
Universität Potsdam
Humanwissenschaftliche Fakultät
Forschungsschwerpunkt Kognitionswissenschaften
Professur für Trainings- und Bewegungswissenschaft

DISSERTATION

Optimierung der Leistungsdiagnostik und Entwicklung von effektiven Trainingsprogrammen in der Zweikampfsportart Judo unter Verwendung des Mess- und Informationssystems JERGo[®] für judospezifische Anrissbewegungen

zur Erlangung des akademischen Grades

„doctor philosophiae“

(Dr. phil)

im Fachgebiet Sportwissenschaft

eingereicht an der
Humanwissenschaftlichen Fakultät
der Universität Potsdam

von

Norman Helm

2019

Betreuer: Prof. Dr. Urs Granacher

Datum der Abschlussprüfung: 11.06.2020

Online veröffentlicht auf dem
Publikationsserver der Universität Potsdam:
<https://doi.org/10.25932/publishup-47176>
<https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:kobv:517-opus4-471765>

Eidesstattliche Erklärung

Gemäß der Promotionsordnung (§ 4 Abs. 2 Satz 4 und 7) der Philosophischen Fakultät der Universität Potsdam:

Hiermit erkläre ich, dass die vorliegende Dissertation mit dem Titel „Optimierung der Leistungsdiagnostik und Entwicklung effektiver Trainingsprogramme in der Zweikampfsportart Judo unter Verwendung des Mess- und Informationssystem JERGo® für judospezifische Anrissbewegungen“ in der gegenwärtigen oder einer anderen Fassung an keiner anderen Fakultät einer wissenschaftlichen Hochschule zur Begutachtung im Rahmen eines Promotionsverfahrens vorgelegt wurde.

Ich habe diese Arbeit selbständig und ohne unzulässige Hilfe Dritter verfasst und habe bei der Abfassung nur die angegebenen Hilfsmittel benutzt sowie alle wörtlich oder inhaltlich übernommenen Stellen als solche gekennzeichnet.

Darüber hinaus werden die Beiträge der Mitautoren zu den einzelnen Publikationen dieser kumulativen Dissertation im Kapitel „Publikationsbeiträge der Autoren“ dargestellt.

Weiterhin erkläre ich hiermit meine Zustimmung, dass die Zusammenfassung im Falle eines erfolgreichen Abschlusses des Promotionsverfahrens seitens der Humanwissenschaftlichen Fakultät der Universität Potsdam veröffentlicht werden kann.

Potsdam, 15.11.2019

Ort, Datum

A handwritten signature in black ink, consisting of a stylized 'N.' followed by a cursive flourish.

Unterschrift

Inhaltsverzeichnis

Danksagung	III
Zusammenfassung	IV
Abstract	VI
Abbildungsverzeichnis	VIII
Abkürzungsverzeichnis	IX
1 Einleitung	1
2 Theoretischer Hintergrund	4
2.1 Charakteristik und Entwicklungstendenzen der Zweikampfsportart Judo	4
2.2 Trainingssteuerung im Leistungssport	6
2.3 Bedeutung der Rumpfkraft für sportbezogene Bewegungsaufgaben	12
2.4 Effekte eines judospezifischen Anrisstrainings	14
3 Forschungsfragen	17
4 Zusammenfassende Darstellung der Methoden	21
4.1 Systematische Literaturrecherche	21
4.2 Probanden	21
4.3 Messapparaturen	21
4.3.1 Mess- und Informationssystem JERGo®	22
4.3.2 Isokinetisches Mess- und Trainingssystem	22
4.3.3 Elektromyografie	23
4.4 Test- und Trainingspartner	23
4.5 Trainingsintervention	23
4.6 Statistische Analyse	24
5 Zusammenfassende Darstellung der Ergebnisse	25
5.1 Publikation I: Systematische Analyse des konditionellen Anforderungsprofils in der Zweikampfsportart Judo	25

5.2	Publikation II: Validierung eines neuen judospezifischen Ergometer-Systems bei männlichen Spitzen- und Nachwuchsathleten	26
5.3	Publikation III: Assoziationen zwischen der Rumpfkraft und judospezifischen Anrissleistungen von Judoka.....	27
5.4	Publikation IV: Effekte eines Messplatztrainings am JERGo [®] -System auf kinetische und elektromyographische Parameter des Anreißens bei Wurfeingangsbewegungen von Judoka	28
6	Diskussion	29
6.1	Systematische Analyse des konditionellen Anforderungsprofils in der Zweikampfsportart Judo	29
6.2	Mess- und Informationssystem JERGo [®] für die Diagnostik von kinetischen Parametern bei judospezifischen Anrissbewegungen.....	33
6.3	Bedeutung der Rumpfkraft für judospezifische Anrissbewegungen.....	36
6.4	Effekte eines judospezifischen Anrisstrainings	40
7	Handlungsempfehlungen für die Trainingspraxis.....	44
8	Limitationen und Empfehlungen für zukünftige Forschungen.....	48
9	Literaturverzeichnis	52
	Publikationsbeiträge der Autoren	58
	Publikation I	68
	Publikation II (in englischer Sprache).....	86
	Publikation III	106
	Publikation IV	126

Danksagung

An dieser Stelle bedanke ich mich bei den nachstehenden Personen, die zum Gelingen dieser Promotionsschrift beigetragen haben.

