu seinem nächsten Versuch hatte.

Das Ziel war, nach ca. fünf Versuchen das 1RM zu ermittelt um den Ermüdungseffekt niedrig zu halten. Die Teilnehmer hatten die Anweisung, langsam mit geradem Rücken bis zum Umkehrpunkt in die Hocke zu gehen und dann auf Kommando des Testleiters sich nach oben zu bewegen. Das Kommando diente zur Sicherstellung, dass der Umkehrpunkt nicht zu früh eingeleitet wurde. Konnte ein Sportler mit der Last nicht mehr aufstehen, oder wich er zu sehr mit dem Becken im Umkehrpunkt nach oben aus, sicherte der Testleiter und der Versuch wurde abgebrochen. Der höchste gültige Versuch wurde gewertet.

## **Bankdrücken**

Nach 15 min Pause wurde das 1RM im Bankdrücken auf einer Flachbank für die Maximalkraft des Oberkörpers bestimmt. Der Bankdruck ist ein üblicher Prozess bei der Erfassung der maximalen Druckkraft der oberen Extremitäten (Ebben & Blackard, 1997; Loturco et al., 2014; Zawieja et al., 2016). Durch die Beanspruchung des M. triceps brachii und des M. deltoideus, pars clavicularis (Clemons & Aaron, 1997) werden zwei leistungsbestimmenden Muskelgruppen für die Anteversion, Extension und Innenrotation des Armes für die gerade Schlaghand erfasst (Dyson et al., 2007).

Der Aufwärmprozess war derselbe wie bei den Kniebeugen, 10 Wh mit der Langhantel, 5 Wh mit 50% und 3 Wh mit 70% des geschätzten 1RM. Die Anweisungen an die Teilnehmer waren: Das Gesäß während der Übungsausführung auf der Bank zu lassen und die natürliche Lordose der Wirbelsäule beizubehalten. Die Füße fest auf den Boden zu drücken, die Langhantel im Obergriff zu nehmen und diese auf den unteren Teil der Brust bis zur Berührung abzusenken und dann wieder bis zur vollständigen Streckung der Arme nach oben zu drücken. Die Griffbreite war eine mittlere, sodass wenn die Oberarme parallel zum Boden waren, der Winkel im Ellbogen ca. 90° betrug um die beste Kraftentfaltungsmöglichkeit beim Bankdrücken zu erhalten (Clemons & Aaron, 1997; Wirth et al., 2012, p. 87). Der beste Versuch ist gewertet worden.

## **3.4 Statistik**

Alle statistischen Analysen sind mit IBM SPSS Statistics 21 durchgeführt worden. Die deskriptive Statistik für alle Variablen erfolgte als Mittelwert  $\pm$  SD mit einem Konfidenzintervall von 95%. Die Normalverteilung der Werte ist nach Shapiro-Wilk überprüft worden. Die Korrelationen zwischen den normalverteilten Variablen sind nach Pearson analysiert worden, mit einem Signifikanzniveau von  $p \leq 0,05$ . Die Interpretation der Korrelationskoeffizienten erfolgte nach Hopkins (2014), wobei  $r < 0,1$  unbedeutend, 0,1-0,3 niedrig, 0,3-0,5 moderat, 0,5-0,7 hoch, 0,7-0,9 sehr hoch und  $> 0,9$  fast perfekt ist. Die Testgütekriterien für das Schlagmessgerät und die Kraftmessplatten sind mit einem T-Test mit verbundener Stichprobe überprüft worden.

## 4. Ergebnisse

### 4.1 Schlagmesswerte

Neben der Messung der absoluten Schlagkraft wurden die relative Schlagkraft, der Impuls und die Impulsdauer berechnet. Abbildung 14 zeigt die grafische Auswertung der Schlagkraftmessung mit der BRK eines Teilnehmers in der Normalauslage. Die blaue Linie ist der Schlag mit einem Maximalwert von 1812 N, die orangene ist die resultierende BRK des rechten Beines mit einem Höchstwert von 817,3 N und die rote Linie ist die resultierende BRK des linken Beines mit 603,5 N während des Schlages, dargestellt auf einer Kraft-Zeit Kurve. Die Einheit auf der horizontalen x-Achse sind Sekunden und auf der vertikalen y-Achse Newton. Die resultierende BRK setzte sich zweidimensional aus der horizontalen und vertikalen BRK zusammen. Für die Ermittlung der BRK wurde die Körpermasse der Teilnehmer subtrahiert, sodass die Startkraft für die BRK nahezu Null war, abgesehen von den Gewichtsverlagerungen der Probanden vor dem Schlag, die die Kraftmessplatten erfassten. Der Impuls bei diesem Sportler betrug 22,91 Ns und die Impulsdauer 0,025 s. Wie aus der Grafik abzulesen ist, dauert die gesamte Bewegung vom Beginn des rechten Beinabdrucks bei ca. 26,8 s bis zum Aufprall der Faust bei ca. 27,05 s, ca. 0,25 s. In Cheraghi et al. (2014) Arbeit betrug die Zeit für den gesamten Schlagzyklus ca. 0,3 s.

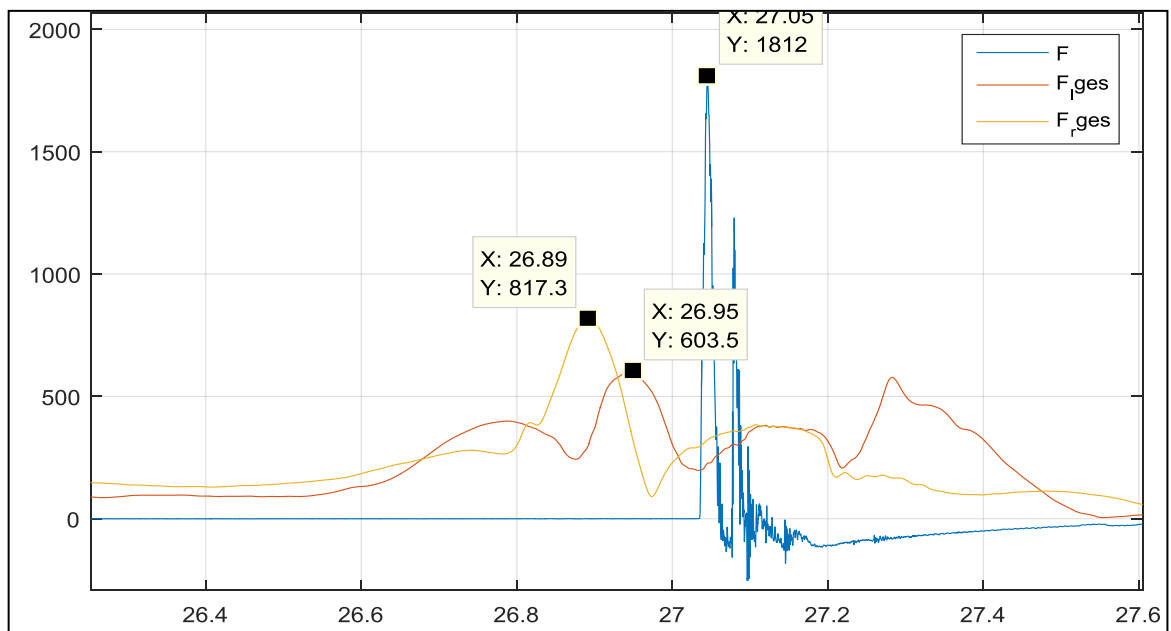


Abbildung 14: Schlagkraft und BRK eines Probanden

Tabelle 4 und 5 zeigen die Minimal-, Maximal-, und Mittelwerte  $\pm$  SD von den Schlagparametern aus der ersten und der zweiten Messung.

**Tabelle 4: Schlagparameter aus der ersten Messung**

	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standardabweichung
absolute Schlagkraft Nov [N]	20	1214,81	1976,40	1558,5496	253,80176
relative Schlagkraft Nov [N/kg]	20	14,47	29,64	19,5041	4,10229
Impuls Nov [Ns]	20	17,12	24,80	20,9183	2,11303
Impulsdauer Nov [s]	20	,023	,041	,03105	,004888
Gültige Werte (Listenweise)	20				

**Tabelle 5: Schlagparameter aus der zweiten Messung**

	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standardabweichung
absolute Schlagkraft Dez [N]	23	1329,15	2477,43	1646,3062	273,80228
relative Schlagkraft Dez [N/kg]	23	13,72	32,34	20,3796	3,77346
Impuls Dez [Ns]	23	18,16	30,17	21,5854	2,67136
Impulsdauer Dez [s]	23	,025	,040	,03139	,003321
Gültige Werte (Listenweise)	23				

Die absolute Schlagkraft aus der ersten Messung korrelierte nach Pearson mit der relativen Schlagkraft ( $n = 20$ ;  $r = 0,797$ ;  $p < 0,001$ ), mit dem Impuls ( $r = 0,618$ ;  $p = 0,004$ ) und mit der Impulsdauer ( $r = -0,791$ ;  $p < 0,001$ ) hoch signifikant. Der Impuls und die Impulsdauer waren signifikant nicht abhängig von einander ( $r = -0,223$ ;  $p = 0,344$ ).

Aus der zweiten Messung war der Zusammenhang nach Pearson zwischen der absoluten Schlagkraft und dem Impuls ( $n = 23$ ;  $r = 0,701$ ;  $p < 0,001$ ) und der Impulsdauer ( $r = -0,570$ ;  $p = 0,005$ ) ebenfalls signifikant. Zwischen der absoluten und relativen Schlagkraft war kein signifikanter Zusammenhang ( $r = 0,363$ ,  $p = 0,089$ ). Impuls und Impulsdauer korrelierten auch nicht miteinander ( $r = -0,082$ ;  $p = 0,709$ ).

## 4.2 Testgütekriterien für das Schlagmessgerät

Das Schlagmessgerät wurde für diese Studie ursprünglich aus einem Pendelsystem, ähnlich wie von Chadli et al. (2014) nur mit einer Aufhängevorrichtung von oben, in die aktuelle Version umgebaut. Das ursprüngliche Pendelsystem war zu hart um mit maximaler Kraft dagegen zu schlagen. Somit war das neue Schlagmessgerät ein Prototyp und die Haupttestgütekriterien (Exaktheitskriterien), wie die Reliabilität (Zuverlässigkeit), die Validität (Gültigkeit) und die Objektivität mussten überprüft werden. Die Validität gibt an in welchem Ausmaß ein Test/Testgerät die gesuchte Fragestellung erfüllt. Die Reliabilität eines Tests beschreibt die Messgenauigkeit oder die Reproduzierbarkeit. Die Objektivität drückt den Grad der Unabhängigkeit der Testleistung aus (Weineck, 2010, p. 77).

Zwölf Personen haben an beiden Messungen teilgenommen. Der Vergleich der Schlagkraftparameter dieser zwölf Personen in einem abhängigen T-Test, wurde für die Testgütekriterien des Schlagmessgeräts herangezogen, dargestellt in Tabelle 6. Zuerst sind die gepaarten Stichproben auf ihre Korrelation nach Pearson geprüft worden. Die absolute Schlagkraft ( $r = 0,679$ ;  $p = 0,012$ ), die relative Schlagkraft ( $r = 0,827$ ;  $p = 0,001$ ) und die Impulsdauer ( $r = 0,582$ ;  $p = 0,047$ ) aus dem ersten und zweiten Messzeitpunkt korrelierten signifikant miteinander. Die Impulse waren signifikant nicht abhängig ( $r = 0,310$ ;  $p = 0,327$ ).

