

**Karlsruher Institut für Technologie**  
Fakultät: Geistes - und Sozialwissenschaft  
Institut für Sport und Sportwissenschaft (IfSS)  
Studienrichtung: Master Sportwissenschaft; Bewegung und Technik

## **Forschungsmodul**

**Masterstudiengang Bewegung und Technik WS 2013/2014**

**Vertikale Bodenreaktionskraft und Knievarusmoment  
während der Ausführung der Capoeira-Ausweichbewegung  
Esquiva de Frente**

Dozenten: Jun.-Prof. Dr. Thorsten Stein; Dr. Anne Focke

Tag der Abgabe: 14.03.2014

Vorgelegt von:

Luiz Carlos dos Santos Gomes Sobrinho

Geb.: 11.11.1986; Campos dos Goytacazes

Ernststraße 92, 76131 Karlsruhe

Email: caocapoeira@gmail.com

Sportwissenschaft: MA, 7; 1280380

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b> .....	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>Theoretische Grundlagen</b> .....	<b>7</b>
2.1	Die Techniken .....	8
2.1.1	Ginga.....	9
2.1.2	Esquiva de Frente .....	11
2.2	Biomechanische Aspekte der Studie .....	12
2.2.1	Mechanische Belastung .....	13
2.2.1.1	Kraft.....	13
2.2.1.2	Drehmoment.....	13
2.2.1.3	Inverse Dynamik.....	14
<b>3</b>	<b>Methode</b> .....	<b>15</b>
3.1	Stichprobe .....	15
3.2	Datenerfassung .....	16
3.3	Versuchsaufbau .....	16
3.4	Versuchsdurchführung .....	16
3.5	Auswertung .....	17
3.5.1	Statistische Analyse .....	18
<b>4</b>	<b>Untersuchungsergebnisse</b> .....	<b>19</b>
4.1	Verlaufsdarstellungen.....	19
4.1.1	Adduktions- und Abduktionswinkel des Kniegelenks .....	20
4.1.2	Vertikale Bodenreaktionskraft .....	22
4.1.3	Varus und Valgus Kniegelenkmoment .....	23
4.2	Parameterdarstellungen .....	24
4.2.1	Vertikale Bodenreaktionskraft .....	26
4.2.2	Varus- und Valgusmoment .....	27
<b>5</b>	<b>Diskussion</b> .....	<b>28</b>
<b>6</b>	<b>Schlussfolgerungen</b> .....	<b>33</b>
	<b>Literaturverzeichnis</b> .....	<b>35</b>

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Ausgangsposition der Ginga in der Frontalebene (Proband im Labor) .....	10
Abbildung 2: Ausgangsposition der Ginga in der Sagittalebene (Vicon Modell).....	10
Abbildung 3: Tiefster Punkt der Esquiva de Frente in der Frontalebene (Proband im Labor).....	12
Abbildung 4: Tiefster Punkt der Esquiva de Frente in der Sagittalebene (Vicon Modell).....	12
Abbildung 5: Versuchsschnitt im Vicon®: Ausgangs- bzw. Endposition der Esquiva de Frente in der Frontal- und Sagittalebene .....	18
Abbildung 6: Verläufe der Adduktions- und Abduktionswinkel beider Kniegelenke während der Ausführung der <i>Esquiva de Frente</i> .....	20
Abbildung 7: Verläufe der Flexionswinkel beider Kniegelenke während der Ausführung der <i>Esquiva de Frente</i> .....	21
Abbildung 8: Verläufe der vertikalen Bodenreaktionskräfte beider Beine während der Ausführung der <i>Esquiva de Frente</i> .....	22
Abbildung 9: Verläufe der Varus- und Valgusmomente im Kniegelenk während der Ausführung der <i>Esquiva de Frente</i> .....	24
Abbildung 10: Mittlere vertikale Bodenreaktionskräfte beider Beine während der Ausführung der <i>Esquiva de Frente</i> .....	26
Abbildung 11: Mittleres Varus- und Valgusmoment beider Kniegelenke während der Ausführung der <i>Esquiva de Frente</i> .....	27

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Anthropometrische Daten und Daten zur Trainingsgestaltung, Gesamtpersonenstichprobe, n=15 (9 männlich, 6 weiblich) .....	15
Tabelle 2: Mittlere vertikale Bodenreaktionskräfte beider Beine während der Ausführung der <i>Esquiva de Frente</i> .....	26
Tabelle 3: Mittleres Varus- und Valgusmoment beider Kniegelenke während der Ausführung der <i>Esquiva de Frente</i> .....	27
Tabelle 4: Mittlere vertikale Bodenreaktionskraft (N/Kg) und mittleres Varusmoment im Kniegelenk (Nm/Kg) während der Ausführung der <i>Esquiva de Frente</i> . Vergleich zwischen rechter und linker Seite .....	29
Tabelle 5: Maximale vertikale Bodenreaktionskraft (N/Kg) und maximales Varusmoment (Nm/Kg): Vergleich der Capoeira-Ausweichbewegung <i>Esquiva de Frente</i> (rechts / links) mit Gehen und Laufen .....	30

## 1 Einleitung

Capoeira ist heutzutage weltweit verbreitet. Es gibt Kontroversen über die Herkunft dieser Kampfsportart und viele Historiker sowie Ethnologen diskutieren über ihren genauen Ursprung (vgl. Assunção, 2005; Downey, 2005; Essien, 2008; Lewis, 1992). Die meisten Publikationen, die die Geschichte und Entstehung der Capoeira betrachten, nehmen aber an, dass Capoeira eine afro-brasilianische Kampfsportart ist, die in Brasilien von Sklaven aus verschiedenen Regionen Afrikas im 17. Jahrhundert als Widerstandskampf entwickelt wurde (vgl. Essien, 2008; Neto, 2007; Sobrinho, 2009; Tkak und Oliveira, 2006).

Nach Futsal mit 10,5 Millionen Anhängern ist Capoeira mit 6 Millionen Anhängern heutzutage die am zweitmeisten praktizierte nicht-olympische Sportart in Brasilien. Innerhalb der Kampfsportarten hat Capoeira die größte Anzahl an Anhängern in Brasilien. Die Anzahl an Personen die Boxen, Judo, Taekwondo, Karate, Jiu-Jitsu und Kung-Fu praktizieren beträgt insgesamt im ganzen Land circa 3,6 Millionen (vgl. DaCosta, 2006, S.21.8 - 21.9).

Laut Assunção (2005, S. 1), breitete sich Capoeira in den letzten 50 Jahren in Brasilien, was Geographie, Klasse, Geschlecht und Ethnizität betrifft, ständig wachsend aus. Auch Assunção (2005, S. 1) weist in seinem Beitrag darauf hin, dass Capoeira während der 1980er und 1990er Jahre auch in den Vereinigten Staaten und Westeuropa expandierte. Konservative Schätzungen für 1998 schlugen vor, dass es 3 Millionen Capoeiraanhänger außerhalb Brasiliens gab. Eine Anzahl, so Assunção (2005, S. 1), die heutzutage vermutlich größer geworden ist.

Capoeira wird aktuell in circa 170 Ländern erlernt und als größter Verbreiter der brasilianischen Sprache und Kultur in der Welt geschätzt (vgl. Carvalho, 2010, S. 158; Sobrinho, 2009, S. 2).

Mit der weltweiten Verbreitung der Sportart und der wachsenden Anzahl an Anhängern in der ganzen Welt wird auch immer notwendiger, dass es wissenschaftliche Studien gibt, die sich mit der Sportart beschäftigen.

Da Capoeira neben ihrer Vielfältigkeit an körperlichen Bewegungen auch sehr eng mit historischen und soziokulturellen Elementen zusammenhängt, ist sie die Kampfsportart mit der größten Anzahl an Publikationen im sozialwissenschaftlichen Bereich in Brasilien (vgl. Assunção, 2005, S. 1; Ferro, Silva und Junior, 2011, S. 1).

Ferro et al. (2011, S.1) erklären aber auch, dass es wenige wissenschaftliche Publikationen gibt, die sich mit den physischen Aspekten der Capoeira befassen.

Brennecke, Amadio und Serrão (2005, S. 154) erwähnen in ihrem Beitrag, dass kaum Studien über Capoeira mit einem biodynamischen Schwerpunkt vorliegen. Vor allem keine Studien, die die Belastung auf den Bewegungsapparat erfassen. Die Autoren erläutern darüber hinaus, dass die dynamische Analyse der vielfältigen Capoeirabewegungen in der spezifischen Fachliteratur nur unzureichend beschrieben ist.

Diese Tatsache hat zur Folge, so Silva (1998, S. 27), dass viele *Capoeiristas*<sup>1</sup> keine theoretische Unterstützung haben, die sie zu einem besseren Verständnis von ihren eigenen Körpern führt. Außerdem kennen sie die Vor- und Nachteile nicht, die ihre eigene Sportart betreffen. Darüber hinaus hat die naturwissenschaftliche Gesellschaft nur wenig Auskunft über Capoeira und kann daher nicht zur Weiterentwicklung dieser wichtigen Kampfsportart beitragen.

Aus allen diesen Gründen ist das Ziel dieser Forschungsarbeit entstanden. Ziel ist es, die mechanische Belastung im Kniegelenk während der Ausführung der von *Mestre Camisa*<sup>2</sup> entwickelten Capoeira-

---

<sup>1</sup> Der Begriff *Capoeirista* steht für Capoeira-Praktizierende.

<sup>2</sup> José Tadeu Carneiro Cardoso (Mestre Camisa) ist ein brasilianischer Capoeirameister, kommt ursprünglich aus dem Bundesland Bahia, wo er Schüler des Entwicklers der Capoeira Regional (Mestre Bimba) war. Mestre Camisa ist mit 16 Jahren nach Rio de Janeiro gezogen und fing dort an Capoeira zu unterrichten. Im Laufe der Zeit entwickelte

Ausweichbewegung *Esquiva de Frente* zu bestimmen. Zudem werden die vertikale Bodenreaktionskraft sowie die in der Frontalebene erzeugten Gelenkwinkel und Gelenkmomente beider Kniegelenke analysiert.

Die Ergebnisse sollen zum Entwicklungsprozess der Capoeira beitragen. Die Analyse der mechanischen Belastung in den Kniegelenken kann dazu beitragen, dass die *Esquiva de Frente*, eine der am häufigsten verwendeten Ausweichbewegungen der *kontemporäre*<sup>3</sup> Capoeira, im Sinne der Gelenkschonung technisch noch weiterentwickelt wird.

Die Fragenstellungen, die mithilfe dieser Studie geklärt werden sollen, lauten: (1) Welches Bein wird während der Ausführung der *Esquiva de Frente* am meisten belastet? (2) Wie verhält sich das Varus und Valgus Moment beider Kniegelenke, wenn die *Esquiva de Frente* ausgeführt wird?

Zusammenhänge zwischen allen in dieser Studie erfassten Parameter werden analysiert und können zu einem besseren Verständnis über die Mechanismen dieser Bewegung beitragen.