Mein besonderer Dank gilt meinem Doktorvater, Herrn Prof. Dr. Urs Granacher, der mir die Möglichkeit gab, meine bereits erworbenen wissenschaftlichen Fähigkeiten im Rahmen einer Promotion in der Abteilung für Trainings- und Bewegungswissenschaft an der Universität Potsdam weiter zu vertiefen. Während dieser Zeit stand er stets für Fragestellungen zur Verfügung und hat mich gefördert, damit ich mich als Sportwissenschaftler weiterentwickeln konnte. Ich bin ihm sehr dankbar für seine Geduld, Akribie, Empathie und seine fachliche Kompetenz, die ihn als einen weltweit anerkannten Sportwissenschaftler und großartigen Mentor auszeichnen.

Ich danke Herrn Prof. Dr. Sven Bruhn für die wissenschaftliche Betreuung als Zweitgutachter.

Des Weiteren bedanke ich mich bei allen Mitautoren für die hilfreiche Unterstützung sowie für die Teilnahme an den jeweiligen Forschungsartikeln, die zu der Qualität der kumulativen Dissertation beigetragen hat.

Darüber hinaus bin ich Herrn Prof. Dr. Olaf Prieske für die wertvollen und zahlreichen wissenschaftlichen Hinweise sowie für die mentale Unterstützung dankbar.

Mein außerordentlicher Dank gilt meinen guten Freunden Dr. Helmar Hentschke und Roland Hentschke, die mich zu dieser großen Herausforderung ermutigt haben und mir jederzeit unterstützend zur Seite standen.

Zudem bin ich Herrn Wilfried Lausch, Herrn Andreas Klemund, Herrn Dr. Harry Kappell und Herrn Lothar Heine verbunden, die mich während der beruflichen Tätigkeit am Olympiastützpunkt Brandenburg durch ein hohes Maß an moralischem Beistand bei der Vollendung meiner Dissertation unterstützten.

Mein ganz besonderer Dank gilt meinen Eltern Heike und Matthias Helm, die mir meinen bisherigen Lebensweg ermöglichten und denen ich diese Arbeit widme.

Zusammenfassung

Eine sportartspezifische Anforderungsanalyse ist die Grundlage für die Leistungsdiagnostik und eine wichtige Voraussetzung für die Trainingssteuerung im Spitzensport. Im Rahmen der Leistungsdiagnostik in der Zweikampfsportart Judo besitzen judospezifische Anrissleistungen bei Anrissbewegungen ein hohes Potenzial, um Defizite im Kraft-Weg-Verlauf bzw. in den kinetischen Parametern (z. B. mechanische Arbeit, dynamische Maximalkraft) zu identifizieren und ableitend daraus entsprechende trainingsmethodische Anpassungen zur Verbesserung vorzunehmen. Die Rumpfstabilität und die Rumpfkraft stellen wichtige Leistungsvoraussetzungen für sportliche Bewegungen dar, um den optimalen Transfer von Kräften und Drehmomenten von den unteren Extremitäten über den stabilen Rumpf hin zu den oberen Extremitäten zu ermöglichen. Im Trainingsprozess der Judoka erfährt das spezifische Krafttraining immer mehr Aufmerksamkeit, um die sportartrelevanten Muskelgruppen zu entwickeln und somit die finale Effektivität einer Wurftechnik zu verbessern.

Die wesentliche Zielstellung dieser Arbeit bestand darin, die Leistungsdiagnostik im Judo zu optimieren und effektive Trainingsprogramme zur Verbesserung von judospezifischen Anrissbewegungen zu entwickeln. Im Einzelnen wurde dafür eine systematische Anforderungsanalyse für die Sportart Judo erarbeitet. Basierend auf dieser Analyse wurden die Validität und die Reliabilität von kinetischen Parametern während Anrissbewegungen mit einem judospezifischen Ergometer-System (JERGo[®]) untersucht. Zudem wurden die Zusammenhänge zwischen der Rumpfkraft und kinetischen Parametern bei judospezifischen Anrissbewegungen analysiert. Schließlich wurde die Wirksamkeit eines spezifischen Anrisstrainings am JERGo[®]-System gegenüber einem Anrisstraining mit Partner auf kinetische Parameter und Muskelaktivität überprüft.