**Tabelle 6: Nachweis der Testgütekriterien für das Schlagmessgerät durch die Schlagkraft, den Impuls und die Impulsdauer aus den zwei Messungen**

		N	Korrelation	Signifikanz
Paaren 1	absolute Schlagkraft Nov [N] & absolute Schlagkraft Dez [N]	12	,697	,012
Paaren 2	relative Schlagkraft Nov [N/kg] & relative Schlagkraft Dez [N/kg]	12	,827	,001
Paaren 3	Impuls Nov [Ns] & Impuls Dez [Ns]	12	,310	,327
Paaren 4	Impulsdauer Nov [s] & Impulsdauer Dez [s]	12	,582	,047

Danach sind die Mittelwertdifferenzen (MD) aus den zwei Messzeitpunkten überprüft worden. Zwischen der absoluten Schlagkraft ( $MD = -109,56 \pm 185,97$ ;  $T_{11} = -2,041$ ;  $p = 0,066$ ), der relativen Schlagkraft ( $MD = -1,46 \pm 2,35$ ;  $T_{11} = -2,143$ ;  $p = 0,55$ ), dem Impuls ( $MD = -1,41 \pm 2,36$ ;  $T_{11} = -2,065$ ;  $p = 0,063$ ) und der Impulsdauer ( $MD = -0,00027 \pm 0,0045$ ;  $T_{11} = -0,208$ ;  $p = 0,839$ ) waren die Abweichungen im abhängigen T-Test nicht signifikant.

Die relative Schlagkraft erfüllte nach der Interpretation von Weineck (2010, p. 77) mit einem Gütekoeffizienten von  $r = 0,827$ ;  $p = 0,001$  die wissenschaftlichen Testkriterien am stärksten. Die Gültigkeit war sehr gut, die Zuverlässigkeit und Objektivität waren annehmbar. Für die absolute Schlagkraft waren die Testkriterien mit  $r = 0,679$ ;  $p = 0,012$ , annehmbar bis fraglich und der Impuls mit  $r = 0,310$ ;  $p = 0,327$ , hat sie nicht erfüllt.

Bei einer komplexen sportmotorischen Bewegung wie einem Schlag (Filimonov et al., 1985; Fritsche, 1978; Joch et al., 1982; Lenetsky et al., 2013), kann neben der Ungenauigkeit des Messgerätes eine unvollständige Merkmalskonstanz für eine geringe Reliabilität sorgen. Eine Merkmalskonstanz ist die Fähigkeit das gleiche Ergebnis bei mehreren Wiederholungen zu erreichen. Eine mangelhafte Merkmalskonstanz kann bei koordinativ anspruchsvollen Bewegungen häufiger auftreten, als bei elementaren Bewegungen mit geringer koordinativen Anforderung. Die Merkmalskonstanz steigt mit der Verbesserung der sportlichen Technik. Neben dem korrelationsstatischen Kriterium kann bei einem Retest-Verfahren auf ein varianzanalytisches Kriterium zurückgegriffen werden. Hier wird nachgeprüft ob eine Mittelwertdifferenz signifikant ist oder nicht (Hohmann et al., 2014, p. 156).

### 4.3 Bodenreaktionskraft

In Tabelle 7 ist die deskriptive Statistik der BRK aus den zwei Messzeitpunkten zu sehen. Mit dem rechten Bein ist das hintere Bein in der Normalauslage gemeint, mit welchem der Abdruck beim Schlag erfolgte. Für Linksausleger sind die Kraftmessplatten umgestellt worden.

**Tabelle 7: Deskriptive Statistik der BRK**

	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standardabweichung
resultierende Bodenreaktionskraft rechtes Bein Nov [N]	20	316,60	1107,00	611,9650	230,75442
resultierende Bodenreaktionskraft linkes Bein Nov [N]	20	365,20	917,70	581,3100	144,70131
resultierende Bodenreaktionskraft rechtes Bein Dez [N]	23	339,10	1457,00	668,1000	269,68190
resultierende Bodenreaktionskraft linkes Bein Dez [N]	23	316,30	998,00	627,6870	181,90790
Gültige Werte (Listenweise)	12				

Die rechten BRK-Messungen korrelierten signifikant miteinander ( $n = 12$ ;  $r = 0,759$ ;  $p = 0,004$ ). Die Messungen der linken BRK zeigten keinen großen linearen Zusammenhang



miteinander ( $r = 0,465$ ;  $p = 0,128$ ). Im abhängigen T-Test aus den zwei Messzeitpunkten wies die rechte BRK keine signifikante Differenz auf ( $MD = 61,86 \pm 119,93$ ;  $T_{11} = 1,787$ ;  $p = 0,102$ ), hingegen war bei der linken BRK die Differenz signifikant ( $MD = -119,44 \pm 186,88$ ;  $T_{11} = -2,214$ ;  $p = 0,049$ ). Die Gültigkeit für die rechte BRK war nach Weineck (2010, p. 77) annehmbar, die Zuverlässigkeit und Objektivität waren schwach.

Die BRK des hinteren Beines aus der zweiten Messung war mit der Maximalkraft in der Kniebeuge ( $n = 19$ ;  $r = 0,536$ ;  $p = 0,018$ ) und mit der Maximalkraft im Bankdrücken ( $n = 19$ ;  $r = 0,526$ ;  $p = 0,021$ ) signifikant zusammenhängend. Die rechte BRK aus der ersten Messung korrelierte mit den Schlagparametern signifikant, diese Zusammenhänge werden im Kapitel 4.6.3 für die 3. Hypothese beschrieben. Die BRK des vorderen Beines wies keine signifikanten Korrelationen weder mit den Schlag-, noch mit den Kraftparametern auf.

## 4.4 Maximalkraftmessung

Tabelle 8 zeigt die deskriptive Statistik für die Maximalkraftparameter.

**Tabelle 8: Ergebnisse der Maximalkraftmessungen**

	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standardabweichung
absolute Maximallast Kniebeugen [kg]	23	65,00	120,00	95,8696	15,92969
relative Maximallast Kniebeugen [kg Last/kg Körpergewicht]	23	,81	1,63	1,1834	,18578
absolute Maximallast Bankdrücken [kg]	23	60,00	105,00	83,0435	12,12990
relative Maximallast Bankdrücken [kg Last/kg Körpergewicht]	23	,81	1,30	1,0386	,13068
Gültige Werte (Listenweise)	23				

Die Maximalkraft in der Kniebeuge und im Bankdrücken korrelierten signifikant miteinander ( $n = 23$ ;  $r = 0,609$ ;  $p = 0,002$ ). Die relativen Maximalkräfte waren nicht signifikant voneinander abhängig ( $r = 0,398$ ;  $p = 0,060$ ). Die absolute und relative Maximalkraft in der Kniebeuge ( $r = 0,577$ ;  $p = 0,004$ ) und die absolute und relative Maximalkraft im Bankdrücken ( $r = 0,458$ ;  $p = 0,028$ ) waren wieder statistisch gesichert.

Zum Vergleich, in der Arbeit von Baker and Nance (1999) war bei zwölf Rugby Profispielern die Korrelation zwischen dem 3RM in der Kniebeuge und im Bankdrücken  $r = 0,58$ .

## 4.5 Schnellkraftmessung

Tabelle 9 stellt die Ergebnisse der Schnellkraftparameter dar.

**Tabelle 9: Ergebnisse der Schnellkraftmessung**

	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standardabweichung
Counter Movement Jump Nov [cm]	20	26,78	39,59	34,0361	3,78140
Counter Movement Jump Dez [cm]	23	27,87	47,28	34,5191	4,88062
Medizinball Wurf [cm]	21	197,83	280,78	235,6210	22,43244
Gültige Werte (Listenweise)	10				

Die CMJs aus den zwei Messzeitpunkten zeigten zwar einen moderaten aber keinen signifikanten Zusammenhang zueinander ( $n = 12$ ;  $r = 0,467$ ;  $p = 0,126$ ). Die MD im abhängigen T-Test war signifikant nicht abweichend ( $MD = 0,01 \pm 3,45$  cm;  $T_{11} = 0,013$ ;  $p = 0,990$ ).

## 4.6 Hypothesen

### 4.6.1 1. Hypothese – Korrelation Schlagkraft und Maximalkraft

Die Schlagkraft sowie die relative Schlagkraft aus der ersten Messung korrelierten signifikant mit der Maximalkraft ( $n = 13$ ;  $r = 0,633$ ;  $p = 0,02$ ) bzw. mit der relativen Maximalkraft im Bankdrücken ( $r = 0,595$ ;  $p = 0,032$ ). Der Impuls aus der ersten Messung war ebenfalls signifikant zusammenhängend mit der Maximalkraft im Bankdrücken ( $r = 0,624$ ;  $p = 0,023$ ).

Aus der zweiten Messung war der Impuls von der Maximalkraft im Bankdrücken signifikant abhängig ( $n = 19$ ;  $r = 0,568$ ;  $p = 0,011$ ). Aus keiner Messung zeigte sich eine signifikante Korrelation zwischen der Schlagkraft oder dem Impuls und der Maximalkraft in der Kniebeuge. Somit ist die 1. Nullhypothese für die Beine erfüllt, es gibt keine signifikante Korrelation zwischen der Schlagkraft und der Maximalkraft. Für den Oberkörper trifft die 1. Alternativhypothese zu, es gibt eine signifikante Korrelation zwischen den zwei Parametern.

### 4.6.2 2. Hypothese Korrelation Schlagkraft und Schnellkraft

Die einzig signifikante Korrelation zwischen der Schlagkraft und den Schnellkraftparametern, hatte die Medizinballwurfhöhe mit der relativen Schlagkraft aus der ersten Messung ( $n = 10$ ;  $r = -0,655$ ;  $p = 0,040$ ) ergeben. Die negative Korrelation heißt, je höher

die relative Schlagkraft ist, desto niedriger die Wurfhöhe. Der CMJ wies mit keinem Schlagkraftparameter einen signifikanten Zusammenhang auf. Weil die Korrelation mit der Wurfhöhe negativ war, ist die 2. Nullhypothese für die Schnellkraftparameter gegeben, es gibt keinen signifikanten Zusammenhang zwischen der Schlagkraft und den ausgewählten Schnellkraftparametern.

### **4.6.3 3. Hypothese Korrelation Schlagkraft und Bodenreaktionskraft**

Aus der ersten Messung korrelierte die BRK des hinteren Beines mit der Schlagkraft ( $n = 20$ ;  $r = 0,574$ ;  $p = 0,008$ ), mit der relativen Schlagkraft ( $n = 20$ ;  $r = 0,478$ ,  $p = 0,033$ ), mit dem Impuls ( $n = 20$ ,  $r = 0,536$ ;  $p = 0,015$ ) und mit der Impulsdauer ( $n = 20$ ;  $r = -0,455$ ;  $p = 0,044$ ) signifikant. Das vordere Bein wies mit keinem Schnellkraftparameter eine signifikante Korrelation auf. Aus der zweiten Messung hängten die Schlagkraftparameter und die BRK nicht zusammen. Somit war für die erste Messung die 3. Alternativhypothese erfüllt, es gibt eine signifikante Korrelation zwischen der Schlagkraft und der BKR und für die 2. Messung war die 3. Nullhypothese gegeben, es gibt keine signifikante Korrelation zwischen den Parametern.

## **4.7 Weitere Korrelationen**

Neben den Zusammenhängen zu den drei Hypothesen, korrelierte aus der ersten Messung die Körpermasse mit der relativen Schlagkraft ( $n = 20$ ;  $r = -0,593$ ;  $p = 0,006$ ) und dem Impuls ( $n = 20$ ;  $r = 0,524$ ;  $p = 0,018$ ). Die negative Korrelation bedeutet, dass die leichteren Teilnehmer eine höhere Schlagkraft pro kg Körpermasse besaßen. Aus der zweiten Messung war die Körpermasse signifikant zusammenhängend mit der Schlagkraft ( $n = 23$ ;  $r = 0,535$ ;  $p = 0,008$ ), mit der relativen Schlagkraft ( $n = 23$ ;  $r = -0,566$ ;  $p = 0,005$ ) und mit dem Impuls ( $n = 23$ ;  $r = 0,521$ ;  $p = 0,011$ ). Die Körpermasse korreliert außerdem mit der Maximalkraft im Bankdrücken ( $n = 23$ ;  $r = 0,655$ ;  $p = 0,001$ ) und in der Kniebeuge ( $n = 23$ ;  $r = 0,574$ ;  $p = 0,004$ ).