Das erhoffte Ziel ist es, die Ergebnisse dieser Forschungsarbeit in die Praxis umsetzen zu können. Es soll die Trainingsmethodik und damit den Lehr-Lern-Prozess verbessern. Außerdem soll die Sicherheit der *Capoeiristas* während der Bewegungsausführung erhöht werden.

## 2 Theoretische Grundlagen

---

er aus den Techniken seines Meisters seine eigene Trainingsphilosophie und Methodik, die heutzutage besonders beliebt ist und von vielen anderen Meistern auch von anderen Capoeira-Gruppen auf der ganzen Welt direkt oder indirekt verwendet wird. Aktuell, nach über 40 Jahre Capoeiraerfahrung, ist Mestre Camisa einer der bekanntesten Capoeirameister der Welt und wurde 2011 von der Bundesuniversität von Minas Gerais wegen seinem grandiosen Beitrag zur Entwicklung der Sportart mit einem Ehrendokortitel ausgezeichnet (vgl. Carvalho, 2010, S. 137-142; Gomes, 2012, S. 5; Mestre Camisa, 2012).

<sup>3</sup> Der Begriff *kontemporäre* Capoeira erschien zwischen den Capoeiragruppen in den 1990er Jahren, um die von Mestre Camisa und die vom ihm in den 1970er Jahren geleitete Gruppe – *Capoeira Senzala* – initiierte Entwicklungsbewegung der Capoeira zu beschreiben (vgl. Assunção, 2005, S. 199; Downey, 2005, S. 179).

Das heutige sogenannte *Capoeiraspiel* findet in der *Roda* statt, was auf Portugiesisch Kreis bedeutet. Die *Roda* wird von drei *Berimbaus* (Musikbögen), ein *Atabaque* (Faßtrommel), zwei *Pandeiros* (Schellen-Tambourin) und ein *Agogô* (Doppelglocke) (vgl. Essien, 2008, S. 10; Thull, 2006, S. 34) geleitet.

Während die Instrumente gespielt werden, werden Capoeiralieder von einem *Cantador* (Sänger) gesungen und die anderen Teilnehmer klatschen und antworten in Chor auf den Gesang des Sängers (vgl. Essien, 2008, S. 12).

Innerhalb der *Roda* spielen zwei *Capoeiristas*, wobei sie eine Vielfalt von Angriffen und Verteidigungen gemischt mit akrobatischen Bewegungen ausüben. Die Spieler müssen jedoch den Rhythmus der gespielten Instrumente beachten und sich harmonisch danach richten. Laut Downey (2005, S. 7) sind die Beine und der Kopf die wichtigsten Waffen des *Capoeiristas*. Die Hände werden eher für die Unterstützung des Körpergewichts verwendet, obwohl sie auch für den Angriff zum Einsatz gebracht werden können. Downey (2005, S.7) erwähnt in seinem Beitrag auch, dass sich die Spieler eher durch Vermeidung vom Körperkontakt verteidigen – d.h. durch Ausweichbewegungen – anstatt sich den Angriffen entgegenzusetzen.

Mestre Camisa (2012) bezeichnet Capoeira als die Kunst des Ausweichens. Die *Esquivas* (Ausweichbewegungen) sind ein sehr wichtiger Teil dieser Kampfsportart. Was dem Kampfaspekt entspricht, bilden diese Ausweichbewegungen, so Mestre Camisa (2012), die größte Ausprägung der Capoeira, was sie von allen anderen Kampfsportarten besonders unterscheidet.

## **2.1 Die Techniken**

Die Techniken der Capoeira können in Angriff, Verteidigung und Akrobatik eingeordnet werden. Innerhalb dieser Kategorien gibt es ein komplexes Repertoire von Elementen, die laut Thull (2006, S. 19), während des



Capoeiraspieler, fließend auf den Gegenspieler koordiniert werden müssen.

In dieser Forschungsarbeit wird die von Mestre Camisa entwickelte Ausweichbewegung *Esquiva de Frente* erfasst. Da sich alle Capoeira-Bewegungen aus der *Ginga* entwickeln, wird zunächst diese Technik beschrieben.

### 2.1.1 Ginga

Die *Ginga* ist der Grundschrift der Capoeira. Der Begriff *Ginga* kommt aus dem Verb *gingar*, das schwanken/watscheln bedeutet.

Für Wesolowski (2007, S. 156) ist die *Ginga* das Gehen des *Capoeiristas*, der erste Schritt, den einen *Capoeirista* überhaupt lernt. Die Autorin beschreibt die *Ginga* als „a continuous swaying side-to-side step that keeps to the beat of the music and ties attacks, defenses and acrobatics into a seamless circular whole“ (Wesolowski, 2007, p. 156).

Laut Thull (2006, S. 19-20) entwickeln sich alle weitere Bewegungen aus der *Ginga* heraus und daher gibt es keinen statischen Moment im Spiel. Diese dynamische Struktur prägt den tänzerischen Aspekt der Capoeira aus und unterscheidet die Sportart, so Thull (2006, S. 20), von allen anderen Kampfsportarten.

Alle in dieser Studie untersuchten Ausweichbewegungen entstanden aus der *Ginga*.

Als Ausgangsposition für die *Ginga* werden die Beine antero-posterior auseinander in einem leichten Ausfallschritt gebracht. Beide Knie sind leicht angewinkelt – Flexion zwischen 35° und 40°. Der vordere Fuß liegt flach auf dem Boden und der hintere Fuß dorsalflektiert mit dem Fußballen auf dem Boden. Der Oberkörper ist gerade, leicht nach vorne geneigt – als Verlängerung des hinteren Beins. Der Kopf ist gerade. Der Arm auf der gleichen Seite des hinteren Beins steht zum Schutz vor dem Gesicht, wobei die flektierte Schulter einen ungefähren 90° Winkel mit dem Oberkörper bildet. Der Ellenbogen wird auch um 90° flektiert. Der

Unterarm liegt ungefähr in Höhe der Nase und parallel zum Boden. Die Hand mit den Fingern in leichter Flexion bildet eine Muschelform. Der andere Arm liegt am Körper mit leicht angewinkelttem Ellenbogen. Die Finger sind auch leicht flektiert in Muschelform.

Aus der Ausgangsposition geht das hintere Bein nach vorne, so dass nun beide Beine latero-lateral mit Abstand stehen. Die Knie bleiben weiterhin leicht flektiert. Die Arme behalten in diesem Moment die gleiche Position wie in der Ausgangsposition – höher graduierte *Capoeiristas* bewegen hier koordiniert die Arme, sie haben jedoch immer mindestens einen Arm zum Schutz vor dem Gesicht.

Aus dieser Zwischenposition geht das nächste Bein ein Schritt zurück. Die Arme werden in diesem Zeitpunkt vor dem Gesicht gewechselt. Nun steht der *Capoeirista* wieder in der Ausgangsposition, allerdings auf der Gegenseite.

Dieser Vorgang wird dann kontinuierlich wiederholt, wobei die Schritte harmonisch nach dem gespielten Rhythmus gemacht werden.

Die Abbildungen 1 und 2 zeigen die Ausgangsposition der *Ginga* auf den frontalen und sagittalen Ebenen und geben damit eine bessere Übersicht über den Bewegungsablauf.

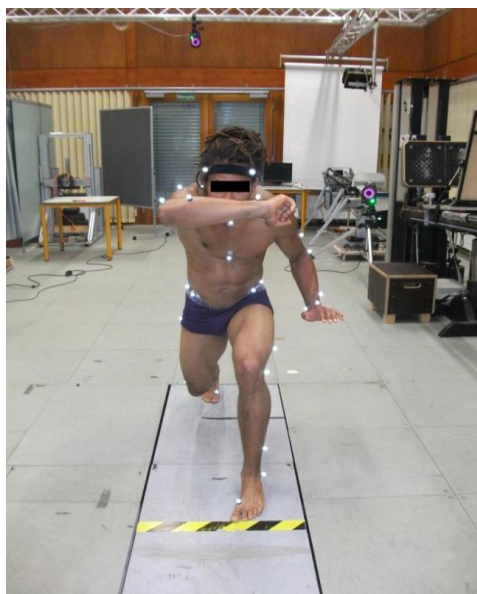


Abbildung 1: Ausgangsposition der Ginga in der Frontalebene (Proband im Labor)

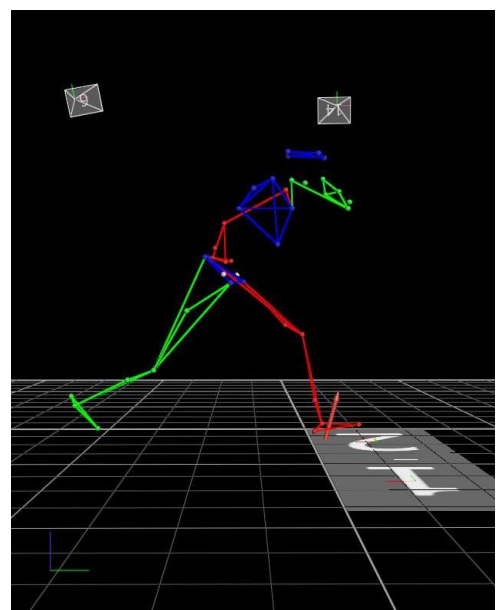


Abbildung 2: Ausgangsposition der Ginga in der Sagittalebene (Vicon Modell)

### 2.1.2 Esquiva de Frente

Gefragt, wie er zur Entwicklung der Ausweichbewegungen von Abadá-Capoeira kam, beantwortete Mestre Camisa (2012), dass diese neuen Ausweichbewegungen eine einfache Konsequenz sind, denn die Capoeira ist die Kunst des Ausweichens.

Mestre Camisa analysierte die freien Ausweichbewegungen der damaligen Capoeira und fing an, wie sein Meister, Mestre Bimba, diese Bewegungen zu beobachten und durch Systematisierung zu optimieren.

Er beobachtete, dass man während des Spieles häufig drei Basisstellungen zu dem Gegner hat. Da man aus diesen Positionen so schnell wie möglich von den Angriffen ausweichen muss, entwickelte Mestre Camisa für jede Basisstellung die adäquateste Ausweichbewegung. Wobei man trotz Geschwindigkeit, eine stabile Basis erreichen kann, um beispielsweise einen Gegenangriff effektiv durchführen zu können (vgl. Mestre Camisa, 2012).

Laut Mestre Camisa (2012) sind diese drei Basisstellungen frontal, lateral und diagonal.

Die frontale Ausweichbewegung heißt *Esquiva de Frente* – eine der am meisten verwendeten Ausweichtechniken der kontemporäre Capoeira – und ist eine direkte Variation der *Ginga*.