Die sportartspezifische Anforderungsanalyse wurde unter Berücksichtigung der metabolischen und muskulären Anforderungen sowie sportartspezifischen Verletzungsrisiken erarbeitet. An den zwei Querstudien bzw. einer Längsschnittstudie nahmen gesunde männliche Judoka mit unterschiedlichem Experteniveau teil. Die kinetischen Parameter bei judospezifischen Anrissbewegungen wurden mit dem JERGo[®]-System in allen Experimentalstudien erfasst. Die Rumpfkraft wurde mit einem isokinetischen Dynamometer gemessen, um Assoziationen zwischen der Rumpfkraft und judospezifischen Anrissleistungen zu bestimmen. Zudem wurde die Aktivität ausgewählter Rumpf-/Schultermuskeln bei der Anrissbewegung im Stand

für die Validierung des JERGo[®]-Systems und für die Überprüfung der Effekte eines Anrisstrainings erfasst. Die Ermittlung von sportmotorischen Leistungen erfolgte durch die Übungen Liegend-Anreißen und Klimmziehen, um die Wirkungen eines judospezifischen Anrisstrainings auf sportartunspezifische Kraftleistungen zu untersuchen.

Unter Berücksichtigung der muskulären Anforderungen im Judo wird die Ausführung einer explosiven Anrissbewegung bzw. Wurftechnik durch die koordinierte Aktivität vieler Muskelgruppen und vor allem durch die unteren Extremitäten sowie den Rumpf realisiert. Aus trainingswissenschaftlicher Sicht ist das JERGo[®]-System ein valides und reliables Messinstrument für die Diagnostik von kinetischen Parametern während judospezifischer Anrissbewegungen. Die Rumpfkraft, insbesondere bei der Rumpfrotation, ist mit kinetischen Parametern bei judospezifischen Anrissbewegungen assoziiert. Ein Anrisstraining am JERGo[®]-System zeigt in den kinetischen Parametern und Muskelaktivierungen vor allem bei der Anrissbewegung im Stand signifikant größere Zuwachsraten im Vergleich zu einem Anrisstraining mit Partner.

Die Ergebnisse dieser Arbeit zeigen, dass die Verbesserung der muskulären Leistungsfähigkeit (z. B. Explosivkraft) in den unteren Extremitäten und der Rumpfmuskulatur eine wichtige Basis für judospezifische Anrissleistungen bei Anrissbewegungen und Wurftechniken darstellt. Zudem empfiehlt es sich, dass JERGo[®]-System zur Diagnostik von kinetischen Parametern bei judospezifischen Anrissbewegungen in die judospezifische Testbatterie einzubinden. Weiterhin kann davon ausgegangen werden, dass durch rumpfextensions- und vor allem durch rumpfrotationskräftigende Übungen unter maximal schellkräftiger Muskelaktivierung Einfluss auf kinetische Parameter bei judospezifischen Anrissbewegungen genommen wird. Letztendlich empfiehlt es sich, ein Anrisstraining am JERGo[®]-System in den judospezifischen Trainingsprozess zu integrieren.

Abstract

A sport-specific needs analysis is the foundation of performance diagnostic and an important requirement of training management in elite sports. In the context of performance diagnostic in judo, judo-specific pulling performances during pulling movements have strong potential to identify deficits in the force-displacement curve or in kinetic parameters (i.e., mechanical work, maximal force) during pulling movements, thus enabling training-methodical adjustments for improvement. Core stability and trunk muscle strength are important performance prerequisites for sport-specific movements to enable the optimal transfer of forces and torques from the upper limbs through the stable core to the upper limbs. In the training process of the judoka, the specific strength training has received increasing attention to develop the sport-related muscle groups and thus to improve the ultimate effectiveness of a throwing technique.

The main objective of this thesis was to optimize performance diagnostics in the combat sport of judo and develop effective training programs for improving judo-specific pulling movements. Specifically, a systematic needs analysis for judo was conducted, whereby the validity and reliability of kinetic parameters during pulling movements using a judo-specific ergometer system (JERGo[®]) was examined. In addition, associations between measures of trunk muscle strength and judo-specific pulling kinetics were analyzed. Furthermore, the effectiveness of a judo-specific resistance training using the JERGo[®] system versus a resistance training with a partner on kinetic parameters and muscle activity was examined.

The sport-specific needs analysis was performed with a special focus on metabolic and muscular demands in judo as well as sport-specific injury risks. Two cross-sectional and one longitudinal study included healthy male judoka with different expertise levels. Kinetic parameters during judo-specific pulling movements were assessed by means of the JERGo[®] system in all experimental studies. Trunk muscle strength was determined using an isokinetic dynamometer to determine associations between trunk muscle strength and judo-specific pulling kinetics. In addition, the activity of selected trunk and shoulder muscles was recorded during the pulling movement in stand to validate the JERGo[®] system and examine the effects of pulling resistance training. Components of physical fitness were represented by bench-pull and pull-up exercises to investigate the effects of pulling resistance training on sport-non-specific performances.

With respect to the muscular demands during judo, explosive pulling movements or throwing techniques are realized by the coordinated activity of several muscle groups, particularly by the lower limb and the trunk muscles. From a training scientific perspective, the JERGo[®] system is a valid and reliable measurement tool for the diagnostics of kinetic parameters during judo-specific pulling movements. Trunk muscle strength – particularly trunk rotation – is associated with judo-specific pulling kinetics. Judo-specific resistance training using the JERGo[®] system revealed significantly higher gains in pulling kinetics and muscle activity compared with resistance training with a partner.