Die einzig signifikanten Korrelationen die sich zwischen den Schnellkraft- und den Maximalkraftparametern ergaben, war zwischen dem CMJ aus dem zweiten Messzeitpunkt und der relativen Maximalkraft in der Kniebeuge ( $n = 19$ ;  $r = 0,575$ ;  $p = 0,010$ ) und der relativen Maximalkraft im Bankdrücken ( $n = 19$ ;  $r = 0,668$ ;  $p = 0,002$ ).

Tabelle 10 und 11 zeigen die verwendeten Korrelationen im Überblick aus den zwei Messungen.

**Tabelle 10: Korrelationen aus der ersten Messung**

Korrelationen										
	absolute Schlagkraft Nov [N]	relative Schlagkraft Nov [N/kg]	Impuls Nov [Ns]	resultierende Bodenreaktionskraft rechtes Bein Nov [N]	absolute Kniebeugen [kg]	relative Maximallast Kniebeugen [kg Last/kg Körpergewicht]	absolute Maximallast Bankdrücken [kg]	relative Maximallast Bankdrücken [kg Last/kg Körpergewicht]	Counter Movement Jump Nov [cm]	Gewicht [kg]
absolute Schlagkraft Nov	1	,797**	,618**	,574**	,185	,162	,633*	,559*	,258	-,016
		,000	,004	,008	,545	,596	,020	,047	,272	,945
	20	20	20	20	13	13	13	13	20	20
relative Schlagkraft Nov	,797**	1	,150	,478*	,072	,104	,544	,595**	,109	-,593**
	,000		,528	,033	,816	,734	,054	,032	,647	,006
	20	20	20	20	13	13	13	13	20	20
Impuls Nov [Ns]	,618**	,150	1	,536*	,414	,297	,624*	,471	,320	,524*
	,004	,528		,015	,160	,324	,023	,104	,168	,018
	20	20	20	20	13	13	13	13	20	20
resultierende Bodenreaktionskraft rechtes Bein Nov [N]	,574**	,478*	,536*	1	,450	,366	,138	,010	,203	-,031
	,008	,033	,015		,122	,219	,652	,974	,390	,898
	20	20	20	20	13	13	13	13	20	20
absolute Maximallast Kniebeugen [kg]	,185	,072	,414	,450	1	,577**	,609**	,082	,114	,574**
	,545	,816	,160	,122		,004	,002	,711	,710	,004
	13	13	13	13	23	23	23	23	13	23
relative Maximallast Kniebeugen [kg Last/kg Körpergewicht]	,162	,104	,297	,366	,577**	1	,069	,398	,066	-,292
	,596	,734	,324	,219	,004		,753	,060	,831	,176
	13	13	13	13	23	23	23	23	13	23
absolute Maximallast Bankdrücken [kg]	,633*	,544	,624*	,138	,609**	,069	1	,458*	,179	,655**
	,020	,054	,023	,652	,002	,753		,028	,559	,001
	13	13	13	13	23	23	23	23	13	23
relative Maximallast Bankdrücken [kg Last/kg Körpergewicht]	,559*	,032	,471	,010	,082	,398	,458*	1	,278	-,340
	,047	,032	,104	,974	,711	,060			,358	,113
	13	13	13	13	23	23	23	23	13	23
Counter Movement Jump Nov [cm]	,258	,109	,320	,203	,114	,066	,179	,278	1	,079
	,272	,647	,168	,390	,710	,831	,559	,358	,1	,741
	20	20	20	20	13	13	13	13	20	20
Gewicht [kg]	-,016	-,593**	,524*	-,031	,574**	-,292	,655**	-,340	,079	1
	,945	,006	,018	,898	,004	,176	,001	,113	,741	,741
	20	20	20	20	23	23	23	23	20	31

\*\* . Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,01 (2-seitig) signifikant.

\* . Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,05 (2-seitig) signifikant.

**Tabelle 11: Korrelationen aus der zweiten Messung**

Korrelationen										
	absolute Schlagkraft Dez [N]	relative Schlagkraft Dez [N/kg]	Impuls Dez [Ns]	resultierende Bodenreaktionskraft rechtes Bein Dez [N]	absolute Maximallast Kniebeugen [kg]	relative Maximallast Kniebeugen [kg Last/kg Körpergewicht]	absolute Maximallast Bankdrücken [kg]	relative Maximallast Bankdrücken [kg Last/kg Körpergewicht]	Counter Movement Jump Dez [cm]	Gewicht
absolute Schlagkraft Dez	1	,363	,701	,253	,317	-,209	,432	-,109	-,053	,535
		,089	,000	,244	,186	,391	,065	,656	,810	,008
	23	23	23	23	19	19	19	19	23	23
relative Schlagkraft Dez	,363	1	,051	-,089	-,313	,225	-,271	,302	,292	-,566
	,089		,817	,687	,193	,355	,262	,209	,176	,005
	23	23	23	23	19	19	19	19	23	23
Impuls Dez [Ns]	,701	,051	1	,229	,339	-,278	,568	,124	,044	,521
	,000	,817		,293	,156	,249	,011	,612	,843	,011
	23	23	23	23	19	19	19	19	23	23
resultierende Bodenreaktionskraft rechtes Bein Dez [N]	,253	-,089	,229	1	,536	,348	,526	,407	,221	,409
	,244	,687	,293		,018	,145	,021	,083	,312	,053
	23	23	23	23	19	19	19	19	23	23
absolute Maximallast Kniebeugen [kg]	,317	-,313	,339	,536	1	,577	,609	,082	,336	,574
	,186	,193	,156	,018		,004	,002	,711	,159	,004
	19	19	19	19	23	23	23	23	19	23
relative Maximallast Kniebeugen [kg Last/kg Körpergewicht]	-,209	,225	-,278	,348	,577	1	,069	,398	,575	-,292
	,391	,355	,249	,145	,004		,753	,060	,010	,176
	19	19	19	19	23	23	23	23	19	23
absolute Maximallast Bankdrücken [kg]	,432	-,271	,568	,526	,609	,069	1	,458	,302	,655
	,065	,262	,011	,021	,002	,753		,028	,209	,001
	19	19	19	19	23	23	23	23	19	23
relative Maximallast Bankdrücken [kg Last/kg Körpergewicht]	-,109	,302	,124	,407	,458	,398	,458	1	,668	-,340
	,656	,209	,612	,083	,028	,060	,028		,002	,113
	19	19	19	19	23	23	23	23	19	23
Counter Movement Jump Dez [cm]	-,053	,292	,044	,221	,302	,575	,302	,668	1	-,274
	,810	,176	,843	,312	,209	,010	,209	,002		,207
	23	23	23	23	19	19	19	19	23	23
Gewicht	,535	-,566	,521	,409	,655	-,292	,655	-,340	-,274	1
	,008	,005	,011	,053	,001	,176	,001	,113	,207	,207
	23	23	23	23	23	23	23	23	23	31

\*\* Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,01 (2-seitig) signifikant.

\* Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,05 (2-seitig) signifikant.

## 5. Diskussion

Die vorliegende Arbeit ist die erste Studie, die den Zusammenhang der Schlagkraft, der BRK, der Maximalkraft und der Schnellkraft in ausgewählten Übungen für die Sportart Boxen untersucht hat. Die Hypothesen konnten nicht eindeutig bestätigt oder abgelehnt werden, weil die Ergebnisse für die oberen- und unteren Extremitäten oder aus den zwei Messzeitpunkten unterschiedlich waren. Eindeutig war hingegen, dass die ausgewählten Schnellkraftparameter zu keinem Messzeitpunkt mit den Schlagkraftparametern signifikant korrelierten. Dafür kann es mehrere Gründe geben, die auch diskutiert werden. Jedoch kann nicht davon ausgegangen werden, dass die Schnellkraft per se nicht mit der Schlagkraft zusammenhängt, zumal dieser Zusammenhang in anderen Studien bestätigt wird. Die Ergebnisse über die Maximalkraft sind im Einklang mit denen von Bührle et al. (1982), dass das Kraftniveau von Boxern ohne ein zusätzliches Krafttraining nicht höher ist, als von kraftuntrainierten Sportstudenten. Generell ist dieses Kraftniveau im Vergleich mit Leistungssportlern unterentwickelt (Zawieja et al., 2016, pp. 120,123)

Die oft in der Literatur erwähnte wichtige Rolle des Beinabdrucks für die Höhe der Schlagkraft konnte nur zum Teil bestätigt werden. Die BRK hatte aus der ersten Messung eine hohe Korrelation mit den Schlagparametern. Allerdings war bei der BRK eine hohe SD festzustellen. Neben einer unvollständigen Merkmalskonstanz kann der Grund dafür sein, wie von Cheraghi et al. (2014) geschildert, dass eine individuelle Bewegungstechnik eine hohe SD hervorrufen kann. Die Körpermasse wies ebenfalls eine hohe Korrelation mit den Schlagkraft- und den Maximalkraftparametern auf. Deswegen ist diese Variable für die Höhe der Schlagkraft ebenfalls von Bedeutung.

### 5.1 1. Hypothese – Korrelation Schlagkraft und Maximalkraft

Die 1. Hypothese war die Korrelation zur Maximalkraft zu überprüfen. Die relative Maximalkraft im Bankdrücken korrelierte signifikant mit der relativen Schlagkraft aus der ersten Messung ( $n = 13$ ;  $r = 0,595$ ;  $p = 0,032$ ) und die Maximalkraft im Bankdrücken war mit der Schlagkraft ( $n = 13$ ;  $r = 0,633$ ;  $p = 0,02$ ) zusammenhängend. In der zweiten Messung war nur der Impuls ( $n = 19$ ;  $r = 0,568$ ;  $p = 0,011$ ) mit der Maximalkraft im Bankdrücken signifikant zusammenhängend, jedoch aufgrund der Nichterfüllung der Testgütekriterien ist der Impuls statistisch wenig aussagekräftig. Zu keinem Messzeitpunkt war eine Korrelation mit der Kniebeuge und den Schlagparametern festzustellen.

Zum Zeitpunkt der Maximalkraftmessung ging keiner der Probanden einem regelmäßigen Krafttraining nach, viele von ihnen hatten überhaupt wenig Erfahrung mit Krafttraining. Der Mittelwert in der Kniebeuge lag bei  $95,87 \pm 15,93$  kg und im Bankdrücken bei  $83,04 \pm 12,13$  kg, bei einem durchschnittlichen Körpergewicht von  $80,78 \pm 10,85$  kg.

Wirth et al. (2011) maßen bei 136 weiblichen und männlichen Sportstudenten mit geringer Krafttrainingserfahrung, mit einem durchschnittlichen Körpergewicht von 75,74 kg, eine mittlere Maximalkraft von 87,41 kg in der Kniebeuge. Der Umkehrpunkt in der Kniebeuge war, wie in der vorliegenden Studie, sobald die Beine parallel zum Boden waren. Die zwei Gruppen mit dem höchsten Körpergewicht, bestehend aus 46 Studenten mit einem durchschnittlichen Körpergewicht von 77,35 kg, hatten eine mittlere Maximalkraft von 106,15 kg. Über die Gruppenaufteilung stand keine weitere Information mehr, es ist davon auszugehen, dass sie randomisiert war.