In der *Esquiva de Frente* sind die Beine im Ausfallschritt antero-posterior auseinander. Beide Knie sind um 90° gebeugt. Der vordere Fuß liegt flach und der hintere Fuß dorsalflektiert mit dem Fußballen auf dem Boden. Der Oberkörper ist so nach vorne geneigt, dass sich die Brust auf den vorderen Oberschenkel legt. Der Kopf geht in laterale Flexion und Rotation, so dass das Kinn beinahe den Bizeps des vorderen Armes berührt. Der Arm auf der gleichen Seite des hinteren Beins steht zum Schutz vor dem Gesicht. Die Schulter ist in Flexion. Der Ellenbogen wird um 90° angewinkelt. Der Unterarm liegt ungefähr in Höhe der Nase und parallel zum Boden. Die Hand mit den Fingern in leichter Flexion bildet eine Muschelform. Der andere Arm liegt am Körper mit einer leichten

Flexion des Ellenbogens. Die Finger sind auch leicht flektiert in Muschelform (Abbildungen 5 und 6).

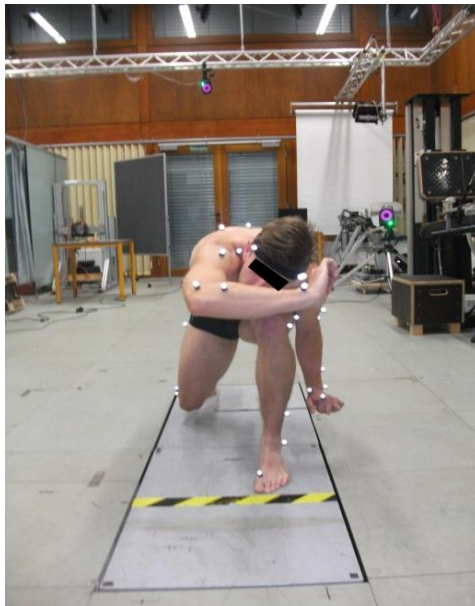


Abbildung 3: Tiefster Punkt der Esquiva de Frente in der Frontalebene (Proband im Labor)

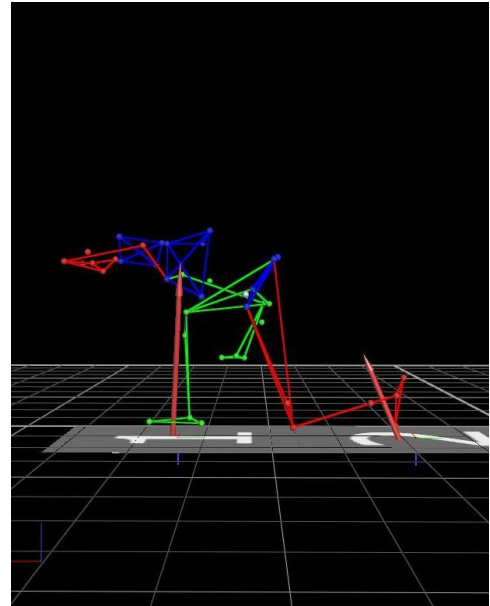


Abbildung 4: Tiefster Punkt der Esquiva de Frente in der Sagittalebene (Vicon Modell)

Gleich nach dem Angriff steht der *Capoeirista* dadurch auf, dass er gleichmäßig mit beiden Beinen Kraft gegen den Boden ausübt und wieder in die Ausgangsposition der *Ginga* geht – beide Kniewinkel sind zwischen  $35^\circ$  und  $40^\circ$ .

## 2.2 Biomechanische Aspekte der Studie

Diese Studie beschäftigt sich mit der biomechanischen Analyse der soeben beschriebenen Ausweichbewegung. In diesem Sinne wird die mechanische Belastung im Kniegelenk während der Ausführung der Capoeira-Ausweichbewegungen *Esquiva de Frente* untersucht.

„Die Biomechanik ist eine wissenschaftliche Disziplin, die Bewegungen unter Verwendung von Begriffen, Methoden und Gesetzmäßigkeiten der Mechanik und Biologie unter Zugrundelegung der Bedingungen des betreffenden Systems beschreibt und erklärt“ (Ballreich und Baumann, 1988, S. 2).

Sie ist also eine interdisziplinäre Wissenschaft, die auf biologischen Experimenten und mechanischen Modellen basiert.

### 2.2.1 Mechanische Belastung

Die mechanischen Belastungsanalysen in den Gelenken werden vor allem für die Entwicklung von Prothesen, die Beurteilung von Erkrankungen des Bewegungsapparates und die Verschreibung der passenden Rehabilitationsmethoden verwendet. Deswegen, so Robert, Chèze, Dumas und Verriest (2007, S. 2451), spielt die Genauigkeit der Berechnungsmethoden zur Ermittlung der mechanischen Belastung eine sehr wichtige Rolle.

Die gleichen Autoren weisen in ihrem Beitrag darauf hin, dass „the net joint loads are classically computed using inverse dynamic techniques, as a function of body segment kinematics and inertial parameters, and possibly the external forces (e.g., the ground reaction forces)” (Robert et al., 2007, S. 2450).

Für die Berechnung der mechanischen Belastung spielen die Parameter Kraft und Drehmoment eine wichtige Rolle.

#### 2.2.1.1 Kraft

Die Kraft  $F$  ist ein Vektor und wird durch Betrag, Angriffspunkt und Richtung bestimmt. Ihre Definition erfolgt über die Beschreibung ihrer möglichen Wirkungen: Verformung und Beschleunigung. Die Einheit der Kraft ist Newton  $N$ .

Laut Wick, Thielscher, Ohlert, Krüger, Fritzenberg und Kittel (2009, S. 41) führen einwirkende Kräfte auf frei bewegliche Körper zu einer Bewegungsänderung, wobei zwei Varianten zu unterscheiden sind. Wenn die Kraft durch den Körperschwerpunkt verläuft, bewegt sich der Körper translatorisch. Trifft aber die Kraft auf den Körper außerhalb des Körperschwerpunktes, erzeugt diese eine Drehbewegung. Diese Bedingung wird als Drehmoment bezeichnet.

#### 2.2.1.2 Drehmoment

Nach Wick et al. (2009, S. 60) ist die Entstehung einer Drehbewegung eines Körpers durch eine exzentrische Kraft zu erklären, das Drehmoment  $M$ , das an dem Körper wirkt. Das Drehmoment wird als das Produkt aus der Kraft  $F$  und dem senkrechten Abstand  $r$  zur Drehachse definiert ( $M = F \cdot r$ ). Die Größe des Drehmoments hängt also von der Größe der Kraft und vom Hebelarm ab. Seine Einheit ist Newtonmeter  $Nm$ .

Man kann Drehmomente, genauso wie Kräfte, nicht direkt beobachten. Nach Brinckmann, Frobin und Leivseth (2000, S. 11) können nur die Wirkungen von Drehmomenten beobachtet werden. Diese sind die Beschleunigung einer Drehbewegung und die Torsions- oder Biegeverformung eines Gegenstandes.

### 2.2.1.3 Inverse Dynamik

Zur Beantwortung der Problemstellung dieser Studie wurde die Methode der inversen Dynamik verwendet.

Nigg und Herzog (1999, zitiert nach Schwameder, 2004, S. 18) zufolge, werden bei der inversen Dynamik, aus räumlich-zeitlichem Bewegungsverlauf, die Gelenkkkräfte und -momente bestimmt, die die Bewegung verursachen.

Laut Schwameder (2004, S. 18) werden lediglich wenige Eingangsdaten für die Berechnungen erfordert, was die inverse Dynamik zu einer relativ einfachen Methode macht.

Auch über die Genauigkeit der Methode schrieb Schwameder (2004, S. 18):

Die Methode der inversen Dynamik ist dann sehr genau, wenn (1) als Eingangsdaten in das Modell neben kinematischen Daten auch dynamische Daten wie Bodenreaktionskraft und Momente (zur Bestimmung des Kraftangriffspunkts relativ zum Körper) integriert werden, (2) die untersuchten Bewegungen keine großen Beschleunigungen aufweisen, (3) die Modellsegmente als starrer Körper approximiert werden können und (4) die Anzahl der Segmente und Gelenke begrenzt ist, da sich Fehler mit Zunahme der Segmente im Allgemeinen verstärken. (Schwameder, 2004, S. 18)

Nach Kleindienst, Michel, Stief, Wedel, Campe und Krabe (2007, S. 106) können mittels Durchführung von Momentenberechnungen direkte

Schlüsse bezüglich der Gelenkbelastungen formuliert werden. Diese Schlussfolgerungen werden jedoch nur auf die Gesamtbelastung in den Gelenken zugelassen, was lediglich beschränkte Schlüsse auf bestimmte Muskel- und Kompressionskräfte erlaubt. Für aussagekräftige Ergebnisse über die Belastungen konkreter Strukturen, werden In-vitro-Messungen oder spezifische mathematische Modelle – unterschiedlicher Komplexität – des entsprechenden Gelenks und seiner Struktur benötigt (vgl. Schwameder, 2004, S. 25).

Für die Berechnung der mechanischen Belastung in den Gelenken werden neben kinematischen Daten, auch äußere Kräfte und Momente berücksichtigt, die auf den Körper einwirken. Sowohl die kinematischen Parameter als auch die äußeren Kräfte und Momente können relativ leicht anhand moderner Bewegungsanalysesysteme erfasst werden.

### 3 Methode

#### 3.1 Stichprobe

Die Stichprobe bestand aus 15 erfahrenen *Capoeiristas* (Tab. 3). Die Kriterien für die Aufnahme eines Probanden waren: (1) Er/sie sollte fortgeschritten sein – das heißt Capoeira wenigstens zweimal wöchentlich und seit mindestens 5 Jahren praktizieren – und (2) der Gruppe *Abadá-Capoeira* angehören, um die in der Studie verwendete Technik möglichst vollkommen zu beherrschen.

Für die Stichprobe wurden *Capoeiristas* der Gruppe *Abadá-Capoeira* aus Heidelberg, Karlsruhe, Ludwigsburg, München und Stuttgart herangezogen.

Tabelle 1: Anthropometrische Daten und Daten zur Trainingsgestaltung, Gesamtpersonenstichprobe, n=15 (9 männlich, 6 weiblich)

Parameter	Mittelwert	Standardabweichung
Alter (Jahre)	31	± 6,7

<b>Körpergewicht (Kg)</b>	74,1	± 8,3
<b>Körpergröße (m)</b>	1,75	± 0,08
<b>Trainingshäufigkeit (Einheiten/Woche)</b>	3,7	± 0,9
<b>Capoeiraerfahrung (Jahre)</b>	11	± 5,4

### 3.2 Datenerfassung

Die Beobachtung und Beschreibung der Bewegungsabläufe erfolgten durch ein markerbasiertes optisches Verfahren (Ganzkörpermodell: 39 Marker). Das 14-Kamera-Bewegungsanalyse-System (Vicon MX 13; 200 Hz) und zwei Kraftmessplatten (AMTI; 1000 Hz) wurden zur Erfassung der kinematischen und kinetischen Daten verwendet.

### 3.3 Versuchsaufbau

Im biomechanischen Labor des Instituts für Sport und Sportwissenschaft am Karlsruher Institut für Technologie (KIT) wurde die Software von *Vicon® Nexus* in Betrieb genommen.