The findings of the present theses imply that improving muscular performance (e.g., power) in the lower limb and trunk muscles is an important basis for performing judo-specific pulling movements and throwing techniques. In addition, it is recommended to integrate the JERGo[®] system into the judo-specific test battery for the diagnostics of judo-specific pulling kinetics. Furthermore, strengthening exercises with explosive muscle activation for trunk extensors and especially trunk rotators could have a beneficial effect on kinetic parameters during judo-specific pulling movements. Finally, it is recommended to integrate pulling resistance training in the JERGo[®] system into judo-specific training routines.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Darstellung des Regelkreismodells der Trainingssteuerung (Prieske & Granacher, 2019).....	6
Abbildung 2: Leistungsstrukturmodell der Zweikampfsportart Judo (in Anlehnung an Bussweiler, 2011; Heinisch, 2014)	8
Abbildung 3: Mess- und Informationssystem JERGo [®] mit Echtzeitdarstellung der kinetischen Parameter (z. B. mechanische Arbeit, dynamische Maximalkraft) und Kraft-Weg-Verläufe für den Hub- (rechte Darstellung) und Zugarm (linke Darstellung) während wiederholter judospezifischer Anrissbewegung im Stand	10
Abbildung 4: Schematischer Überblick über die vier Publikationen mit kurzer inhaltlicher Zielstellung. Es bauen die Publikationen I bis IV aufeinander auf, indem erst ein Überblicksbeitrag (Publikation I) und anschließend ein Querschnitt- (Publikation II und III) sowie ein Längsschnittdesign (Publikation IV) verwendet wurde. IF = Einflussfaktor (engl. „ <i>impect factor</i> “), MAV = mittlere Muskelaktivität (engl. „ <i>mean amplitude voltage</i> “)	20
Abbildung 5: Exemplarische Darstellung einer (a) traditionellen Periodisierung im Vergleich zu einer (b) konjugierten Sequenzperiodisierung. Die Umfangslast (engl. „ <i>volume load</i> “) wird definiert als Produkt aus: Sätze x Wiederholungen x prozentual gehobene Last (kg) vom Einer-Wiederholungs-Maximum (Harris et al., 2019)	46

Abkürzungsverzeichnis

- AnE Anriss- mit Eindrehbewegung
- AnS Anrissbewegung im Stand
- CMJ Vertikalsprung mit Ausholbewegung (engl. „*countermovement jump*“)
- CV Variationskoeffizient (engl. „*coefficient of variation*“)
- d* Effektgröße nach Cohen
- ICC Intraklassen-Korrelationskoeffizient (engl. „*interclass correlation coefficient*“)
- IF Einflussfaktor (engl. „*impact factor*“)
- MAV mittlere Muskelaktivität (engl. „*mean amplitude voltage*“)
- r* Produkt-Moment-Korrelationskoeffizient nach Pearson (engl. „*Pearson product-moment correlation coefficient*“)
- SEM Standardfehler (engl. „*standard error of measurement*“)
- SJ Kauersprung (engl. „*squat jump*“)
- SWE kleinste lohnende Veränderung (engl. „*smallest worthwhile change*“)

1 Einleitung

Sowohl in der Zweikampfsportart Judo als auch in anderen Kampfsportarten stehen die spezifischen Leistungsvoraussetzungen in einem komplexen Gefüge zur Gesamtleistung. Dementsprechend können Judoka trotz unterschiedlicher Konstitution und bei Abweichungen in Handlungsrepertoire, Kampfverhalten, Kampfstil und -strategien dennoch gleichermaßen erfolgreich sein. Mit anderen Worten, jeder Athlet besitzt sein individuelles Leistungsprofil, indem beispielsweise mangelndes technisch-taktisches Leistungsvermögen durch hohe Kraft- und/oder Ausdauerleistungen kompensiert werden kann. Es ist jedoch darauf hinzuweisen, dass das schwächste Glied innerhalb der konditionell-technisch-taktischen Voraussetzungen das individuelle Leistungspotenzial determiniert. Dabei sind die Anordnung der in Wechselwirkung zueinanderstehenden leistungsbestimmenden Faktoren sowie die unterschiedlichen Ebenen, z. B. Leistungsvoraussetzungen oder Leistungsvollzug, zu berücksichtigen (Heinisch & Lehmann, 2007; Helm et al., 2019).