Die durchschnittliche Maximalkraft in der Kniebeuge der 23 Jab Club Boxer lag mit 8,51 kg über jener der 136 Sportstudenten, war aber mit 10,28 kg unter der der 46 schwersten Studenten. Dieser Vergleich zeigt ein ähnliches Ergebnis wie von Bührlé et al. (1982), wobei die Maximalkraft von Boxern ohne zusätzliches Krafttraining unter dem Maximalkraftniveau von kraftuntrainierten Sportstudenten lag.

Bei den Sportlern in der vorliegenden Studie betrug die externe Maximallast in der Kniebeuge 117% des Körpergewichts und im Bankdrücken 103%. Referenzwerte aus der Praxis für Athletiktraining stufen das 1RM in der Kniebeuge für männliche Sportler unter 125% als mangelhaft, zwischen 125-150% als gut und über 150% als sehr gut ein. Im Bankdrücken ist das 1RM unter 100% mangelhaft, zwischen 100-125% gut und über 125% sehr gut (Zawieja et al., 2016, pp. 120,123).

Loturco et al. (2014) ermittelten bei 9 Karatekas aus dem brasilianischen Nationalteam das 1RM im Bankdrücken von  $89 \pm 19$  kg. Die Beschleunigung der Schlaghand aus einer fixen Position mit der Intention die größte Schlagkraft zu erzeugen korrelierte mit dem relativen 1RM im Bankdrücken mit  $r = 0,707$ ;  $p < 0,05$ . Das 1RM liegt mit 5,96 kg über dem der Jab Club Boxer. Zum Vergleich dazu, war die Korrelation in der vorliegenden Studie zwischen der relativen Schlagkraft und dem relativen 1RM im Bankdrücken  $n = 13$ ;  $r = 0,595$ ;  $p = 0,032$ . Die Beschleunigung und Kraft sind zwar verschiedene Parameter aber voneinander abhängig ( $F = m \cdot a$ ).

Eine Erklärung für die bessere Korrelation von Loturco et al. (2014) könnte sein, dass die Maximalkraft der brasilianischen Kaderathleten höher war und dadurch besaßen sie eine bessere intramuskuläre Koordination für die Beschleunigung. Ein weiterer Grund wäre, dass die

Kaderathleten eine bessere Bewegungstechnik hatten, wodurch sie eine ausgeprägtere intermuskuläre Koordination und eine höhere Merkmalskonstanz besaßen. Außerdem kann zur besseren Korrelation beigetragen haben, dass der untersuchte Karateschlag, der Giaku-Tsuki, von der Hüfte geschlagen wird und durch den längeren Weg eine höhere Beschleunigung erzielt werden konnte. Die Karatekas hatten dadurch mehr Zeit für den Kraftanstieg während des Schlages. Die gerade Schlaghand im Boxen wird vom Kinn geschlagen, wodurch der Beschleunigungsweg und das Zeitfenster für die Entwicklung der Explosivkraft kürzer sind. Allerdings um konkrete Aussagen über diesen Vergleich treffen zu können, müsste ebenfalls die Beschleunigung während des Boxschlages gemessen werden.

Die Referenzwerte für Athleten aus der Praxis zeigen, dass das Maximalkraftniveau im Bankdrücken mit 103% vom Körpergewicht gerade noch akzeptabel ist, aber die Kniebeuge mit 117% unterentwickelt ist. Möglicherweise kann das fehlende Kraftpotential ein Grund für die ausbleibende Korrelation zwischen dem 1RM in der Kniebeuge und den Schlagkraftvariablen sein. Die stärkere Ausprägung der Oberkörperkraft der Jab Club Boxer kann daran liegen, dass boxspezifisch durch Pratzentraining, Boxsacktraining, Klimmzüge oder Liegestütz stärker die oberen als die unteren Extremitäten entwickelt werden.

Stanley (2014) steigerte in seiner Studie bei 20 Amateurboxern mit geringer Krafttrainingserfahrung durch eine vierwöchige Trainingsintervention nach der Complex-Trainingsmethode die Maximalkraft im Bankdrücken um 26,9% und in der Kniebeuge um 27,5%. Die Boxer verbesserten durch die erhöhte Maximalkraft, die Schlagkraft der Führhand um 21,1% und die der Schlaghand um 20,4%. In der Complex-Trainingsmethode werden mehrgelenkige Kraftübungen mit kinematisch ähnlichen plyometrischen Übungen in einer Einheit kombiniert. In weiteren Studien wäre es interessant zu untersuchen ob die guten Ergebnisse von Stanley bestätigt werden können.

## **5.2 2. Hypothese Korrelation Schlagkraft und Schnellkraft**

Die sportmotorischen Tests für die Überprüfung der Schnellkraft waren für die Beine der CMJ und für die Druckkraft des Oberkörpers die explosive Ausstoßbewegung aus der Rückenlage mit einem Medizinball.

Die Durchschnittshöhe für den CMJ aus den zwei Messzeitpunkten lag bei  $34,04 \pm 3,78$  cm und bei  $34,52 \pm 4,88$  cm. Die zwei Werte korrelierten nicht signifikant miteinander. Die Differenz im abhängigen T-Test war ebenfalls nicht signifikant. Markovic et al. (2004) maßen bei 93 Sportstudenten eine Sprunghöhe von  $35,3 \pm 4,5$  cm. Die Studenten sprangen um 1,02 cm über den Durchschnitt der Jab Club Boxer. Allerdings hatten die Sportstudenten ausreichend



Erfahrung mit den Sprungvarianten im Gegensatz zu den Teilnehmern der vorliegenden Studie. Sonst wäre auch kein so hoher Reliabilitätskoeffizient (Cronbach's Alpha  $\alpha = 0,98$ ) bei Markovic möglich gewesen. Referenzwerte aus der Praxis für männliche, sprungerprobte Athleten sind unter 45 cm mangelhaft, zwischen 45-60 cm gut und über 60 cm als sehr gut einzustufen (Zawieja et al., 2016, p. 139).

Die einzigen signifikanten Korrelationen die sich mit dem CMJ ergaben, waren zum zweiten Messzeitpunkt mit der relativen Maximalkraft in der Kniebeuge ( $n = 19$ ;  $r = 0,575$ ;  $p = 0,010$ ) und der relativen Maximalkraft im Bankdrücken ( $n = 19$ ;  $r = 0,668$ ;  $p = 0,002$ ). Das ist eine klassische Scheinkorrelation die hauptsächlich bestätigt, dass die oberen und unteren Extremitäten im ähnlichen Ausmaß entwickelt sind. Das zeigt auch die hohe Korrelation zwischen der Maximalkraft im Bankdrücken und in der Kniebeuge ( $n = 23$ ;  $r = 0,609$ ;  $p = 0,002$ ). Jedoch wie bereits erwähnt, sollte die Kraft in der Kniebeuge stärker als im Bankdrücken ausgeprägt sein, wenn Ober- und Unterkörper im selben Umfang trainiert werden. Dass der CMJ aus den zwei Messzeitpunkten mit einer nicht signifikanten MD von nur 0,48 cm, nach Pearson nicht signifikant miteinander korrelierten ( $n = 12$ ;  $r = 0,467$ ;  $p = 0,126$ ), kann daran gelegen sein, dass die Probanden aufgrund mangelnder Sprungtechnik eine geringe Merkmalskonstanz hatten.

In der Arbeit von Loturco et al. (2014) ergab die Korrelation zwischen der Sprunghöhe im CMJ ( $h = 43,2 \pm 5,3$  cm) und der Schlagkraft aus einer vorgegebenen Position für die 19 Karatekas,  $r = 0,707$ ;  $p \leq 0,05$ . In einer weiteren Studie von Loturco et al. (2016) war der Zusammenhang zwischen dem CMJ ( $h = 37,42 \pm 4,75$  cm) und der Schlagkraft der geraden Schlaghand aus einer fixen Position von 15 Kaderamateurboksern,  $r = 0,79$ ;  $p \leq 0,01$ . In der präsentierten Arbeit korrelierte die Höhe aus dem CMJ ( $h = 34,04$  und  $34,52$  cm) nicht signifikant mit den Schlagkraftparametern. Der Grund dafür kann einerseits sein, dass wegen mangelnder Sprungtechnik oder geringem Kraftpotential die Sprunghöhe zu niedrig war, oder andererseits wie bereits erwähnt, dass sowohl beim CMJ als auch bei der Schlagkraft eine geringe Merkmalskonstanz vorlag, welche die Korrelationen negativ beeinflusste. Wie die Arbeiten von Loturco zeigen, kann trotz fehlender Korrelation mit der Schnellkraft in der präsentierten Studie nicht angenommen werden, dass die Schnellkraft keinen Einfluss auf die Schlagkraft hat.

Für die Messung der Schnellkraft des Oberkörpers werden in der Regel Ausstoßbewegungen entweder mit der Langhantel (Loturco et al., 2014; Loturco et al., 2016) oder mit einer leichteren Masse wie einem Medizinball (Ebben & Blackard, 1997; Zawieja et al., 2016) eingesetzt. Wird die Langhantel zur Bestimmung der Schnellkraft eingesetzt, wird oft die Last an der Muskelleistungsschwelle für weitere statistische Berechnungen herangezogen (Loturco et al., 2014; Loturco et al., 2016). Aus zwei Gründen hat sich der Autor der

vorliegenden Arbeit dagegen entschieden die Schnellkraft über die Muskelleistungsschwelle zu bestimmen:

Erstens haben Wirth et al. (2011) nachgewiesen, dass ein Training mit  $\geq 80\%$  des 1RM einem Training im typischen MLS Bereich zwischen 30-80% des 1RM (Asçi & Açıkada, 2007) in Bezug auf die Schnellkraft signifikant überlegen war. Daher wäre es aus Sicht von Wirth et al. (2011) Studie wenig sinnvoll, die Schnellkraft über einen Intensitätsbereich zu definieren, welche keine größere Verbesserung für die Schnellkraft als die Maximalkraft gezeigt hat.

Zweitens ist die Last an der MLS keine boxtypische Belastung. Zwar sind Medizinbälle auch schwerer als die typischen Trainingsmittel im Boxen, die Boxhandschuhe, aber die Last der Bälle wird trotzdem als niedrig eingestuft. Auf der Kraft-Geschwindigkeitskurve wird der Bereich mit geringer Last und hoher Bewegungsgeschwindigkeit (Abbildung 3, Bild C) trainiert, wodurch hauptsächlich die Explosivkraftfähigkeit verbessert wird. Bei Lasten unter 25% der isometrischen Maximalkraft, ist bei explosiver Ausführung für den Kraftanstieg hauptsächlich das Explosivkraftvermögen verantwortlich (Hartmann et al., 2008). Außerdem sind Medizinballprellwürfe häufig eingesetzte Trainingsübungen im Boxtraining (Turner et al., 2011).

Die entstandenen Schwierigkeiten, die Ballwurfhöhe über den Impuls zu berechnen sind im Kapitel 3.3.2 (Schnellkraftmessung) bereits beschrieben (Abbildung 11). In einer weiteren Messung wurde die Ballwurfhöhe mit der Videosoftware Kinovea berechnet (Abbildung 11). Die Masse für den Medizinball sollte 5% des 1RM im Bankdrücken betragen. Das Problem, welches sich hier ergab, war die zu grobe Abstufung der Ballmasse in ein Kilo Schritten. Als Beispiel: 5% des 1RM mit 80 kg sind 4 kg, 5% des 1RM mit 70 kg sind 3,5 kg, weil es keinen 3,5 kg schweren Ball gab, wurde mathematisch auf 4 kg aufgerundet. Zwischen 80 und 70 kg liegen 12,5% Unterschied und beide Sportler mussten denselben Medizinball mit 4 kg verwenden.