Die 14 hochauflösenden Infrarotkameras und zwei AMTI-Kraftmessplatten wurden entsprechend kalibriert. Die Probanden (n=15) wurden nach dem Plug-in Gait Markerset (Vicon, Oxford, UK) vermarkert und ihre anthropometrischen Merkmale zur Speicherung ihrer Körperdimensionen im Programm *Vicon® Nexus* protokolliert. Eine Referenzmessung (statisch) wurde aufgenommen und gespeichert. Vor der tatsächlichen Versuchsdurchführung hatte jeder Proband 5 bis 10 Minuten Zeit, um sich aufzuwärmen und an die Laborumgebung gewöhnen zu können.

### 3.4 Versuchsdurchführung



Nach der anthropometrischen Vermessung, Anbringung der Marker und Aufnahme der Referenzmessung hatte jeder Proband 5 bis 10 Minuten Zeit, um sich aufzuwärmen und an die Laborumgebung zu gewöhnen.

Hierbei bekamen die Probanden die Anweisungen, worauf sie während der Ausführung der Bewegung für die Gültigkeit der jeweiligen Versuche achten sollten. Diese betrafen (1) die Richtung der zu erfassenden Bewegung, (2) den zu beachtenden Aufnahmebereich und (3) die mit den jeweiligen Füßen zu treffenden Kraftmessplatten. In diesem Sinne übten die Probanden als Aufwärmübung die zu erfassende Bewegung auf den Kraftmessplatten.

Allerdings kann man die Geschwindigkeit der *Ginga* und der aus ihr hervorgehenden Ausweichbewegung *Esquiva de Frente* nur begrenzt kontrollieren. Da alle Probanden langjährige Erfahrung in der Capoeira hatten und damit vermutlich ein entsprechend gutes Rhythmusgefühl, wurde ihnen aufgetragen, die Technik in einen *São Bento Grande*<sup>4</sup>-Rhythmus auszuführen – in diesem Sinne wurde auf CD immer das gleiche Lied vorgespielt, damit alle Probanden dem gleichen Rhythmus folgen konnten.

Die Datenerfassung erfolgte für die von Mestre Camisa entwickelte Ausweichbewegung *Esquiva de Frente*. Die Probanden sollten die Technik ausgehend von der *Ginga* durchführen und mit den zwei Füßen beide Kraftmessplatten treffen. Für jeden Proband wurden fünf gültige Versuche aufgezeichnet.

### **3.5 Auswertung**

Für die Auswertung der Daten wurden die Programme *Vicon® Nexus*, *Microsoft Excel® 2007*, *Mathworks MATLAB® R2011a* und *IBM® SPSS® Statistics 20* benutzt.

---

<sup>4</sup> *São Bento Grande* ist ein der zu spielenden Rhythmen der Capoeira. Er wird durch seine höhere Geschwindigkeit charakterisiert. Das Spiel im *São Bento Grande*-Rhythmus ist kämpferischer ausgeprägt (als beispielweise das im langsameren *Angola*-Rhythmus).

Für die spätere Bearbeitung der Daten wurden alle Versuche im Programm *Vicon® Nexus* bereits entsprechend geschnitten. Das Kriterium für den Versuchsschnitt waren die Bodenkontaktzeiten während der Ausführung der *Esquiva de Frente*, das heißt der Zeitraum, in dem mindestens einen Fuß Kontakt mit den Kraftmessplatten hatte.

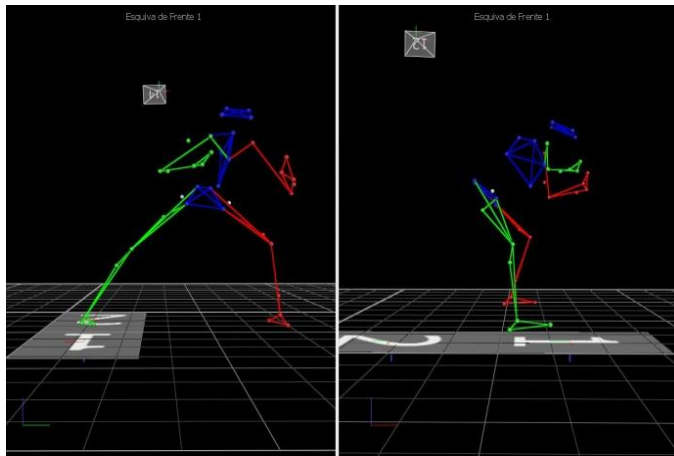


Abbildung 5: Versuchsschnitt im *Vicon®*. Ausgangs- bzw. Endposition der *Esquiva de Frente* in der Frontal- und Sagittalebene

Als Startpunkt der *Esquiva de Frente* wurde der erste Kontaktpunkt zwischen dem ersten Fuß des Probanden und der ersten Kraftmessplatte bezeichnet – von der *Ginga* aus in die tatsächliche Technik. Dementsprechend wurde als Endpunkt dieser Ausweichbewegung der Punkt bestimmt, bei dem der letzte Fuß die letzte Kraftmessplatte verlässt – von der tatsächlichen Technik aus in die *Ginga*.

Die vertikale Bodenreaktionskraft  $F_y$  und das Varus und Valgus Kniegelenkmoment  $M_y$  wurden direkt mit dem Programm *Vicon® Nexus* berechnet. Die errechneten Daten wurden dann durch das Programm *Microsoft Excel® 2007* auf das Programm *Mathworks MATLAB® R2013a* übertragen, wobei sie bearbeitet und geplottet wurden.

Letztlich wurde die statistische Analyse mittels des Programms *IBM® SPSS® Statistics 20* durchgeführt.

### 3.5.1 Statistische Analyse

Aus den 5 validen Versuchen wurde für jeden Probanden eine Mittelwertkurve, normalisiert zum prozentualen Bodenkontakt, berechnet. Aus den Mittelwertkurven wurden wiederum für jeden Probanden die diskreten Werte für die entsprechenden Parameter ermittelt und danach das arithmetische Mittel von allen 15 Probanden bestimmt, welches dann wiederum für die statistische Analyse verwendet wurde.

Alle statistischen Analysen wurden mit dem Programm *IBM® SPSS® Statistics 20* durchgeführt. Um die Fragestellungen dieser Studie beantworten zu können, wurden Differenzen in der vertikalen Bodenreaktionskraft beider Beine, sowie Unterschiede in den Kniegelenkmomenten in der Frontalebene analysiert.

Anhand von T-Tests für gepaarte Stichproben wurden die Mittelwerte der während der Ausführung der *Esquiva de Frente* erzeugten vertikalen Bodenreaktionskraft für beide Beine verglichen. Auch die Mittelwerte der in beiden Kniegelenken generierten Varus- und Valgusmomente wurden gegenübergestellt. Unterschiede wurden als signifikant ( $p < 0.05$ ), hoch signifikant ( $p < 0.01$ ) und höchst signifikant ( $p < 0.001$ ) angesehen.

## **4 Untersuchungsergebnisse**

Die Untersuchungsergebnisse werden in Form von vergleichenden Verlaufsdarstellungen über die Bodenkontaktzeit und als Parameterdarstellungen in Form von Diagrammen und Tabellen deskriptiv und analytisch aufgezeigt. Alle Verlaufsdarstellungen sind auf die Stützphase zeitnormalisiert. In den Diagrammen und Tabellen sind jeweils die Mittelwerte der Verläufe und Parameter der 15 Probanden dargestellt. Die Beschreibung bezieht sich demnach ausschließlich auf diese Gruppenanalyse. Individualdarstellungen werden nicht vorgenommen.

### **4.1 Verlaufsdarstellungen**

Die Verlaufsdarstellungen in den folgenden Abbildungen bestehen aus Teilgrafiken, die die vertikalen Bodenreaktionskräfte beider Beine sowie

die Adduktions- und Abduktionswinkel und die Varus- und Valgusmomente beider Kniegelenke darstellen.

Um die Deskription und Analyse der Verläufe übersichtlicher darzustellen, wird die *Esquiva de Frente* in drei Phasen eingeteilt: (1) Initialphase (0 - 30% der Bodenkontaktzeit), Hauptphase (30 - 70%) und (3) Endphase (70 - 100%). Die Hauptphase (30 - 70% der Stützphase) entspricht der Erreichung des tiefsten Punktes der Ausweichbewegung, wobei alle Gelenkwinkel in der Sagittalebene ihre Maxima aufwiesen.

#### 4.1.1 Adduktions- und Abduktionswinkel des Kniegelenks

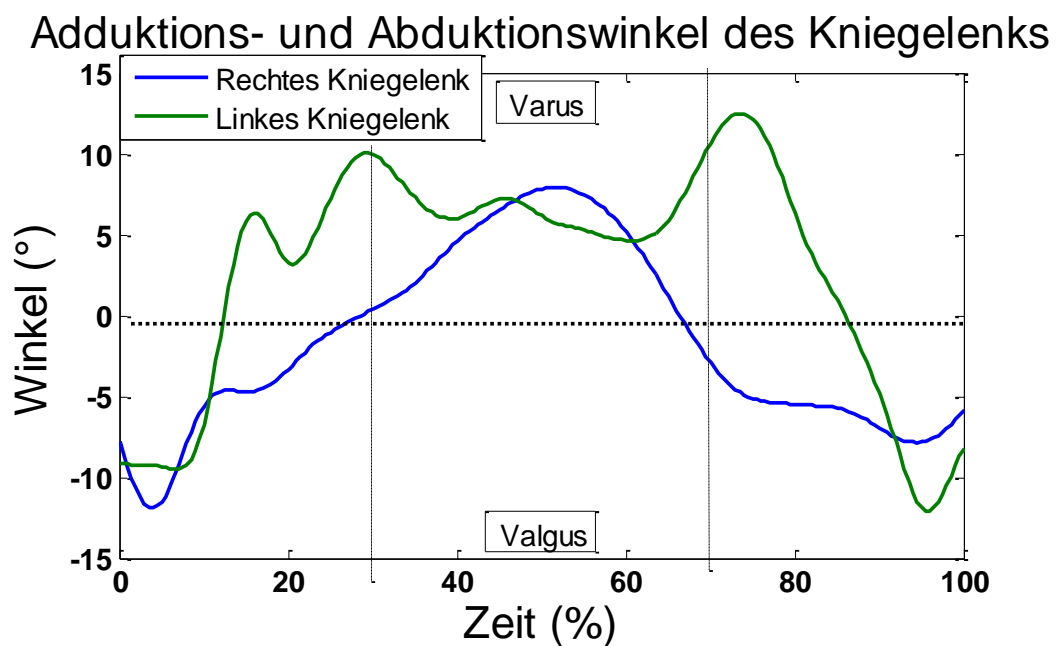


Abbildung 6: Verläufe der Adduktions- und Abduktionswinkel beider Kniegelenke während der Ausführung der *Esquiva de Frente*

Die Abbildung 6 stellt die Winkelverläufe beider Kniegelenke in der Frontalebene während der Ausführung der *Esquiva de Frente* dar. Beide Kniegelenke zeigen im Allgemeinen ähnliche Verläufe der Adduktions- und Abduktionswinkel, wobei die Knie während der Initialphase eine Valgusstellung aufweisen und mit der ständigen Flexion in eine Varusstellung gebracht werden. Während des Übergangs zwischen Haupt- und Endphasen werden die Kniegelenke allmählich wieder extendiert und gleichzeitig in Adduktion gestellt.