Um die Leistungsfähigkeit von Spitzen- und Nachwuchsjudoka im Trainingsprozess nachhaltig zu verbessern, sind wichtige Informationen über Leistungsstrukturmodelle, Anforderungsprofile, die zugrunde liegende sportartspezifische Leistungsstruktur, die abgeleiteten leistungsdiagnostischen Verfahren und Erkenntnisse durch empirisch-experimentelle Untersuchungen unerlässlich. Mit diesen Informationen können Ziele für die Trainingssteuerung definiert, Trainingsprozesse geplant und durchgeführt, Trainingswirkungen kontrolliert und gegebenenfalls neu angepasst werden (Büsch et al., 2016b; Olivier et al., 2016; Seidel, 2017; Schmelcher et al., 2018, Helm et al., 2019). Speziell durch die sportartspezifische Analyse des konditionellen Anforderungsprofils werden wesentliche Erkenntnisse über Belastungen und Beanspruchungen der Judoka gesammelt, sodass gezielte Ableitungen für die Trainingspraxis zur körperlichen Leistungsentwicklung sowie Belastungsverträglichkeit der Athleten¹ ermöglicht werden (Büsch et al., 2016b; Hohmann et al., 2014; Kraemer et al., 2012; Schmelcher et al., 2018; Helm et al., 2019). Zur Erarbeitung einer systematischen Analyse eines sportartspezifischen Anforderungsprofils ist es für Trainingswissenschaftler und Judotrainer unerlässlich, zu wissen, welche metabolischen und muskulären Anforderungen sowie

¹ Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wird auf die gleichzeitige Verwendung männlicher und weiblicher Sprachformen verzichtet. Sofern nicht speziell hervorgehoben, gelten sämtliche Personenbezeichnungen gleichwohl für beide Geschlechter.

sportartspezifischen Verletzungsrisiken in der Zweikampfsportart Judo auftreten (Kraemer et al., 2012; Schmelcher et al., 2018; Helm et al., 2019).

In Bezug auf die Trainingssteuerung wurde die Entwicklung relevanter Diagnostik- und Trainingssysteme in den letzten Jahrzehnten sukzessive vorangetrieben, um die sportliche Leistung der Athleten immer genauer zu bestimmen und weiter zu steigern (Schnabel et al., 2014). Unter Berücksichtigung des Prinzips der Trainingsspezifität orientieren sich diese Verfahren mitunter sehr stark an dem Bewegungsvollzug und der konditionellen Belastung der jeweiligen Sportart bzw. Disziplin (Behm, 1995; Behm & Sale, 1993; Prieske & Granacher, 2019). Beispielsweise stehen für Rennkanuten die Gegenstromanlage sowie für Boxer und Karateka der Schlagmessplatz zur Verfügung (Schnabel et al., 2014).

In der Zweikampfsportart Judo hat die Diagnostik der Anrissbewegung und deren Training zunehmend Aufmerksamkeit von Trainingswissenschaftlern und Judotrainerinnen erhalten (Blais & Trilles, 2006; Blais et al., 2007a; Blais et al., 2007b; Mühlbauer et al., 2014; Helm et al., 2018a). In diesem Kontext steht für die Diagnostik von judospezifischen Anrissbewegungen und deren Training u. a. das neue und innovative Mess- und Informationssystem JERGo[®] zur Verfügung. Eine wichtige Voraussetzung für den Einsatz des JERGo[®]-Systems ist, dass sich anhand der erhobenen kinetischen Parameter bei judospezifischen Anrissbewegungen² valide und reliable Aussagen zu den erhobenen Parametern treffen lassen. Daher ist es aus trainingswissenschaftlicher Sicht unerlässlich, zu wissen, ob das JERGo[®]-System diese Kriterien erfüllt.

Für die Ausführung von sportartbezogenen Bewegungsaufgaben wie beispielsweise von Sprüngen stellen die Rumpfstabilität und die Rumpfkraft wichtige Leistungsvoraussetzungen dar, um den optimalen Transfer von Kräften und Drehmomenten von den unteren Extremitäten über den stabilen Rumpf hin zu den oberen Extremitäten zu ermöglichen (Kibler et al., 2006; Prieske et al., 2016, Helm et al., 2018b). Diesbezüglich postulierten Kibler et al. (2006), dass die proximale Stabilität des Rumpfes eine wichtige Voraussetzung für die distale Mobilität der Extremitäten bei sportlichen Bewegungen darstellt. Dementsprechend zeigten Untersuchungen, dass in einem Simulationsmodell die maximale Sprunghöhe beim Strecksprung mit

² Kinetische Parameter bei judospezifischen Anrissbewegungen (z. B. dynamische Maximalkraft, mechanische Arbeit, Leistung, Explosivkraft), judospezifische Anrisskraft und judospezifische Anrissleistungen werden in dieser vorliegenden Dissertation synonym verwendet.

Ausholbewegung signifikant niedriger ist, wenn die Aktivität des Rückenstreckers aus dem Modell ausgeschlossen wird (Blache & Monteil, 2014; Prieske, 2015). Demzufolge scheint zwischen der Leistungsfähigkeit der Rückenmuskulatur und den Muskeln der unteren Extremitäten ein Zusammenhang zu bestehen (Prieske, 2015). Für die verantwortlichen Trainer und Trainingswissenschaftler ist es somit von großem Interesse, ob diese Beziehungen bei der Durchführung von judospezifischen Anrissbewegungen ausgeprägter sind. Es wird vermutet, dass judospezifische Anrissbewegungen eine größere Rumpfstabilität und Rumpfkraft erfordern.