Es ergaben sich negative signifikante Korrelationen zwischen der Medizinballwurfhöhe und der relativen Schlagkraft ( $n = 10$ ;  $r = -0,655$ ;  $p = 0,040$ ), der Maximalkraft in der Kniebeuge ( $n = 18$ ;  $-0,554$ ;  $p = 0,017$ ) und der Maximalkraft im Bankdrücken ( $n = 18$ ;  $r = -0,532$ ;  $p = 0,023$ ). Die negativen Zusammenhänge zeigen lediglich, dass je höher die Maximalkraft und die Schlagkraft waren, umso größer war die Ballmasse und umso niedriger dadurch die Wurfhöhe. Möglicherweise hätte eine feinere Abstufung der Bälle bessere Korrelationen mit den Schlagkraft- und den Maximalkraftparametern ergeben.

Außerdem hätte vielleicht die Verwendung einer konstanten Ballmasse für alle Probanden zu besseren Ergebnissen geführt. Denn es ist mit hoher Wahrscheinlichkeit anzunehmen, dass bei einer konstanten Ballmasse die Maximalkraft im Bankdrücken mit der

Ballwurfhöhe signifikant korreliert hätte, je stärker ein Sportler, desto Höher die Ballwurfhöhe. Wenn der Bankdruck und die Schlagkraft linear zusammenhängen ( $n = 13$ ;  $r = 0,633$ ;  $p = 0,02$ ), wäre möglicherweise zwischen der Ballwurfhöhe und der Schlagkraft ebenfalls eine signifikante Korrelation zu erreichen gewesen.

### **5.3 3.Hypothese Korrelation Schlagkraft und Bodenreaktionskraft**

Die Bedeutung der BRK für die Kraftübertragung während des Boxschlages ist in der Literatur gut dokumentiert (Filimonov et al., 1985; Lenetsky et al., 2013; Turner et al., 2011), allerdings gibt es wenig Messergebnisse dazu. Die Messwerte der BRK aus der Arbeit von Bremer (2008) sind mit der BRK der vorliegenden Studie nicht zu vergleichen, weil Bremer seine Teilnehmer mit beiden Füßen auf einer Kraftmessplatte stehen ließ und außerdem maß er die BRK eindimensional in Schlagrichtung und dreidimensional im Raum. Im Gegensatz zur präsentierten Studie, in der die Probanden auf zwei Kraftmessplatten standen und die resultierende BRK zweidimensional aus horizontaler und vertikaler Kraft bestimmt wurde.

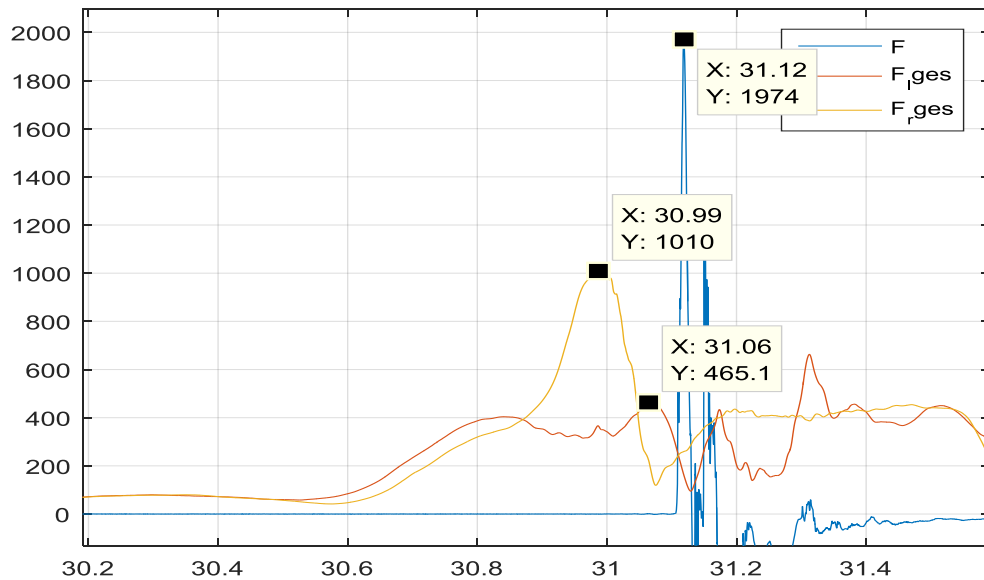
Die BRK korrelierte aus der ersten Messung mit der Schlagkraft ( $n = 20$ ;  $r = 0,574$ ;  $p = 0,008$ ) und mit der relativen Schlagkraft ( $n = 20$ ;  $r = 0,478$ ,  $p = 0,033$ ) signifikant. In der zweiten Messung hing die BRK mit der Maximalkraft in der Kniebeuge ( $n = 19$ ;  $r = 0,536$ ;  $p = 0,018$ ) und mit der Maximalkraft im Bankdrücken ( $n = 19$ ;  $r = 0,526$ ;  $p = 0,021$ ) statistisch zusammen. Der Zusammenhang zwischen der Maximalkraft in der Kniebeuge und der BRK bestätigt die Empfehlung aus der Literatur, die BRK durch Krafttraining der Bein- und Rumpfmuskeln zu erhöhen (Filimonov et al., 1985; Lenetsky et al., 2013; MacWilliams et al., 1998; McGill, 2010; Turner et al., 2011).

Für die Korrelation mit der Schlagkraft betrug das Bestimmtheitsmaß  $r^2 = 33\%$  und für die relative Schlagkraft  $r^2 = 23\%$ . Das bedeutet, dass die BRK mit 33% für die Höhe der Schlagkraft bzw. mit 23% für die relative Schlagkraft verantwortlich war. Bei Filimonov et al. (1985) war, abhängig vom Leistungsniveau der Boxer, die BRK zwischen 16,5 bis 39% für die Schlagkraft zuständig. In Joch et al. (1982) Arbeit, war das Bestimmtheitsmaß  $r^2 = 20\%$  für die BRK von Kaderboxern. Bei den niedrigeren Leistungsniveaus lag die Aufklärungsvarianz der BRK zwischen 0-5%.

Die Korrelationen der BRK aus der präsentierten Studie sind mit Vorsicht zu betrachten. Erstens weisen sie nur aus der ersten Messung einen moderaten Zusammenhang mit der relativen Schlagkraft ( $r = 0,478$ ;  $r^2 = 23\%$ ) bzw. einen hohen mit der Schlagkraft ( $r = 0,574$ ;  $r^2 = 33\%$ ) auf. Zweitens besitzt die BRK mit einem Gütekoeffizienten von  $r = 0,759$  eine schwache Reliabilität.

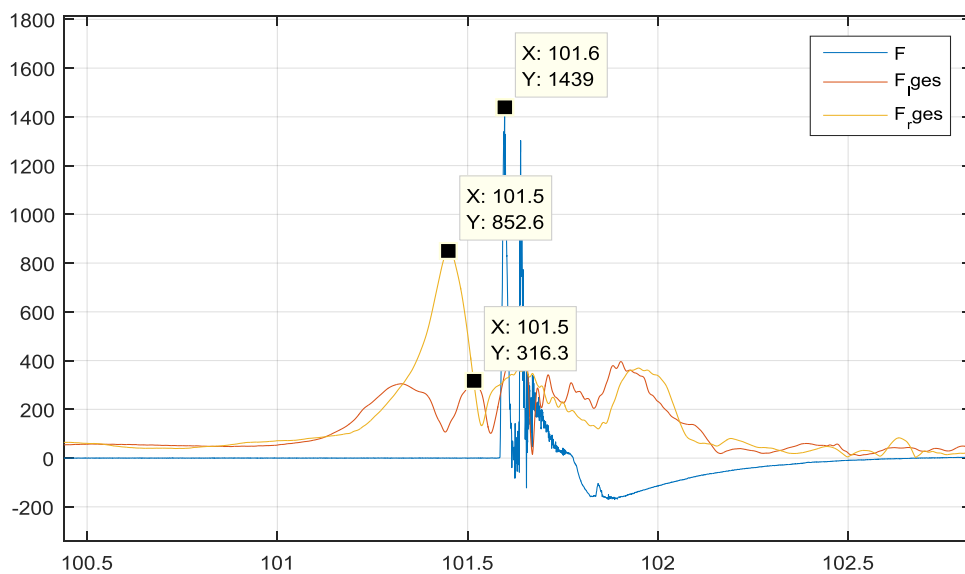
Abbildung 15-18 zeigen anhand von vier Probanden mit verschiedenen BRK, dass es schwierig ist, ein eindeutiges Muster für die Gewichtsverlagerung während des Schlages zu erkennen.

Auf Abbildung 15 ist ein idealer Schlag nach der Boxgrundschule zu sehen, in der eine überdurchschnittliche BRK (orangene Linie) von 1010 N (Mittelwert =  $611,97 \pm 230,75$  N bzw.  $668,10 \pm 269,68$  N) in einer überdurchschnittlichen hohen Schlagkraft (blaue Linie) von 1974 N (Mittelwert =  $1558,55 \pm 253,80$  N bzw.  $1646,31 \pm 273,80$  N) resultierte.



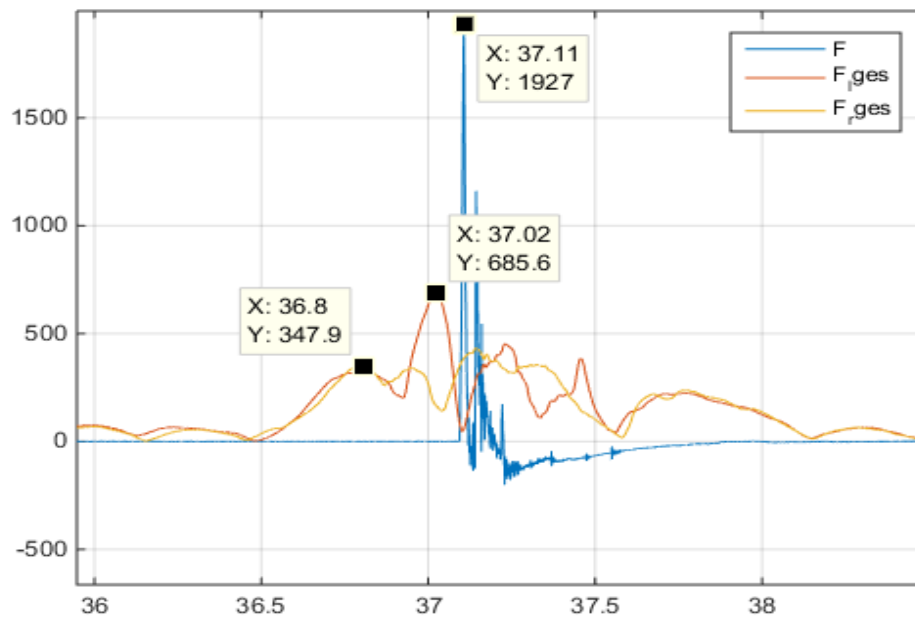
**Abbildung 15: Hohe BRK wird in eine hohe Schlagkraft übertragen**

Abbildung 16 stellt dar, dass eine hohe BRK von 882,6 N nicht zwangsläufig in einer hohen Schlagkraft enden muss, sondern wie hier mit 1439 N unterdurchschnittlich war. Bei diesem Probanden ging die kinetische Energie irgendwo in der biomechanischen Kette verloren.