Unterschiede zwischen linkem und rechtem Kniegelenk sind jedoch in der Initial- und Endphase zu beobachten.

Das linke Kniegelenk weist bei der Ausgangsposition der *Esquiva de Frente* ca. 9° Adduktion auf. Noch in der Mitte der Initialphase wird das linke Knie in eine Varusstellung gebracht und erreicht seinen ersten Abduktionsgipfel in dem Übergang zwischen Initial- und Hauptphase (ca. 10° Abduktion). Der höchste Abduktionswinkel erreicht das linke Kniegelenk am Anfang der Endphase (ca. 12°). Mit der kontinuierlichen Extension des linken Knies in der Endphase wird das Gelenk wieder in eine Valgusstellung gebracht und erreicht am Ende eine Adduktion von ca. 12°.

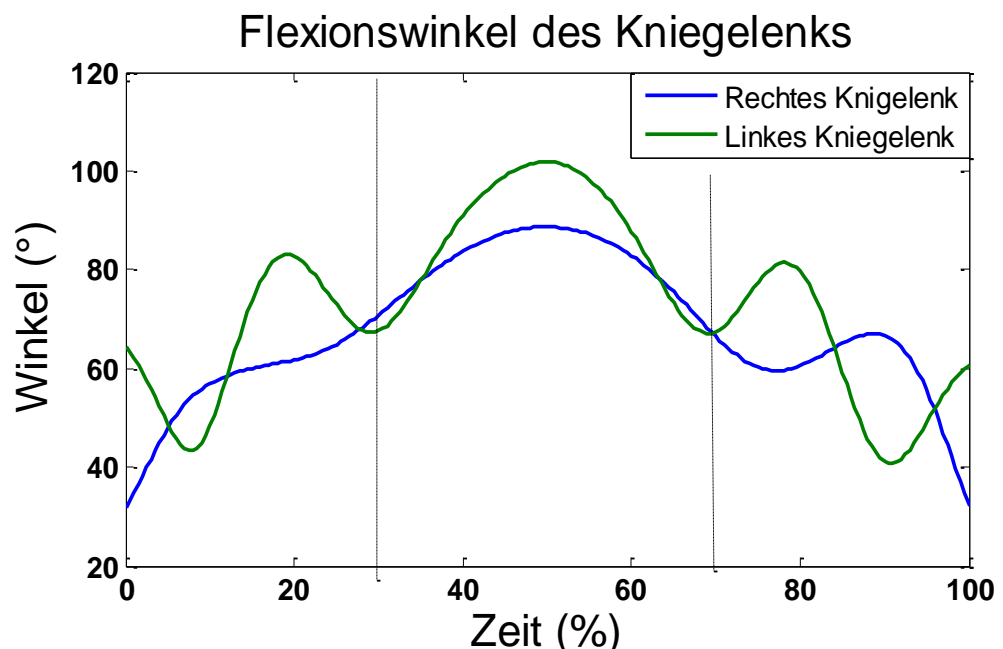


Abbildung 7: Verläufe der Flexionswinkel beider Kniegelenke während der Ausführung der *Esquiva de Frente*

Das rechte Kniegelenk weist am Anfang der Initialphase eine Adduktion von ungefähr 12° auf. Mit der zunehmenden Flexion wird das rechte Knie allmählich in eine Varusstellung gebracht und erreicht seinen höchsten Abduktionswinkel (ca. 8°) in der Mitte der Hauptphase, wobei die *Esquiva de Frente* ihren tiefsten Punkt erreicht. Ab diesem Zeitpunkt wird das rechte Kniegelenk wieder extendiert und gleichzeitig in Adduktion

gebracht. Am Ende der Endphase erreicht das Gelenk ungefähr  $8^\circ$  Adduktion.

Als Vergleichsparameter gibt die Abbildung 7 einen Überblick über die Winkelverläufe beider Kniegelenke in der Sagittalebene.

#### 4.1.2 Vertikale Bodenreaktionskraft

Die in diesem Kapitel abgebildeten Kurvenverläufe der vertikalen Bodenreaktionskräfte wurden auf das Körpergewicht relativiert (N/Kg).

Hinsichtlich der vertikalen Bodenreaktionskräfte erzeugt das rechte Bein während der Ausführung der *Esquiva de Frente* in der Hauptphase ungefähr doppelt so viel Kraft als das linke Bein. Während der Initial- und Endphase wird auf dem rechten Bein 8 bis 10 N/Kg mehr Kraft als auf der linken Seite erzeugt.

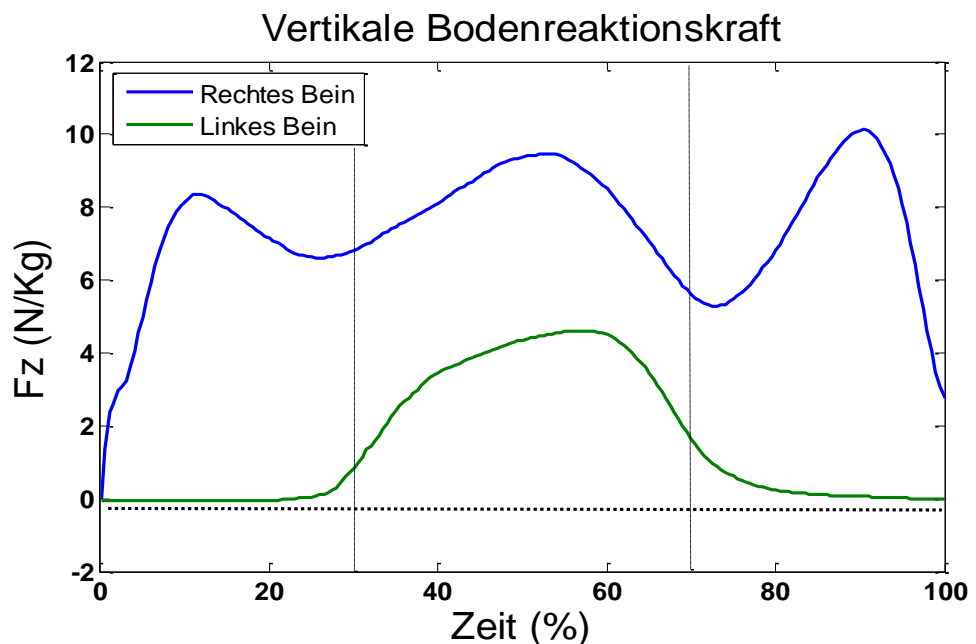


Abbildung 8: Verläufe der vertikalen Bodenreaktionskräfte beider Beine während der Ausführung der *Esquiva de Frente*

Dies ist darauf zurückzuführen, dass es während der Ausführung der *Esquiva de Frente* Zeitpunkte gibt, in denen die *Capoeiristas* ihre Körpergewichte auf lediglich das rechte Bein verlagern. Dies erfolgt in der Initial- und Endphase und kann in der Abbildung 8 beobachtet werden.

Die vertikale Bodenreaktionskraft auf der linken Seite ist während dieser Phasen so gering, dass man sie vernachlässigen kann.

In der Hauptphase dagegen haben die *Capoeiristas* immer beide Beine auf dem Boden, was die Hauptphase die stabilste Phase der Bewegung macht, wobei die *Capoeiristas* den tiefsten Punkt der *Esquiva de Frente* erreichen und am meisten Gleichgewicht aufweisen.

Während der ganzen Initialphase hat nur das rechte Bein Bodenkontakt, deswegen wird keine Kraft auf der linken Seite erzeugt. In der Hauptphase trifft der linken Fuß den Boden und die maximale Bodenreaktionskraft wird erreicht (ca. 5 N/Kg). Nach diesem Zeitpunkt werden beide Beine wieder gestreckt und der linke Fuß verlässt den Boden, so dass die Bodenreaktionskraft auf der linken Seite kontinuierlich abnimmt und in der Endphase null beträgt.

Mit dem Kontakt des rechten Fußes mit dem Boden steigt die vertikale Bodenreaktionskraft auf der rechten Seite bereits am Anfang der Initialphase, wobei sie ihren ersten Gipfel erreicht (ungefähr 8 N/Kg). In der Mitte der Hauptphase erlangt die Kraft ihren zweiten Gipfel (ca. 9 N/Kg). Ab diesem Zeitpunkt zeigt die Bodenreaktionskraft eine kleine Senkung und in der Endphase steigt sie wieder und erreicht ihr Maximum von 10 N/Kg.

#### 4.1.3 Varus und Valgus Kniegelenkmoment

Die dargestellten Drehmomentsverläufe wurden auf das Körpergewicht normalisiert (Nm/Kg). Positive Werte stellen externe Varusmomente und negative Werte Valgusmomente im Kniegelenk dar.

Das Varus- und Valgusmoment im rechten Kniegelenk ist wesentlich höher als im linken Kniegelenk – das Maximum ist um das Zweifache größer. Dies kann auf die vorwiegende Verlagerung des Körpergewichts der *Capoeiristas* auf dem rechten Bein während der Ausführung der *Esquiva de Frente* zurückgeführt werden (siehe Abbildung 8).

Die Abbildung 9 veranschaulicht die Drehmomentsverläufe beider Kniegelenke in der Frontalebene während der Ausführung der Capoeira-ausweichbewegung *Esquiva de Frente*.

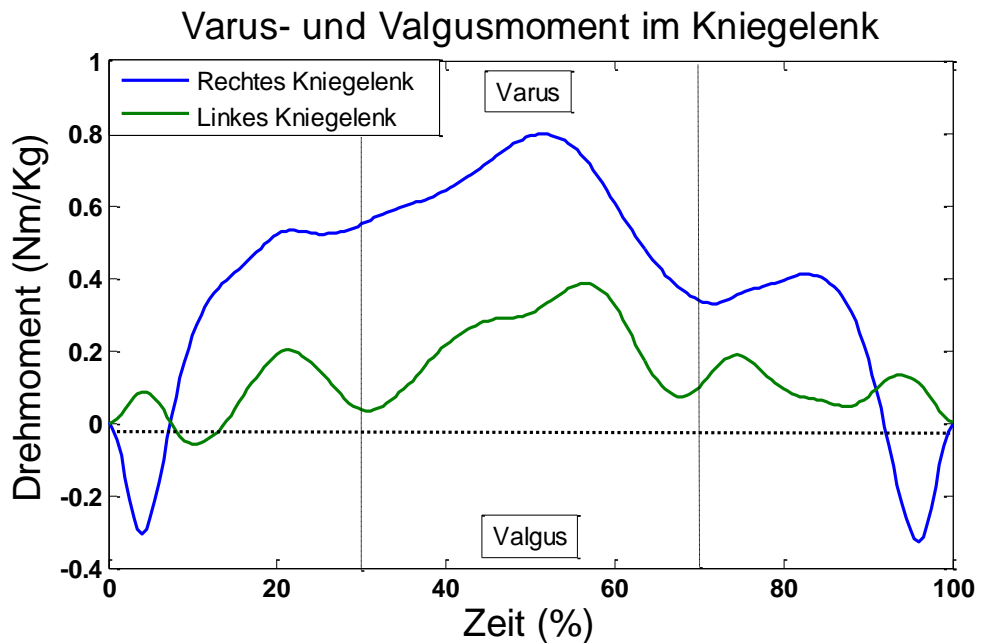


Abbildung 9: Verläufe der Varus- und Valgusmomente im Kniegelenk während der Ausführung der *Esquiva de Frente*

Am Ende der Initialphase zeigt das linke Kniegelenk ein Varusmoment von ungefähr 0,2 Nm/Kg. Nach einer kurzen Senkung dieses Wertes steigt das Varusmoment im linken Knie wieder in der Hauptphase und erreicht sein Maximum (ca. 0,4 Nm/Kg). Im Übergang zwischen den Haupt- und Endphasen nimmt das Varusmoment ab, so dass das linke Kniegelenk am Ende der Endphase ungefähr 0,1 Nm/Kg Varusmoment aufweist.