Im judospezifischen Trainingsprozess besitzt der Trainingspartner eine wichtige Bedeutung, um die technisch-taktischen Fähigkeiten und die Anrisskraft bei judospezifischen Bewegungen zu entwickeln. Aufgrund der notwendigen progressiven Steigerung von Widerständen im Trainingsprozess erfährt das spezifische Krafttraining immer mehr Aufmerksamkeit, um die sportartrelevanten Muskelgruppen zu trainieren und somit die finale Effektivität einer Wurftechnik zu verbessern (Helm et al., 2018a). Bezogen auf die Entwicklung der Anrisskraft gibt es in der fachwissenschaftlichen Literatur (Blais & Trilles, 2006) bereits Belege dafür, dass ein Anrisstraining an einem judospezifischen Krafttrainingsgerät zu Steigerungen der dynamischen Maximalkraft während der Ausführung der Wurftechniken wie beispielsweise *Morote-seoi-nage* führt. Für die Erarbeitung von effektiven Trainingsprogrammen ist es aus trainingswissenschaftlicher Sicht unerlässlich, zu wissen, ob ein Anrisstraining am JERGo[®]-System aufgrund der objektiven Schnell- und Sofortinformation sowie der progressiven Steigerung von Widerständen im Vergleich zu einem Anrisstraining mit Partner zu höheren trainingsinduzierten Leistungssteigerungen führt.

Die wesentliche Zielstellung dieser Arbeit bestand darin, die Leistungsdiagnostik in der Zweikampfsportart Judo zu optimieren und effektivere Trainingsprogramme zur Verbesserung von Anrissbewegungen zu entwickeln. Diese kumulative Dissertation umfasst vier begutachtete Publikationen, die kürzlich in Fachzeitschriften veröffentlicht wurden und sich mit den konditionellen Anforderungen in der Zweikampfsportart Judo, mit der Untersuchung von Testgütekriterien eines innovativen apparativen Messverfahrens (JERGo[®]-Systems) für judospezifische Anrissbewegungen sowie mit der Bedeutung der Rumpfkraft für judospezifische Anrissleistungen befassen. Zusätzlich wurden die Langzeiteffekte eines Anrisstrainings am JERGo[®]-System im Vergleich zu einem Anrisstraining mit Partner auf judospezifische Leistungen bei Anrissbewegungen untersucht.

2 Theoretischer Hintergrund

Die Zweikampfsportart Judo ist aufgrund der Vielzahl von Techniken (Stand-/Bodentechniken) und deren Kombinationen (z. B. Stand zu Boden) sowie der hoch beanspruchend intermittierenden Belastungsphasen eine sehr komplexe und variable, da situative Sportart (Ullrich et al., 2015; Büsch et al., 2016b). Vor diesem Hintergrund benötigt der Judoka ein hochentwickeltes konditionelles Leistungsprofil sowie hervorragend ausgebildete technisch-taktische und psychische Fähigkeiten, um die Wahrscheinlichkeit für den Wettkampferfolg zu erhöhen (Franchini et al., 2014; Ullrich et al., 2015; Helm et al., 2018b). In diesem Kapitel wird ein Überblick über die Charakteristik und die Entwicklungstendenzen der Zweikampfsportart Judo gegeben. Darüber hinaus werden wichtige Voraussetzungen für die Trainingssteuerung im Leistungssport dargestellt. Abschließend werden in diesem Kapitel die Bedeutung der Rumpfkraft für sportliche Bewegungsaufgaben und die Effekte eines judospezifischen Anrisstrainings diskutiert.

2.1 Charakteristik und Entwicklungstendenzen der Zweikampfsportart Judo

Das Kampfziel in der Zweikampfsportart Judo besteht darin, die höchsten Einzel- oder die meisten gleichrangigen technischen Wertungen (d. h. *Waza-ari*, *Ippon*) mittels Wurf-, Griff- und/oder Bodentechniken in Verbindung mit dem Einfluss von Bestrafungen (d. h. *Shido*) zu erzielen (Lames, 1991; International Judo Federation, 2017).

Die reguläre Kampfzeit, in der Techniken zum Einsatz kommen können, beträgt unabhängig vom Geschlecht 4 Minuten (International Judo Federation, 2017). Der Kampf kann vorzeitig beendet werden, wenn der Angreifer einen vollen Punkt (d. h. *Ippon*), beispielsweise durch eine Wurf- oder Bodentechnik bzw. die direkte Disqualifikation des Gegners (d. h. *Hansokumake*) erzielt. Die Wettkampfzeit kann jedoch auch über die 4 Minuten hinausgehen (d. h. *Golden Score*), wenn kein technisches Ergebnis bzw. ein Gleichstand in den technischen Wertungen innerhalb der regulären Kampfzeit erreicht wird (International Judo Federation, 2017). Dabei ist die physiologische Beanspruchung hoch, zumal in Extremfällen mehr als die doppelte Wettkampfzeit erforderlich ist, um einen Sieger zu ermitteln. Insbesondere können dabei die geringere Erholungszeit und die erheblich höhere Beanspruchung des Siegenden gegenüber seinem nächsten Gegner zu großen Nachteilen führen. In Abhängigkeit vom Teilnehmerfeld muss ein Judoka vier bis sieben Kämpfe für sich entscheiden, um eine Medaille zu gewinnen.