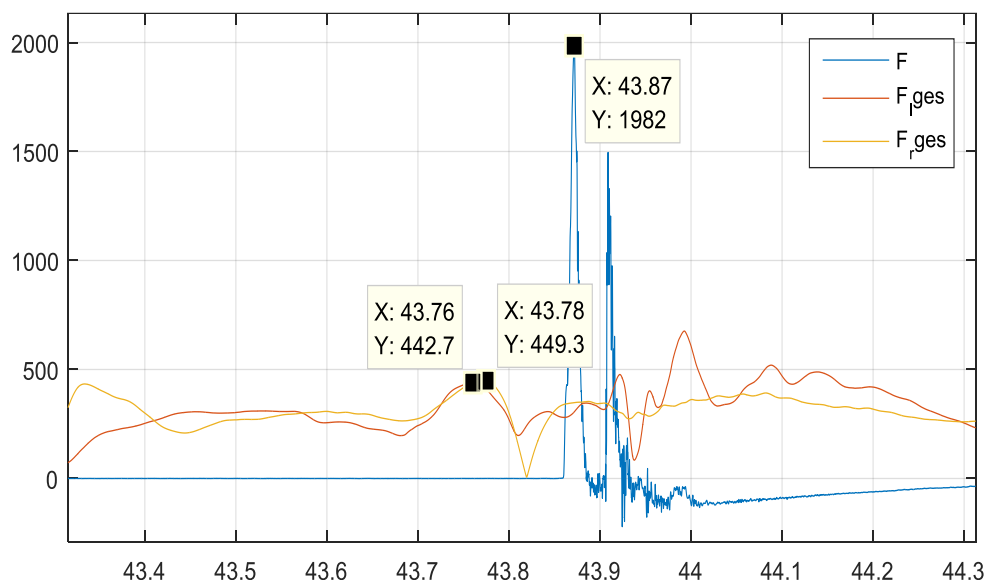
**Abbildung 16: Hohe BRK mit niedriger Schlagkraft**

Abbildung 17 zeigt eine hohe Schlagkraft (1927 N) nur mit einer Gewichtsverlagerung auf das vordere Bein (BRK = 685,5 N) ohne hohen hinteren Beinabdruck (BRK = 347,9 N).



**Abbildung 17: Hohe Schlagkraft ohne Abdruck, nur durch Gewichtsverlagerung**

Das letzte Beispiel auf Abbildung 18 zeigt eine hohe Schlagkraft (1982 N) ohne Beinabdruck und Gewichtsverlagerung, dieser Sportler hat nur aus dem Oberkörper geschlagen.



**Abbildung 18: Hohe Schlagkraft ohne Beinabdruck und Gewichtsverlagerung**

Eine generelle Gewichtsverlagerung beim Schlag wie von Cheraghi et al. (2014) festgestellt um die effektive Masse für den Schlagimpuls zu erhöhen, kann anhand dieser vier Sportler nicht bestätigt werden. Es trifft mehr die Aussage von Mack et al. (2010) zu, dass durch

individuelle Schlagtechniken die Kraft aus dem Unterkörper unterschiedlich in den Oberkörper übertragen wird. Die BRK aus der ersten ( $611,96 \pm 230,75$  N) und aus der zweiten Messung ( $668,10 \pm 269,68$ ) hatten eine große SD. Da die BRK nicht mit der Körpermasse korrelierte, kann die hohe Streuung der BRK auf die unterschiedlichen Gewichtsverlagerungen zurückzuführen sein. Cheraghi et al. (2014) schrieben dazu, der Grund für eine hohe SD in den biomechanischen Parametern sind unterschiedliche Bewegungstechniken. Die Trainer sollten daher nicht nur ein Technikleitbild verfolgen, sondern ab einem bestimmten Niveau verstärkt die individuellen Techniken der Boxer fördern (Cheraghi et al., 2014). Allerdings sollte jeder Nachwuchsboxer das Prinzip der Kraftübertragung für den Schlag in der Grundschule gelernt haben, auf dem sich dann später die individuelle Technik weiterentwickeln kann.

Ein weiterer Grund für eine unterschiedliche Gewichtsverlagerung kann die Volition der Teilnehmer sein. Es konnte nicht überprüft werden, ob tatsächlich alle mit voller Intensität gegen das Schlagobjekt schlugen.

## **5.4 Korrelation Schlagkraft und Körpermasse**

Zwischen der Schlagkraft aus der zweiten Messung und der Körpermasse war eine hohe Korrelation ( $n = 23$ ;  $r = 0,535$ ;  $p = 0,008$ ), ähnlich wie bei Fritsche (1978) ( $r = 0,585$ ;  $p < 0,01$ ) und Walilko et al. (2005) ( $r = 0,539$ ;  $p < 0,05$ ) festzustellen. Aus den negativen Korrelationen zwischen Körpermasse und relativen Schlagkraft ( $n = 20$ ;  $r = -0,593$ ;  $p = 0,006$  und  $n = 23$ ;  $r = -0,566$ ;  $p = 0,005$ ) ging hervor, dass leichtere Teilnehmer eine bessere Schlagkraft pro kg Körpermasse besaßen.

Eine höhere relative Schlagkraft mit niedrigerer Körpermasse zu besitzen, stimmt mit den Ergebnissen von Pierce et al. (2006) überein, wobei die höchste durchschnittliche Schlagkraft im freien Kampf mit  $1149,2$  N im Supermittelwicht ( $76,2$  kg) und nicht in den drei höheren Gewichtsklassen inklusive Schwergewicht lag. Hier korrelierte die Schlagkraft nicht mit der Körpermasse und zwischen der Höhe der Schlagkraft aus Schlag- und Führhand gab es keinen signifikanten Unterschied (Pierce et al., 2006).

Die Körpermasse ist jedoch für die Höhe der Schlagkraft und der Maximalkraft nicht außer Acht zu lassen. In der Regel macht bei Sportlern die Muskelmasse einen beträchtlichen Teil der Körpermasse aus, außer im Superschwergewicht. Austrainierte Athleten auf gleichem Trainingsniveau besitzen mit einer höheren Körpermasse auch eine höhere Maximalkraft, das ist aus dem Gewichtheben bekannt (Zatsiorsky & Kraemer, 2008, pp. 76,77). Das steht aber nicht im Widerspruch, dass die Maximalkraft bis zu einem gewissen Grad verbessert werden kann, ohne die Körpermasse zu erhöhen. Im IK-Training finden hauptsächlich eine neuronale und

keine morphologische Anpassung statt. Wirth and Schmidtbleicher (2007a) schrieben dazu, dass sowohl die Entwicklung der Maximalkraft als auch der Ausprägungsgrad der Muskelmasse einem Optimaltrend folgt, da eine zu hohe Körpermasse in vielen Sportarten sich nachteilig auswirken kann.

Außerdem stellten Joch et al. (1982) fest, dass Boxer mit besseren koordinativen Fähigkeiten besser in der Lage sind die Körpermasse für die Höhe der Schlagkraft einzusetzen. Durch den Beinabdruck kommt es zu einer Gewichtsverlagerung Richtung Schlagobjekt, welche die effektive Masse für den Schlagimpuls erhöht. Dieser Effekt kann noch verstärkt werden, wenn nicht aus dem Stand sondern aus der Bewegung Richtung Gegner geschlagen wird (Cheraghi et al., 2014)

## 6. Conclusio

Die Schlagkraft zu messen ist ein komplexes sportmotorisches Verfahren. Ein Problem welches dabei entsteht ist, dass die verschiedenen, individuellen Messmethoden (Tabelle 1) nicht einfach wie genormte sportmotorische Tests miteinander zu vergleichen sind. Es ist daher schwierig, Soll-Referenzwerte zu definieren. Hier könnten Unternehmen wie z.B. Kunz (2010), die sich auf die Herstellung von Schlagmessgeräten für den Vertrieb spezialisieren Abhilfe schaffen, indem die Messgeräte vereinheitlicht werden. Allerdings setzt das, den Belang von Schlagmessgeräten in den Boxvereinen oder Trainingsstützpunkten voraus. Die Geräte müssten dann noch auf die Erfüllung der wissenschaftlichen Testgütekriterien überprüft werden.

Den höchsten Gütekoeffizienten in der vorliegenden Studie besaß die relative Schlagkraft ( $n = 12$ ;  $r = 0,827$ ;  $p = 0,001$ ). Nach den Haupttestgütekriterien von Weineck (2010, p. 77) war dabei die Validität sehr gut, Reliabilität und Objektivität waren aber nur annehmbar. Neben der Ungenauigkeit des Messinstruments kann eine geringe Merkmalskonstanz für eine niedrige Reliabilität sorgen. Eine Limitierung der Höhe der Schlagkraft aufgrund mangelnder Schlagtechnik wollte der Autor durch die Teilnahmebedingung von mindestens drei Jahren Boxtraining ausschließen. Jedoch konnte das tatsächliche Trainingsniveau nicht überprüft werden, weil keine sportmotorischen Tests oder Trainingsdokumentationen von den Sportlern vorhanden waren.

Die verschiedenen Gewichtsverlagerungen in Abbildung 11-14, können als ein Indiz für unterschiedliche Schlagtechniken gedeutet werden. Die hohe Korrelation der BRK des hinteren Beines mit der Schlagkraft ( $n = 20$ ;  $r = 0,574$ ;  $p = 0,008$ ), allerdings nur aus einer Messung, zeigt zwar einen Trend für den Zusammenhang mit dem Beinabdruck, jedoch war die BRK mit einer hoher SD verbunden ( $611,96 \pm 230,75$  N). Der Grund für die hohe SD kann, neben der bereits erwähnten Merkmalskonstanz, die individuelle Schlagtechnik oder die Volition der Sportler sein.

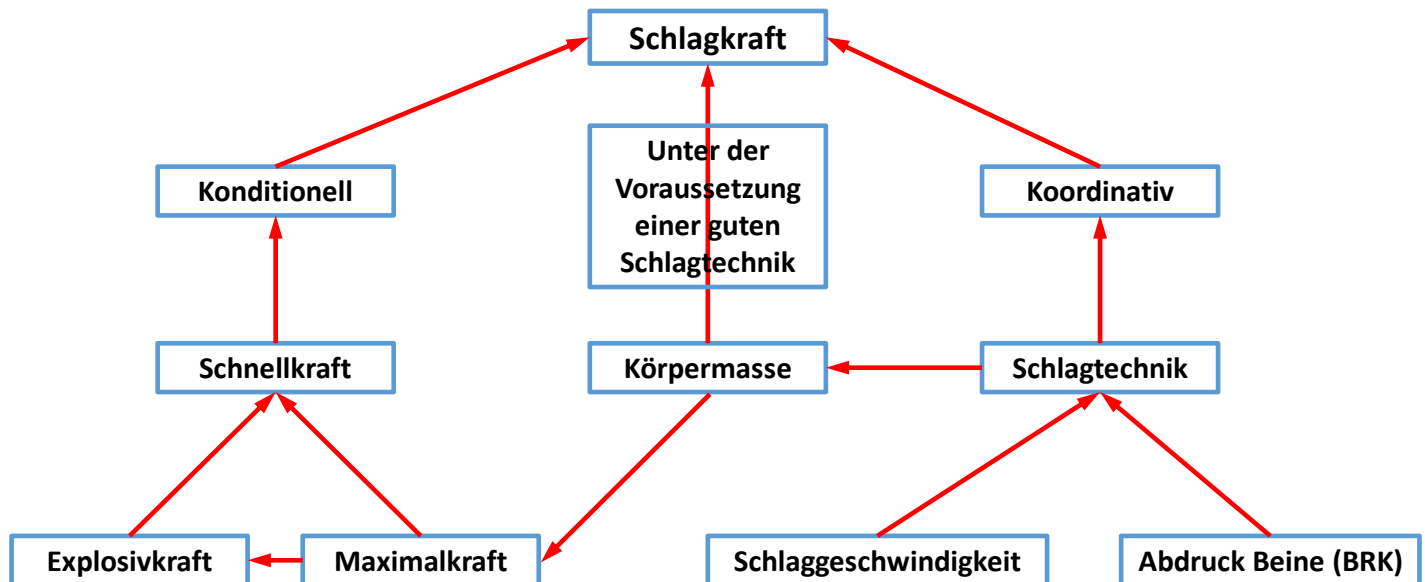
Der Zusammenhang zwischen der BRK und dem 1RM in der Kniebeuge ( $n = 19$ ;  $r = 0,536$ ;  $p = 0,018$ ), kann als ein Hinweis angesehen werden, dass der Beinabdruck durch die Steigerung der Maximalkraft der Bein- und Rumpfmuskulatur erhöht werden kann (Lenetsky et al., 2013). Generell sind aber die Ergebnisse aus der Literatur zur BRK von Boxern sehr dürftig, deswegen sind weitere Studien zu diesem zentralen Parameter erforderlich.