Das rechte Kniegelenk weist am Anfang der Initialphase ein Valgusmoment von ca. 0,3 Nm/Kg. Mit der zunehmenden Abduktion nimmt das Varusmoment im rechten Kniegelenk während der Initialphase immer zu und erreicht in der Hauptphase sein Maximum (ungefähr 0,8 Nm/Kg). Ab diesen Zeitpunkt wird das rechte Knie allmählich in eine Valgusstellung gebracht und zeigt in der Endphase sein maximales Valgusmoment (ca. 0,3 Nm/Kg).

#### 4.2 Parameterdarstellungen



Im Folgenden werden die während der Ausführung der *Esquiva de Frente* erzeugten vertikalen Bodenreaktionskräfte und Varus- und Valgusmomente für beide Kniegelenke in Form von Diagrammen und dazugehörigen Tabellen vergleichend dargestellt. Die Balkendiagramme beinhalten jeweils die Ausprägung der Gruppenmittelwerte ( $n = 15$ ) des betreffenden Parameters. Die Tabellen enthalten die Gruppenmittelwerte (MW) und Standardabweichungen (SD) in numerischer Form.

Die statistischen Absicherungen der Unterschiede der Merkmalsausprägungen zwischen beiden Beinen bzw. beiden Kniegelenken werden ebenfalls in den Tabellen mit folgender Bedeutung angegeben: „links/rechts“ für paarweise Vergleiche zwischen linkem und rechtem Bein bzw. zwischen dem linken und dem rechten Kniegelenk (T-Test für gepaarte Stichprobe). Der Grad der statistischen Absicherung wird in den Tabellen symbolisch gekennzeichnet mit: \* für  $p < 0.05$ , \*\*:  $p < 0.01$ , \*\*\*:  $p < 0.001$ .

Wie im Kapitel 2.2.1 erwähnt, spielen die Parameter Kraft und Drehmoment eine wichtige Rolle für die Berechnung der mechanischen Belastung.

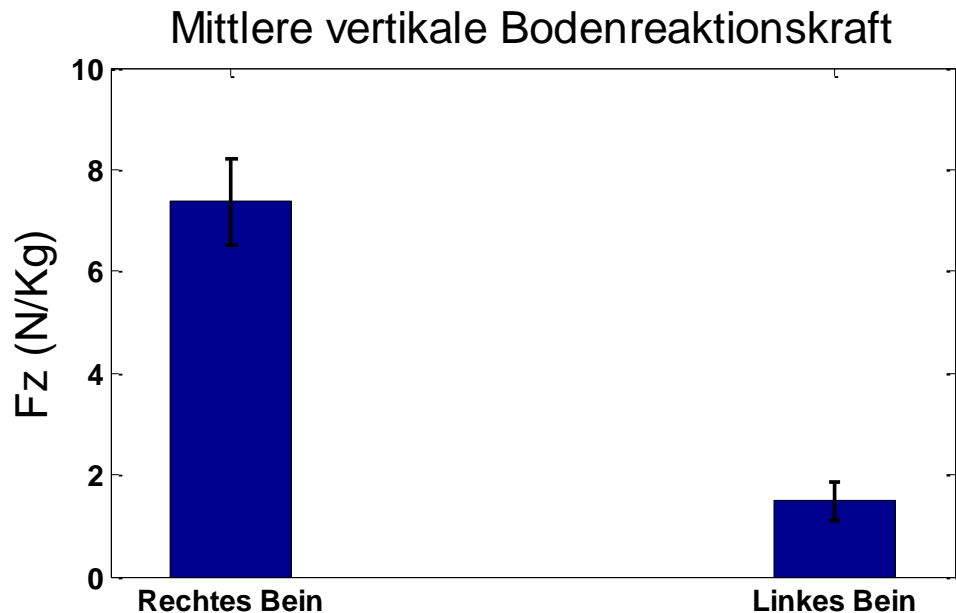
„Die Bodenreaktionskräfte geben einen sehr guten Einblick in die Dynamik des Gesamtsystems, repräsentiert durch den Körperschwerpunkt. Über die dynamischen Bedingungen in den einzelnen Gelenken lassen diese Angaben allerdings nur sehr eingeschränkt Schlussfolgerungen zu“ (Schwameder, 2004, S. 98).

Daher spiegeln die Gelenkmomente die Belastungssituation in den Gelenken besser wider.

In den Kapiteln 4.1.2 und 4.1.3 wurden jeweils die Verläufe der vertikalen Bodenreaktionskräfte beider Beine sowie der Varus- und Valgusmomente beider Kniegelenke abgebildet und somit ihre Maxima dargestellt. Laut Schwameder (2004, S. 98) sind sowohl die Maxima als auch die Mittelwerte der Kräfte und der Gelenkmomente über die Stützphase geeignete Parameter für die Aussage über die Gelenkbelastung.

Da die Durchschnittswerte die gesamte Kontaktphase der erfassten Bewegung besser repräsentieren, wird ihnen hier der Vorzug gegenüber den Maxima gegeben.

#### 4.2.1 Vertikale Bodenreaktionskraft



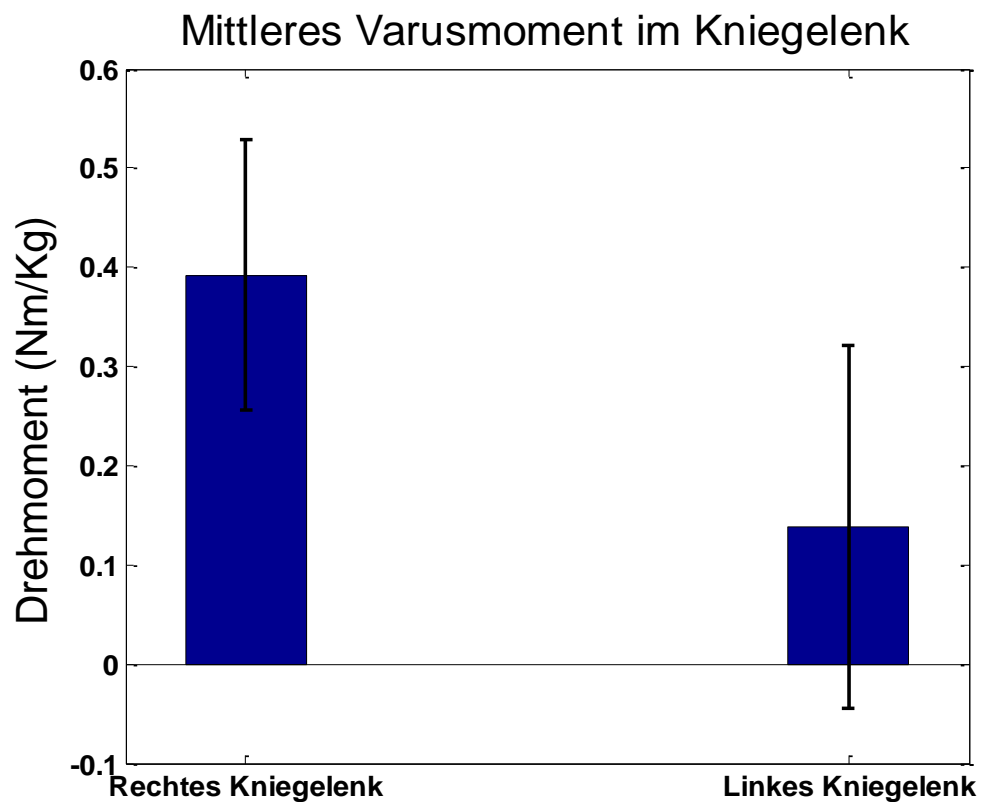
Rechtes Bein		Linkes Bein	
<b>MW</b>	7.37	<b>MW</b>	1.49
<b>SD ±</b>	0.84	<b>SD ±</b>	0.38
<b>links/rechts***</b>			
<b>T = -28,017</b>	<b>df = 14</b>	<b>p = .000</b>	

Abb. 10/Tab. 2: Mittlere vertikale Bodenreaktionskräfte beider Beine während der Ausführung der *Esquiva de Frente*

Wie vorher im Kapitel 4.1.2 erwähnt, wird während der Ausführung der *Esquiva de Frente* das Körpergewicht vorwiegend auf das rechte Bein verlagert. Diese Tatsache hat zur Folge, dass die rechte Seite im Allgemeinen mehr als die linke Seite belastet wird. Dies wird in der Abbildung 10 und Tabelle 2 erneut veranschaulicht.

Die höchste allgemeine mittlere Bodenreaktionskraft tritt auf dem rechten Bein auf und beträgt 7,37 N/Kg. Ungefähr um das Fünffache kleiner ist die mittlere vertikale Bodenreaktionskraft auf der linken Seite (1,49 N/Kg). Hierzu ist der Unterschied zwischen beiden Beinen höchst signifikant ( $p < 0.001$ ).

#### 4.2.2 Varus- und Valgusmoment



Rechtes Kniegelenk		Linkes Kniegelenk	
<b>MW</b>	0.39	<b>MW</b>	0.14
<b>SD ±</b>	0.14	<b>SD ±</b>	0.18
<b>links/rechts**</b>			
<b>T = -3,590</b>	<b>df = 14</b>	<b>p = .003</b>	

Abb. 11/Tab. 3: Mittleres Varus- und Valgusmoment beider Kniegelenke während der Ausführung der *Esquiva de Frente*

Auch auf das vorwiegend auf das rechte Bein verlagerte Körpergewicht ist das wesentlich höhere externe Varusmoment im rechten Kniegelenk gegenüber dem linken Knie zurückzuführen.