Untersuchungen von Franchini et al. (2011) zeigten, dass der Judokampf unabhängig von Geschlecht und Gewichtsklasse durch hoch beanspruchende intermittierende Belastungsphasen von 19 bis 29 Sekunden und Pausenphasen von 7 bis 14 Sekunden gekennzeichnet ist. Unter Berücksichtigung der einzelnen Abschnitte in der Belastungsphase zeigte sich, dass während des Standkampfes die Griffvorbereitung 4 Sekunden und die direkte Griffauseinandersetzung von 16 bis 18 Sekunden andauert. Die anschließende Angriffsaktion, in der die Wurftechnik unter explosiver Muskelaktivierung durchgeführt wird, ist mit 1,0 bis 1,7 Sekunden von kurzer Dauer. Der komplette Bodenkampf nimmt mit 9 bis 17 Sekunden eine lange Dauer ein (Franchini et al., 2013).

Längsschnittanalysen des Instituts für Angewandte Trainingswissenschaft offenbarten für den Männerbereich der Zweikampfsportart Judo seit der Weltmeisterschaft 2009 bis zu den Olympischen Spielen 2016 eine Entwicklung im Kampfverhalten. Diese Entwicklung zeigt sich insbesondere durch eine Erhöhung der durchschnittlichen Kampfzeit um 6,8 % von 3:27 auf 3:42 Minuten und die gleichzeitige Reduzierung der Wertungspunkte pro Minute (WP/min) um 9,1 % von 2,8 auf 2,5 WP/min (Heinisch et al., 2017). Mit anderen Worten, es zeichnet sich ein durchschnittlicher Trend mit deutlicher Abnahme von effektiven Kampfhandlungen (z. B. Wurftechniken) ab. Zudem konnte bei den Olympischen Spielen 2016 ein deutlich aggressiveres und risikobereiteres Kampfverhalten im Vergleich zu den Olympischen Spielen 2012 beobachtet werden. Weiterhin offenbarten Medaillengewinner bei den Olympischen Spielen 2016 im Vergleich zu Nicht-Medaillengewinnern unmittelbare Verbindungen zwischen Fassen und direktem Wurfansatz sowie eine dynamische Kampfführung mit viel Bewegung und permanentem Agieren (Heinisch et al., 2017). Darüber hinaus wurden die technischen Wertungen mit 79 % vor allem im Standkampf und weniger im Bodenkampf (23 %) erzielt (Heinisch et al., 2017). Unter Berücksichtigung des Effektivitätsanteils (d. h. Wertungspunkte pro Angriff) dominieren im Standkampf beidbeinige Eindrehtechniken mit einem prozentualen Anteil von 31 % im Vergleich zu Fuß-/Beintechniken zum gegenüberliegenden Bein (24 %), einbeinigen Eindrehtechniken (13 %) und Fuß-/Beintechniken zum diagonal gegenüberliegenden Bein (12 %) (Heinisch et al., 2017). In Bezug auf die beidbeinigen Eindrehtechniken zeigten Untersuchungen, dass die finale Effektivität und Effizienz einer explosiven Wurftechnik (z. B. *Morote-seoi-nage*) in direkter Beziehung zur erfolgreichen durchgeführten Anrissbewegung mit nachfolgender „Gleichgewichtsbrechung“ des Gegners stehen (Gutierrez et al.,

2009; Imamura et al., 2006; Büsch et al., 2012; Helm et al., 2018a; Helm et al., 2018b; Helm et al., 2018c; Helm et al., 2019).

Aufgrund der Reduzierung der effektiven Kampfhandlungen und der Bedeutung der explosiven Anrissbewegung für die Effektivität und Effizienz von beidbeinigen Eindrehtechniken, besitzen u. a. die Diagnostik der judospezifischen Anrissbewegung und deren Training ein hohes Potenzial für den Judoka. Dadurch können Defizite im Kraft-Weg-Verlauf und in den kinetischen Parametern (z. B. mechanische Arbeit, dynamische Maximalkraft) identifiziert und ableitend daraus entsprechende trainingsmethodische Anpassungen zur Verbesserung von Anrissbewegungen und Wurftechniken vorgenommen werden (Nowoisky, 1997; Möller, 2011a; Mühlbauer et al., 2014).