Ein Kritikpunkt an der präsentierten Studie ist bei manchen Korrelationen die geringe Teilnehmerzahl. Es nahmen zwar insgesamt 31 Probanden an der Studie teil, jedoch waren nur zwölf Personen bei allen Messungen anwesend. Das lag zum einen daran, dass ein Drittel der Messdaten aus technischen Gründen nicht verwertbar waren und zum anderen, dass die



Teilnehmer schulischen oder beruflichen Verpflichtungen nachgingen und es ihnen nicht möglich war, zu allen Terminen zu erscheinen.

In Abbildung 19 sind die leistungsbestimmenden Parameter für die Schlagkraft dargestellt:



**Abbildung 19: Leistungsbestimmenden Parameter für die Schlagkraft**

Für die Praxis ist von Bedeutung durch welche Trainingsinterventionen sich die einzelnen Komponenten der Schlagkraft verbessern lassen. Die Maximalkraft hat einen positiven Einfluss auf alle Faktoren, die die Schlagkraft betreffen. Durch Krafteraining sollte ein adäquates Kraftpotenzial geschaffen werden, welches durch Techniktraining in die Zielbewegung umgesetzt wird. Bringt eine Steigerung der Maximalkraft keinen weiteren Vorteil mehr für die Schlagkraft, sollte die Explosivkraftfähigkeit weiter durch plyometrische Übungen, wie Sprünge oder Medizinballprellwürfe, verbessert werden. Ob das Training um die MLS eine zusätzliche Steigerung für die Schnellkraft verschaffen kann, ist bisher physiologisch nicht belegt. Allerdings ist die Auswirkung von Krafteraining mit verschiedenen Belastungsintensitäten für Boxer bisher wenig untersucht worden.

Für die Zukunft wäre es wünschenswert zu untersuchen, wie sich eine regelmäßige Überprüfung der Schlagkraft bzw. wie das regelmäßige Trainieren mit einem Schlagmessgerät sich auf die Schlagkraft auswirkt. In weiterer Folge wäre es von Bedeutung weiter zu analysieren, wie der Zusammenhang zwischen der Schlagkraft auf festen Zielen und im freien Kampf, wie von Pierce et al. (2006) gemessen, ist. Letztendlich wäre es wichtig zu überprüfen, wie sich eine erhöhte Schlagkraft auf die Wettkampfleistung auswirkt. Zugegebenermaßen ist das keine einfache Evaluierung, weil das Wettkampfergebnis außer von der Schlagkraft von vielen anderen Faktoren abhängen kann.

## 7. Literaturverzeichnis

- Aagaard, P., Simonsen, E. B., Andersen, J. L., Magnusson, P., & Dyhre-Poulsen, P. (2002). Increased rate of force development and neural drive of human skeletal muscle following resistance training. *Journal of Applied Physiology*, 93(4), 1318-1326.
- Arseneau, E., Mekary, S., & Léger, L. A. (2011).  $\dot{V}O_2$  Requirements of Boxing Exercises. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 25(2), 348-359.
- Asçi, A., & Açıkkada, C. (2007). Power production among different sports with similar maximum strength. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 21(1), 10-16.
- Asmussen, E. (1979). Muscle fatigue. *Med Sci Sports*, 11(4), 313-321.
- Atha, J., Yeadon, M. R., Sandover, J., & Parsons, K. C. (1985). The damaging punch. *British Medical Journal (Clinical Research Ed.)*, 291(6511), 1756-1757.
- Baker, D. (2001). Comparison of upper-body strength and power between professional and college-aged rugby league players. *J Strength Cond Res*, 15(1), 30-35.
- Baker, D., & Nance, S. (1999). The Relation Between Strength and Power in Professional Rugby League Players. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 13(3), 224-229.
- Baker, D., Nance, S., & Moore, M. (2001). The load that maximizes the average mechanical power output during explosive bench press throws in highly trained athletes. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 15(1), 20-24.
- Behm, D. G., & Sale, D. G. (1993). Intended rather than actual movement velocity determines velocity-specific training response. *J Appl Physiol (1985)*, 74(1), 359-368.
- Beneke, R., Davis, P., & Leithauser, R. (2013). Aktionsprofil und Stoffwechsel des Amateurboxens im drei mal zwei Minuten Format *Leipziger Sportwissenschaftliche Beiträge* (Vol. 54, pp. 52-64).
- Birken, L., Morlock, M., Gross, E., & Weltin, U. (2001). *Determination of selected punch parameters for professional boxers*. Book of Abstracts ISB 2001: International Society of Biomechanics, 2001.
- Bosco, C., Komi, P., & Locatelli, E. (1979). Physiologische Betrachtungen zum Tiefsprungtraining. *Leistungssport*, 9, 434-439.
- Bounty, P. L., Campbell, B. I., Galvan, E., Cooke, M., & Antonio, J. (2011). Strength and Conditioning Considerations for Mixed Martial Arts. *Strength & Conditioning Journal*, 33(1), 56-67.
- Bremer, S. M. (2008). *Forensisch-biomechanische Aspekte des Faustschlags*. Imu.
- Bührle, M., Mueller, K. J., & Schmidtbleicher, D. (1982). *Schlagkraft und Bewegungsschnelligkeit des Boxers - Anmerkungen zum Beitrag von W. Joch u.a* (Vol. 12). Münster.
- Bührle, M., & Schmidtbleicher, D. (1977). Der einfluss von maximalkrafttraining auf die bewegungsschnelligkeit. *Leistungssport*, 7(1), 3-10.
- Chaabene, H., Tabben, M., Mkaouer, B., Franchini, E., Negra, Y., Hammami, M., Amara, S., et al. (2015). Amateur boxing: physical and physiological attributes. *Sports Med*, 45(3), 337-352.
- Chadli, S., Ababou, N., & Ababou, A. (2014). A new instrument for punch analysis in boxing. *Procedia engineering*, 72, 411-416.
- Cheraghi, M., Agha Alinejad, H., Arshi, A. R., & Shirzad, E. (2014). Kinematics of Straight Right Punch in Boxing. *Annals of Applied Sport Science*, 2(2), 39-50.
- Clemons, J. M., & Aaron, C. (1997). Effect of Grip Width on the Myoelectric Activity of the Prime Movers in the Bench Press. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 11(2), 82-87.
- Cormie, P., McGuigan, M. R., & Newton, R. U. (2010). Adaptations in athletic performance after ballistic power versus strength training. *Med Sci Sports Exerc*, 42(8), 1582-1598.

- Craig, B. W., Lucas, J., Pohlman, R., & Stelling, H. (1991). The Effects of Running, Weightlifting and a Combination of Both on Growth Hormone Release. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 5(4), 198-203.
- Davis, P., Leithauser, R. M., & Beneke, R. (2014). The energetics of semicontact 3 x 2-min amateur boxing. *Int J Sports Physiol Perform*, 9(2), 233-239.
- de Marées, H., & Heck, H. (2002). Sportphysiologie (9., vollständig überarbeitete und erweiterte Aufl.). Köln: Sport und Buch Strauss.
- Dworak, L. B., Maczynski, J., & Misko, J. (2008). *THE ANALYSIS OF THE TAKE OFF DYNAMICS IN THE TRAINING EXERCISES OF HIGH JUMPERS* Proceedings of the ISBS-Conference Proceedings Archive.
- Dyson, R., Smith, M., Martin, C., & Fenn, L. (2007). *Muscular recruitment during rear hand punches delivered at maximal force and speed by amateur boxers* Proceedings of the ISBS-Conference Proceedings Archive.
- Ebben, W. P., & Blackard, D. O. (1997). Developing a Strength-Power Program for Amateur Boxing. *Strength & Conditioning Journal*, 19(1), 42-51.
- Filimonov, V. I., Koptsev, K. N., Husyanov, Z. M., & Nazarov, S. S. (1985). Boxing: Means of increasing strength of the punch. *Strength & Conditioning Journal*, 7(6), 65-66.
- Fortin, Y., Lamontagne, M., & Gadouas, A. (1995). Punching bag dynamometer. *Journal of Biomechanics*, 27(6), 758.
- Fritsche, P. (1978). Ein dynamographisches Informationssystem zur Messung der Schlagkraft beim Boxen. *Leistungssport*, 8(2), 151-156.
- García-Pallarés, J., Sánchez-Medina, L., Carrasco, L., Díaz, A., & Izquierdo, M. (2009). Endurance and neuromuscular changes in world-class level kayakers during a periodized training cycle. *European journal of applied physiology*, 106(4), 629-638.
- Gery, T. (2010). *Greatest ever boxing workouts*. Great Britain: John Black.
- Ghos, A., Kumar. (2010). Heart Rate, Oxygen Consumption and Blood Lactate Responses During Specific Training in Amateur Boxing. *International Journal of Applied Sports Sciences*, 22(1), 1-12.
- Girodet, P., Vaslin, P., Dabonneville, M., & Lacouture, P. (2005). Two-dimensional kinematic and dynamic analysis of a karate straight punch. *Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering*, 8(S1), 117-118.
- Gottlob, A. (2013). *Differenziertes Krafttraining*: Elsevier Health Sciences Germany.
- Güllich, A., & Schmidtbleicher, D. (1999). Struktur der Kraftfähigkeiten und ihrer Trainingsmethoden. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 50(7, 8).
- Haff, G. G., & Nimphius, S. (2012). Training Principles for Power. *Strength & Conditioning Journal*, 34(6), 2-12.
- Häkkinen, K., Alen, M., Kraemer, W., Gorostiaga, E., Izquierdo, M., Rusko, H., Mikkola, J., et al. (2003). Neuromuscular adaptations during concurrent strength and endurance training versus strength training. *European journal of applied physiology*, 89(1), 42-52.
- Harris, N. K., Cronin, J., Taylor, K.-L., Boris, J., & Sheppard, J. (2010). Understanding position transducer technology for strength and conditioning practitioners. *Strength & Conditioning Journal*, 32(4), 66-79.
- Hartmann, H., Bob, A., Wirth, K., & Schmidtbleicher, D. (2008). Auswirkungen unterschiedlicher Periodisierungsmodelle im Krafttraining auf das Schnellkraft- und Explosivkraftverhalten der oberen Extremität. *Philosophy*, 11(3), 131-142.
- Hatfield, F. C. (1997). How They Train: Conditioning Methods of World Champion Boxer Evander Holyfield. from <http://www.sportsci.org/news/news9709/hatfield.html>
- Helgerud, J., Hoydal, K., Wang, E., Karlsen, T., Berg, P., Bjerkaas, M., Simonsen, T., et al. (2007). Aerobic High-Intensity Intervals Improve VO<sub>2</sub> max More Than Moderate Training. *Med Sci Sports Exerc*, 39(4), 665.
- Henry, T. (2011). Resistance training for judo: functional strength training concepts and principles. *Strength & Conditioning Journal*, 33(6), 40-49.