In der Abbildung 11 und Tabelle 3 kann dieser Unterschied deutlich beobachtet werden. Während der Ausführung der *Esquiva de Frente* tritt im rechten Kniegelenk das höchste Varusmoment auf (0,39 Nm/Kg). Dieses ist circa dreimal so hoch als das Varusmoment im linken Kniegelenk, das 0,14 Nm/Kg beträgt. Somit weisen das rechte und das linke Knie eine hoch signifikante Differenz auf ( $p < 0.01$ ).

## 5 Diskussion

Das Ziel dieser Studie ist es, die mechanische Belastung im Kniegelenk während der Ausführung der von Mestre Camisa entwickelten Capoeira-Ausweichbewegung *Esquiva de Frente* zu bestimmen. Zudem wurden die vertikale Bodenreaktionskraft sowie die in der Frontalebene erzeugten Gelenkwinkel und Gelenkmomente beider Kniegelenke analysiert.

Hierzu sollen mithilfe dieser Studie folgende Fragen geklärt werden: (1) Welches Bein wird während der Ausführung der *Esquiva de Frente* am meisten belastet? (2) Wie verhält sich das Varus und Valgus Moment beider Kniegelenke, wenn die *Esquiva de Frente* ausgeführt wird?

Allgemein zeigen die Ergebnisse der Untersuchung, dass die höchsten mittleren Belastungen während der Ausführung der *Esquiva de Frente* auf der rechten Seite auftreten. Hierbei ist es wichtig daran zu erinnern, dass die Ausgangsposition für die Erfassung der *Esquiva de Frente* vorgegeben wurde. Deswegen sind hier links und rechts relativ.

Die erste Fragestellung dieser Studie lässt sich mithilfe der Tabelle 4 deutlich beantworten. Hinsichtlich der mittleren vertikalen Bodenreaktionskraft während der Ausführung der Capoeira-Ausweichbewegung *Esquiva de Frente* unterscheiden sich beide Beine höchst signifikant von einander. Hierzu wird das rechte Bein mit 7,37 N/Kg um das Fünffache mehr belastet als das linke Bein.

Während der Initial- und Endphasen der *Esquiva de Frente* wird das Körpergewicht lediglich auf das rechte Bein verlagert. Erst in der Hauptphase (30 bis 70% der Bodenkontakt) berührt der linke Fuß den Boden. In diesem Moment wird das Körpergewicht auf beide Beine aufgeteilt. Diese Aufteilung ist jedoch nicht gleichmäßig, so dass die Belastung des rechten Beins in der Hauptphase doppelt so hoch als die Belastung des linken Beins ist.

Diese Tatsache hat auch Einfluss auf das Gelenkmoment. Zudem, in Bezug auf die zweite Fragestellung, ist das mittlere externe Varusmoment im rechten Kniegelenk um circa das Dreifache höher als im linken Knie. Der Unterschied zwischen beiden Kniegelenken ist also hoch signifikant und wird in der Tabelle 4 besser veranschaulicht.

Tabelle 4: Mittlere vertikale Bodenreaktionskraft (N/Kg) und mittleres Varusmoment im Kniegelenk (Nm/Kg) während der Ausführung der *Esquiva de Frente*. Vergleich zwischen rechter und linker Seite.

	<b>Rechts</b>	<b>Links</b>
<b>Mittlere Vertikale Bodenreaktionskraft</b>	7.37 N/Kg	1.49 N/Kg
<b>Mittleres Varusmoment Kniegelenk</b>	0.39 Nm/Kg	0.14 Nm/Kg

Wenn die in dieser Studie erfassten maximalen Werte mit anderen Aktivitäten wie beispielsweise Gehen (Schmalz et al., 2010) und Laufen (Karamanidis et al., 2004; Brindle et al., 2014) verglichen werden, kann es festgestellt werden, dass bei der Capoeira-Ausweichbewegung *Esquiva de Frente* kleinere maximale vertikale Bodenreaktionskräfte auftreten.

Auf der rechten Seite weist die *Esquiva de Frente* die höchste maximale vertikale Bodenreaktionskraft (10,13 N/Kg) auf, während auf der linken Seite die maximale vertikale Bodenreaktionskraft 4,61 N/Kg beträgt.

Tabelle 5: Maximale vertikale Bodenreaktionskraft (N/Kg) und maximales Varusmoment (Nm/Kg): Vergleich der Capoeira-Ausweichbewegung *Esquiva de Frente* (rechts / links) mit Gehen und Laufen.

	<b>Capoeira (Sobrinho, L. C., 2013)</b>	<b>Gehen (Schmalz et al., 2010)</b>	<b>Laufen (Karamanidis et al., 2004; Brindle et al., 2014)</b>
<b>Max. Vertikale Bodenreaktionskraft</b>	10,13 / 4,61	12,29	26,95
<b>Max. Varusmoment</b>	0,80 / 0,38	0,53	0,93

Schmalz et al. (2010) beobachteten in ihrer Studie eine durchschnittliche maximale vertikale Bodenreaktionskraft von 12,29 N/Kg beim Gehen (1,27 m/s). Die Ergebnisse der Messungen von Karamanidis et al. (2004) mit erfahrenen Langstreckenläuferinnen (3,5 m/s) zeigten maximale vertikale Bodenreaktionskräfte von 26,95 N/Kg.

Was das Gelenkmoment in der Frontalebene betrifft, weist die *Esquiva de Frente* im rechten 0,80 und im linken Kniegelenk 0,38 Nm/Kg auf. Diese Werte stellen externe Knievarusmomente dar.

Verglichen mit den Befunden von Schmalz et al. (2010) zeigt die *Esquiva de Frente* auf dem rechten Kniegelenk ein höheres maximales Varusmoment. Auf dem linken Knie ist das maximale externe Varusmoment bei der Capoeira-Ausweichbewegung wiederum geringer als beim Gehen. Die Probanden in der Studie von Schmalz et al. (2010) wiesen beim Gehen externe Knievarusmomente von 0,53 Nm/Kg auf.

Das maximale Varusmoment beim Laufen ist im Vergleich mit der *Esquiva de Frente* wesentlich höher. Brindle et al. (2014) berichteten in ihrer Studie mit Freizeitläufern (3,5 m/s  $\pm$  5%) von externen Knievarusmomenten von 0,93 Nm/Kg.

Da die Capoeira als die Kunst des Ausweichens bezeichnet werden kann (vgl. Mestre Camisa, 2012), werden die zu dieser Kampfkunst gehörigen

Ausweichbewegungen, unter anderem auch die *Esquiva de Frente*, sowohl im Training als auch während des Capoeiraspieler sehr häufig wiederholt. Durch die wiederholte Durchführung treten an einzelnen Gelenken Belastungen auf, die wiederum zu Verletzungen führen können.

Nach Hennig und Riehle (1988) bzw. McClay et al. (1994), zitiert nach van Husen (2005, S. 14), sind grundsätzliche Faktoren für die Bestimmung hoher Belastungen: (1) Maximalwerte, (2) Belastungsdauer, sowie (3) Wiederholungsrate.

Tabelle 5 zeigt, dass die Maximalwerte der vertikalen Bodenreaktionskräfte und der externen Knievarusmomente bei der Capoeira-Ausweichbewegung *Esquiva de Frente* zum Teil als gering bezeichnet werden können, verglichen mit Aktivitäten wie Gehen und Laufen.

Trotz geringer Belastung kann die Ausführung der *Esquiva de Frente* zu Verletzungen führen. Laut Violetta (1995), zitiert nach van Husen (2005, S. 8), können harmlose Bewegungen, die aber sehr häufig wiederholt werden, Überlastungsverletzungen verursachen.

Nichtsdestotrotz muss berücksichtigt werden, dass gleiche Belastungen bei zwei Personen zu unterschiedlichen Beanspruchungen führen können (vgl. van Husen, 2005, S. 13). Die biologische Reaktion auf die äußere Belastung ist also individuell abhängig. So können nach einem Capoeira-Training die von den Ausweichbewegungen erzeugten Belastungen je nach Person biopositiv oder bionegativ wirken. Letztendlich hängt die Wirkung der Belastung auf einzelne Personen auch von anderen Faktoren wie Alter, Schwierigkeit der Aufgabe, Leistungsniveau und Konzentrationsfähigkeit ab (vgl. Willimczik, Sahre, Pachur und Wieling, 1991, zitiert nach van Husen, 2005, S. 14).

In diesem Zusammenhang muss vor allem das Gelenkmoment in der Frontalebene berücksichtigt werden. Markolf et al. (1995) zitiert nach Gehring (2009, S. 10) wiesen in ihrem Beitrag darauf hin, dass bereits geringe induzierte Abduktions- bzw. Adduktionsmomente die Belastung

des vorderen Kreuzbandes deutlich erhöhen. Die Autoren behaupteten, dass eine Kombination aus anterior gerichteten Kräften an der Tibia und Adduktionsmoment den stärksten Krafttransfer auf das vordere Kreuzband bei vollständig gestrecktem Knie erreichten. Bei 20 - 30° Knieflexion führte die Kombination aus induzierter Tibiatranslation und Abduktionsmoment zur höchsten Kraft im vorderen Kreuzband.

Eine Zusammenfassung von seiner mechanischen Betrachtung des vorderen Kreuzbandes liefert Gehring (2009, S. 16):

Zusammenfassend ergibt sich aus dieser rein mechanischen Betrachtungsweise, dass das VKB eine stabilisierende Funktion hinsichtlich anterior gerichteter Tibiatranslation (primär), Knieabduktion (sekundär) sowie Tibiarotation besitzt. Mit der Stabilisierung gegenüber diesen Bewegungen geht jedoch auch die Belastung des VKBs einher. In experimentellen in vitro- und in vivo-Studien konnte zunächst gezeigt werden, dass die rotatorischen Bewegungen sowie die hiermit assoziierten Momente der Frontal- und Transversalebene entscheidenden Einfluss auf die Belastung des Ligaments haben. Basierend auf Modellrechnungen zeigte sich ferner, dass der Verletzungsmechanismus des VKBs nicht mit einer reinen Betrachtung der Sagittalebene erklärt werden kann. Schlussendlich konnte prospektiv ein deutlicher Zusammenhang zwischen Kniegelenksabduktion und Verletzungsinzidenz hergestellt werden, der durch Videoanalysen von Verletzungen bestätigt wurde. (Gehring, 2009, S. 16)

Um die Fragen zu beantworten, wurde in der vorliegenden Forschungsarbeit eine komplexe biomechanische Bewegungsanalyse durchgeführt.

Die Laborumgebung bildete die größte Einschränkung dieser Studie. Obwohl die Probanden Zeit hatten, sich an die Umgebung zu gewöhnen, war das Problem dadurch nicht gelöst. Die Probanden sollten die Amplitude ihrer Bewegungen an den zu beachtenden Aufnahmebereich und an die Größe der Kraftmessplatten anpassen. Somit wurde der natürliche Fluss der Bewegungen beeinträchtigt.



Eine weitere methodische Einschränkung lag darin, dass die Geschwindigkeit der *Ginga* und der aus ihr hervorgehenden Ausweichbewegung *Esquiva de Frente* nicht genau kontrolliert werden konnte. Damit alle Probanden dem gleichen Rhythmus folgen konnten, wurde daher immer das gleiche Lied auf CD vorgespielt.

## 6 Schlussfolgerungen

Was die vertikale Bodenreaktionskraft betrifft, wird das rechte Bein während der Ausführung der Capoeira-Ausweichbewegung *Esquiva de Frente* am meisten belastet. Mit einer mittleren vertikalen Bodenreaktionskraft von 7,37 N/Kg ist die Belastung auf der rechten Seite ungefähr fünfmal größer als auf der linken Seite (1,49 N/Kg).

Dies ist darauf zurückzuführen, dass es während der Ausführung der *Esquiva de Frente* Zeitpunkte gibt, in denen die *Capoeiristas* ihre Körpergewichte auf lediglich das rechte Bein verlagern (siehe Abbildung 8). Dies erfolgt in der Initial- und Endphase. In der Hauptphase haben die *Capoeiristas* beide Beine auf dem Boden und das Körpergewicht wird zwischen beiden Beinen aufgeteilt. Überwiegend wird jedoch das Körpergewicht auf das rechte Bein verlagert.

Hinsichtlich des mittleren externen Varusmomentes unterscheiden sich beide Kniegelenke deutlich. Das mittlere Varusmoment im rechten Kniegelenk ist mit 0,39 Nm/Kg wesentlich höher als im linken Knie mit 0,14 Nm/Kg. Dieser Unterschied kann vermutlich auch auf die überwiegende Verlagerung des Körpergewichts auf dem rechten Bein zurückgeführt werden.

Zudem könnte im Sinne der Gelenkschonung eine Optimierung der Technik der *Esquiva de Frente* während der Initial- und Endphasen ein Vorteil sein.

Die Maximalwerte der vertikalen Bodenreaktionskräfte und der externen Knievarusmomente bei der *Esquiva de Frente* können, verglichen mit

Aktivitäten wie Gehen und Laufen, zum Teil als gering bezeichnet werden (siehe Tabelle 5).

Da die *Esquiva de Frente* vor allem im Training sehr häufig wiederholt wird, kann sie trotz geringer Belastung Überlastungsverletzungen verursachen. Letztendlich ist die biologische Reaktion auf die äußere Belastung individuell abhängig und die Wirkung der Belastung auf einzelne Personen hängt von anderen verschiedenen Faktoren wie Alter, Schwierigkeit der Aufgabe, Leistungsniveau und Konzentrationsfähigkeit ab.

Außerdem erhöhen bereits geringe induzierte Abduktions- bzw. Adduktionsmomente die Belastung des vorderen Kreuzbandes deutlich. Schließlich besteht ein klarer Zusammenhang zwischen Kniegelenksabduktion und Verletzungsinzidenz des vorderen Kreuzbandes.

Mit dieser Studie konnte aufgezeigt werden, dass sich beide Beine bzw. beide Kniegelenke jeweils höchst ( $p < 0.001$ ) und hoch ( $p < 0.01$ ) signifikant voneinander unterscheiden, was die mittlere vertikale Bodenreaktionskraft und das mittlere externe Varusmoment betrifft.

Allerdings liegen bislang kaum Studien vor, die sich mit der biomechanischen Analyse von Capoeirabewegungen befassen. In diesem Sinne müssen mehrere Studien in diesem Bereich durchgeführt werden, damit die Ergebnisse verglichen werden können.

## Literaturverzeichnis

- Assunção, M.R. (2005). *Capoeira: the History of an Afro-Brazilian Martial Art*. Oxon: Routledge.
- Ballreich, R., Baumann, W. (Hrsg.). (1988). *Grundlagen der Biomechanik des Sports. Probleme Methoden Modelle*. Stuttgart: Enke..
- Brennecke, A., Amadio, A.C., Serrão, J.C. (2005). Parâmetros Dinâmicos de Movimentos Seleccionados da Capoeira. *Revista portuguesa de ciência do desporto*, 5 (2), 153-159.
- Brinckmann, P., Frobin, W. & Leivseth, G. (2000). *Orthopädische Biomechanik*. Stuttgart; New York: Thieme.
- Brindle, R.A., Milner, C.E., Zhang, S., Fitzhugh, E.C. (2014). Changing Step Width Alters Lower Extremity Biomechanics During Running. *Gait & Posture*. 2014 (39), 124-128.
- Carvalho, P.C.V. (2010). *Capoeira, Arte-luta: uma Abordagem Pedagógica de Inclusão*. Teresina: Ipanema.
- DaCosta, L.P. (2006). *Cenário de Tendências Gerais dos Esportes e Atividades Físicas no Brasil*. Atlas do Esporte no Brasil. Rio de Janeiro: CONFEF.
- Downey, G. (2005). *Learning Capoeira: Lessons in Cunning from an Afro-Brazilian Art*. New York: Oxford.
- Essien, A. (2008). *Capoeira Beyond Brazil: from a Slave Tradition to an International Way of Life*. Berkeley: Blue Snake Books.
- Ferro, L.L, Silva, F.B.M., Junior, T.P.S. (2011). *Periodização do Treinamento Desportivo: Proposta de um Macro ciclo para Capoeiristas Desportivos*. Unveröffentlichte Seminararbeit, Institut für Sportwissenschaften, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro.
- Gehring, D. (2009). *Kniegelenkskontrolle bei dynamischen Bewegungen: Einfluss von Geschlecht, Ermüdung und Equipment*. Dissertation, Wirtschafts- und Verhaltenswissenschaftlichen Fakultät, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg. Freiburg.
- Gomes, A.M.X.P (2012). *Iê, Volta ao Mundo, Camará*. Unveröffentlichte Seminararbeit, Institut für Kommunikations- und Medienwissenschaft, Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro.

- Hennig, E., Riehle, H. (1988). Loads on the human body during trampoline exercises. In de Groot, G., Hollander, A.P., Huijing, P.A. & van Ingen Schenau, G.J. (Eds.), *Biomechanics XI-B* (pp. 736-739). Amsterdam: Free University Press.
- Karamanidis, K., Arampatzis, A., Brüggemann, G.-P. (2004). Reproducibility of electromyography and ground reaction force during various running techniques. *Gait and Posture*. 2004 (19), 115-123.
- Kleindienst, F.I., Michel, K.J., Stief, F., Wedel, F., Campe, S., Krabbe, B. (2007). Vergleich der Gelenkbelastung der unteren Extremitäten zwischen den Bewegungsformen Nordic Walking, Walking und Laufen mittels Inverser Dynamik. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*. 58 (4), 105-111.
- Lewis, J.L. (1992). *Ring of Liberation: Deceptive Discourse in Brazilian Capoeira*. Chicago: Chicago.
- Markolf, K.L., Burchfield, D.M., Shapiro, M.M., Shepard, M.F., Finerman, G.A., and Slauterbeck, J.L. (1995) Combined Knee Loading States that Generate High Anterior Cruciate Ligament Forces. *J.Orthop.Res.* 1995 (13), 930-935.
- McClay, J.S., Robson, J.R., Andriacchi, T.P., Frederick, E.C., Gross, T., Martin, P., Validant, G., Williams, K.R., Cavanagh, P.R. (1994). A Profile of Ground Reaction Forces in Professional Basketball. *Journal of Applied Biomechanics*. 10 (3), 223-236.
- Mestre Camisa (Cardoso, J.T.C.) (2012). Persönliches Interview, geführt vom Verfasser. Cachoeiras de Macacu - Rio de Janeiro, 20.03.2012.
- Neto, P.C.O. (2007). *O Perfil dos Escolares da Educação Infantil, Praticantes de Capoeira, em Relação às Variáveis Psicomotoras*. Unveröffentlichte Examensarbeit, Institut für Sportwissenschaften, Universidade Católica do Rio Grande do Sul. Uruguaiana.
- Robert, T., Chèze, L., Dumas, R. und Verriest, J.-P. (2006). Validation of Net Joint Loads Calculated by Inverse Dynamics in Case of Complex Movements: Application to Balance Recovery Movements. *Journal of Biomechanics*, 2007 (40), 2450-2456.
- Schmalz, T., Knopf, E., Drewitz, H., Blumentritt, S. (2010). Analysis of biomechanical effectiveness of valgus-inducing knee brace for osteoarthritis of knee. *Journal of Rehabilitation Research & Development*. 47 (5). 419-430.

- Schwameder, H. (Hrsg.). (2004). *Biomechanische Analysen beim Berggehen*. Band 1: Spektrum Bewegungswissenschaft. Aachen: Meyer & Meyer.
- Silva, G.O. (1998). *Capoeira: do Engenho à Universidade*. São Paulo: Coordenadoria de Comunicação Social do Estado de São Paulo.
- Sobrinho, L. C. (2009). *Capoeira Infantil e o Desenvolvimento Neuropsicomotor em Crianças de 6 e 7 Anos de Idade: Lateralização, Equilíbrio e Coordenação Motora Global*. Unveröffentlichte Bachelorarbeit, Institut für Sportwissenschaften, Universidade Salgado de Oliveira. Campos dos Goytacazes.
- Thull, M.-C. (2006). *Kampf und Tanz: Ein ethnologischer Vergleich von Capoeira, Moringue und Danmyé in ehemaligen portugiesischen und französischen Kolonien*. Unveröffentlichte Magisterarbeit, Institut für Ethnologie, Johann Wolfgang Goethe-Universität. Frankfurt am Main.
- Tkak, C.M., Oliveira, A.S. (2006). O Efeito da Prática da Capoeira Regional no Perfil Motor de Crianças. *Revista Teoria e Prática da Educação*, 9 (2), 217-232.
- van Husen, M. (2005). *Belastungen der unteren Extremität im Handball und Volleyball: Eine Untersuchung zur Landung nach Sprungwürfen und Schmetterschlägen*. Unveröffentlichte Doktorarbeit, Institut für Humanwissenschaften (Erziehungswissenschaft, Psychologie und Sportwissenschaft), Technische Universität Darmstadt. Darmstadt.
- Violetta, D.R. (1995). Belastungen im Volleyball aus physiologischer Sicht. In Dannemann, F. (Red.), *Belastung im Volleyball*. (FIVB Trainer Symposium, S. 39-51). Bremen.
- Wesolowski, K. (2007). *Hard Play: Capoeira and the Politics of Inequality in Rio de Janeiro*. Dissertation, Department of Anthropology and Education, Columbia University. New York.
- Wick, D., Thielscher, W., Ohlert, H., Krüger, T., Fritzenberg, M. & Kittel, R. (Hrsg.). (2009). *Biomechanik im Sport. Lehrbuch der biomechanischen Grundlagen sportlicher Bewegungen* (2., überarb. und erw. Aufl.). Balingen: Spitta.
- Willimczik, K., Sahre, E., Pachur, S., Wieling, M. (1991). Auswirkungen konditioneller Beanspruchung auf das Fertigkeiteniveau im Sport Basketball. In Dagus, R., Mechling, H., Blischke, K. & Olivier, N. (Hrsg.), *Sportmotorisches Lernen und Techniktraining* (Band 2, S. 32-37). Schorndorf: Hofmann.