- Heyden, G., Droste, J., & Steinhöfer, D. (1988). Zum Zusammenhang von Maximalkraft, Schnellkraft und Bewegungsschnelligkeit. *Leistungssport*, 18(2), 39-46.
- Hohmann, A., Lames, M., & Letzelter, M. (2014). Einführung in die Trainingswissenschaft.
- Hopkins, W. (2014). A new view of statistics. Internet Society for Sport Science; 2000.
- Joch, W., Krause, J., & Fritsche, P. (1982). Schlagkraft und Bewegungsschnelligkeit des Boxers. *Leistungssport*, 12(1), 40-46.
- Jordan, B. D. (2000). Chronic traumatic brain injury associated with boxing. *Semin Neurol*, 20(2), 179-185.
- Kawamori, N., Nosaka, K., & Newton, R. U. (2013). Relationships Between Ground Reaction Impulse and Sprint Acceleration Performance in Team Sport Athletes. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 27(3), 568-573.
- Kunz, G. (2010). Schlagmesser.de. from <http://www.schlagmesser.de/index.php/de/>
- Lachlan, J. P., Kelly, V. G., & Beckman, E. M. (2013). Periodization for Mixed Martial Arts. *Strength & Conditioning Journal*, 35(6), 34-45.
- Lehmann, G. (2000). *Ausdauertraining in Kampfsportarten*: Philippka-Sportverl.
- Lenetsky, S., Harris, N., & Brughelli, M. (2013). Assessment and Contributors of Punching Forces in Combat Sports Athletes: Implications for Strength and Conditioning. *Strength & Conditioning Journal*, 35(2), 1-7.
- Leveritt, M., Abernethy, P. J., Barry, B. K., & Logan, P. A. (1999). Concurrent strength and endurance training. A review. *Sports Med*, 28(6), 413-427.
- Loturco, I., Artioli, G. G., Kopal, R., Gil, S., & Franchini, E. (2014). Predicting punching acceleration from selected strength and power variables in elite karate athletes: a multiple regression analysis. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 28(7), 1826-1832.
- Loturco, I., Nakamura, F. Y., Artioli, G. G., Kopal, R., Kitamura, K., Cal Abad, C. C., Cruz, I. F., et al. (2016). Strength and Power Qualities Are Highly Associated With Punching Impact in Elite Amateur Boxers. *J Strength Cond Res*, 30(1), 109-116.
- Mack, J., Stojasih, S., Sherman, D., Dau, N., & Bir, C. (2010, July 19–23). *Amateur boxer biomechanics and punch force* Proceedings of the Conference on Biomechanics in Sports, Marquette.
- MacWilliams, B. A., Choi, T., Perezous, M. K., Chao, E. Y., & McFarland, E. G. (1998). Characteristic ground-reaction forces in baseball pitching. *The American journal of sports medicine*, 26(1), 66-71.
- Markovic, G., Dizdar, D., Jukic, I., & Cardinale, M. (2004). Reliability and factorial validity of squat and countermovement jump tests. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 18(3), 551-555.
- McBride, J. M., Blow, D., Kirby, T. J., Haines, T. L., Dayne, A. M., & Triplett, N. T. (2009). Relationship between maximal squat strength and five, ten, and forty yard sprint times. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 23(6), 1633-1636.
- McBride, J. M., Triplett-McBride, T., Davie, A., & Newton, R. U. (2002). The effect of heavy- vs. light-load jump squats on the development of strength, power, and speed. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 16(1), 75-82.
- McCrory, P., Falvey, E., & Turner, M. (2012). Returning to the golden age of boxing. *Br J Sports Med*, 46(7), 459-460.
- McGill, S. (2010). Core training: Evidence translating to better performance and injury prevention. *Strength & Conditioning Journal*, 32(3), 33-46.
- Moss, B., Refsnes, P., Abildgaard, A., Nicolaysen, K., & Jensen, J. (1997). Effects of maximal effort strength training with different loads on dynamic strength, cross-sectional area, load-power and load-velocity relationships. *European journal of applied physiology and occupational physiology*, 75(3), 193-199.
- Oliveira, F. B., Oliveira, A. S., Rizzato, G. F., & Denadai, B. S. (2013). Resistance training for explosive and maximal strength: effects on early and late rate of force development. *Journal of Sports Science and Medicine*, 402-408.

- Pampus, B. (1989). *Die Wirkung unterschiedlicher Belastungsintensitäten auf die Entwicklung von Maximalkraft und Kraftausdauer* (Vol. 19). Münster.
- Pampus, B. (1992). *Die Muskelleistung als Intensitätsparameter im Krafttraining: Untersuchung der Muskelleistungsschwelle zur Festlegung des individuellen Kraftniveaus und ihre Anwendung in der Trainingspraxis*: Gesamthochschulbibliothek Kassel.
- Pierce, J. D., Reinbold, K. A., Lyngard, B. C., Goldman, R. J., & Pastore, C. M. (2006). Direct measurement of punch force during six professional boxing matches. *J Quant Anal Sports*, 2(2).
- Piorkowski, B. A., Lees, A., & Barton, G. J. (2011). Single maximal versus combination punch kinematics. *Sports Biomechanics*, 10(01), 1-11.
- Romijn, J., Coyle, E., Sidossis, L., Rosenblatt, J., & Wolfe, R. (2000). Substrate metabolism during different exercise intensities in endurance-trained women. *Journal of Applied Physiology*, 88(5), 1707-1714.
- Ruddock, A. D., Wilson, D. C., Thompson, S. W., Hembrough, D., & Winter, E. M. (2016). Strength and Conditioning for Professional Boxing: Recommendations for Physical Preparation. *Strength & Conditioning Journal*, 38(3), 81-90.
- Schmidli, J. (2016). swissboxing.ch. Retrieved 01.02.2016, from <http://de.swissboxing.ch/index.php?ID=67>
- Schöllhorn, W. (1995). *Schnelligkeitstraining die Sprint- Und Laufschule Für Alle Sportarten*. Reinbek bei Hamburg: Rowohlt.
- Simon, U. (Producer). (2011). Grundlagen der Kinematik und Dynamik. Retrieved from [https://www.uni-ulm.de/fileadmin/website\\_uni\\_ulm/uzwr/lehre-seminare/KG-Script-Oberkurs-2011.pdf](https://www.uni-ulm.de/fileadmin/website_uni_ulm/uzwr/lehre-seminare/KG-Script-Oberkurs-2011.pdf)
- Smith, M. S. (2006). Physiological Profile of Senior and Junior England International Amateur Boxers. *Journal of Sports Science & Medicine*, 5(CSSI), 74-89.
- Smith, M. S., Dyson, R., Hale, T., & Janaway, L. (2000). Development of a boxing dynamometer and its punch force discrimination efficacy. *Journal of sports sciences*, 18(6), 445-450.
- Stanley, E. (2014). The effects of 4 weeks of contrast training versus maximal strength training on punch force in 20-30 year old male amateur boxers.
- Stone, M. H., Sanborn, K., O'BRYANT, H. S., Hartman, M., Stone, M. E., Proulx, C., Ward, B., et al. (2003). Maximum strength-power-performance relationships in collegiate throwers. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 17(4), 739-745.
- Tack, C. (2013). Evidence-Based Guidelines for Strength and Conditioning in Mixed Martial Arts. *Strength & Conditioning Journal*, 35(5), 79-92.
- Tittel, K., & Opitz, K. (2016). *Beschreibende und funktionelle Anatomie des Menschen* (16. überarbeitete und erweiterte Auflage ed.). München: Kiener.
- Tomasits, J., & Haber, P. (2011). *Leistungsphysiologie: Grundlagen für Trainer, Physiotherapeuten und Masseur*: Springer-Verlag.
- Turner, A., Baker, E., & Miller, S. (2011). Increasing the Impact Force of the Rear Hand Punch. *Strength & Conditioning Journal*, 33(6), 2-9.
- Turner, A., Miller, S., Stewart, P., Cree, J., Ingram, R., Dimitriou, L., Moody, J., et al. (2013). Strength and Conditioning for Fencing. *Strength & Conditioning Journal*, 35(1), 1-9.
- Walilko, T., Viano, D., & Bir, C. (2005). Biomechanics of the head for Olympic boxer punches to the face. *British Journal of Sports Medicine*, 39(10), 710-719.
- Walker, J. D. (1975). Karate strikes. *American Journal of Physics*, 43(10), 845-849.
- Weineck, J. (2003). *Sportanatomie*: Spitta Verlag GmbH & Co. KG.
- Weineck, J. (2010). *Optimales training: Leistungsphysiologische trainingslehre unter besonderer berücksichtigung des kinder-und jugendtrainings*: Spitta Verlag GmbH & Co. KG.

- Weyand, P. G., Sternlight, D. B., Bellizzi, M. J., & Wright, S. (2000). Faster top running speeds are achieved with greater ground forces not more rapid leg movements. *Journal of Applied Physiology*, 89(5), 1991-1999.
- Wirth, K., Bob, A., Müller, S., & Schmidtbleicher, D. (2006). Vergleich verschiedener Trainingsmethoden zur Schnellkraftentwicklung. *BISp-Jahrbuch–Forschungsförderung*, 2007, 191-201.
- Wirth, K., Bob, A., Müller, S., & Schmidtbleicher, D. (2011). Vergleich unterschiedlicher Belastungsintensitäten zur Steigerung der Schnellkraft. *Leistungssport*, 41(1), S. 36-42.
- Wirth, K., Schlumberger, A., Zawieja, M., & Hartmann, H. (2012). *Krafttraining im Leistungssport: theoretische und praktische Grundlagen für Trainer und Athleten*: Sportverlag Strauss.
- Wirth, K., & Schmidtbleicher, D. (2007a). Periodisierung im Schnellkrafttraining. *Leistungssport*, 37(1), 35-40.
- Wirth, K., & Schmidtbleicher, D. (2007b). Periodisierung im Schnellkrafttraining. Teil 2: Theoretische Grundlagen der Periodisierung und ihre praktische Anwendung im Schnellkrafttraining: Leistungssport.
- Wisløff, U., Castagna, C., Helgerud, J., Jones, R., & Hoff, J. (2004). Strong correlation of maximal squat strength with sprint performance and vertical jump height in elite soccer players. *British Journal of Sports Medicine*, 38(3), 285-288.
- Zatsiorsky, V., & Kraemer, W. (2008). *Krafttraining: Praxis und Wissenschaft*: Meyer & Meyer Verlag.
- Zawieja, M., Ribbecke, T., Thomas, C., & Bukac, D. (2016). *Leistungsreserve Athletiktraining*: Philippka-Sportverlag.

## 8. Anhang

### Lebenslauf

#### Persönliche Daten

Name **Josef Jancso**  
E-Mail [josef.jancso@chello.at](mailto:josef.jancso@chello.at)  
Handy +43650/ 86 19 258  
Geburtsdatum 11.12. 1974  
Staatsangehörigkeit Österreich  
Familienstand ledig  
Wohnhaft Wien



#### Schulbildung

2011- 2017 Fachhochschule Wr. Neustadt - Training und Sport  
2010 - 2011 Berufsreifeprüfung - Wifi Wien  
2004 Lehrabschlussprüfung Großhandelskaufmann  
1990 - 1996 HTL Hochbau Wien

#### Zusatzqualifikation

2009 Master Personal Trainer - Dr. Gottlob Institut  
2007- 2008 Trainer für allgemeine körperliche Ausbildung BAFL Linz  
1996 - 1997 Präsenzdienst

#### Beruflicher Werdegang

2016 5 Wochen Trainingslager Athletiktrainer Damen Volleyball Nationalmannschaft  
2015- Bewegte Kids Trainer IMSB Austria  
2011- Athletiktrainer Boxen  
2009 - Diverse Workshops und Vorträge zum Thema Training  
2005 - Personal Trainer  
2003 - 2005 Großhandelskaufmann - J&M Textilbörse  
1998 -2003 Bankangestellter - Rieger Bank AG

#### Sportlicher Laufbahn/Erfahrungen

1988 - 1996 Karate  
1996 - Kraft und Ausdauertraining  
2007 - Boxen  
2014 - Gewichtheben

#### Sprachen, EDV-Kenntnisse

Englisch, Ungarisch, Office  
24.05.17