2.2 Trainingssteuerung im Leistungssport

In der fachwissenschaftlichen Literatur umfasst die Trainingssteuerung die systematische kurz-, mittel- und langfristige Abstimmung und Ausführung aller Maßnahmen der Planung, Durchführung, Kontrolle und Auswertung zur Verbesserung des Leistungszustands unter Berücksichtigung eines konkreten Trainingszieles (Prieske & Granacher, 2019; Hohmann et al., 2014; Hottenrott & Hoos, 2013; Schnabel et al., 2014). Um die Komplexität des zu durchlaufenden Trainingsprozesses darzustellen, hat sich in der Trainingswissenschaft die Modellvorstellung von einem kybernetischen Regelkreis (Abb. 1) etabliert (Hohmann et al., 2014).

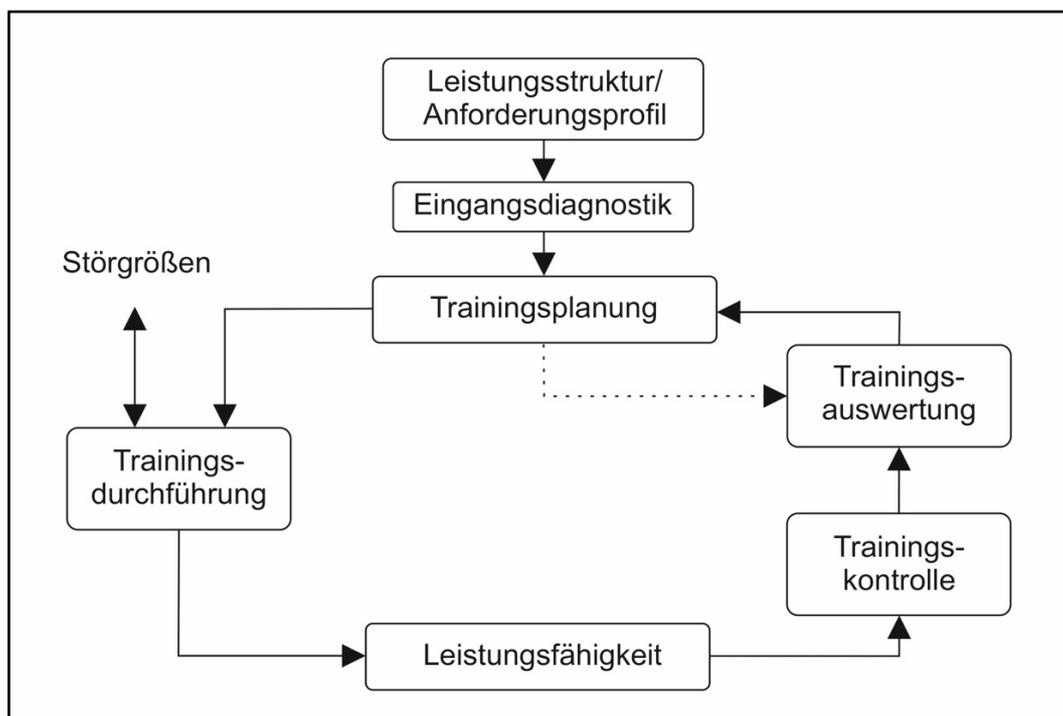


Abbildung 1: Darstellung des Regelkreismodells der Trainingssteuerung (Prieske & Granacher, 2019)

Den Ausgangspunkt der Trainingssteuerung bildet dabei ein sogenanntes Leistungsstrukturmodell, das ein Beziehungsgefüge zwischen den leistungsrelevanten Faktoren darstellt. Mit anderen Worten, das Modell beschreibt, wie die Leistung in einer Sportart bzw. Disziplin strukturiert ist und was passiert, wenn ein oder mehrere Faktoren (z. B. Quantität bzw. Qualität der Muskelmasse, Beweglichkeit) durch Training verändert werden (Büsch et al., 2016b). Insbesondere die Zweikampfsportart Judo und alle anderen „situativen Sportarten“ (z. B. Ringen, Handball) unterliegen dem Primat der Taktik, wobei der Fokus in den Kampfsportarten im Vergleich zu den Spielsportarten auf „eins gegen eins“ und nicht auf „mehrere gegen mehrere“ liegt (Büsch et al., 2017). In Anlehnung an Bussweiler (2011) und Heinisch (2014) wird in Abbildung 2 das für diese Arbeit modulierte Leistungsstrukturmodell für die Zweikampfsportart Judo dargestellt. In dem dreidimensionalen und expertisebasierten Mehrfachkomponentenmodell steht die Wettkampfleistung als Konstrukt der individuellen variablen und gegnerbezogenen Nutzung (Taktik) des vorhandenen Funktionszustandes (z. B. Energiebereitstellung, Körperkompartimente, neuromuskuläre Steuerung) und technischer Elemente (z. B. Angriffs-, Verteidigungshandlungen, Schrittmuster, Auslage) im Mittelpunkt, die zudem durch externe (z. B. Gegner, Trainings- und Wettkampfbedingungen, soziales Umfeld) und interne Faktoren (z. B. psychologische Einflussfaktoren, Gesundheit/Belastungsverträglichkeit, Alter/Trainings- und Wettkampferfahrung) beeinflusst werden.

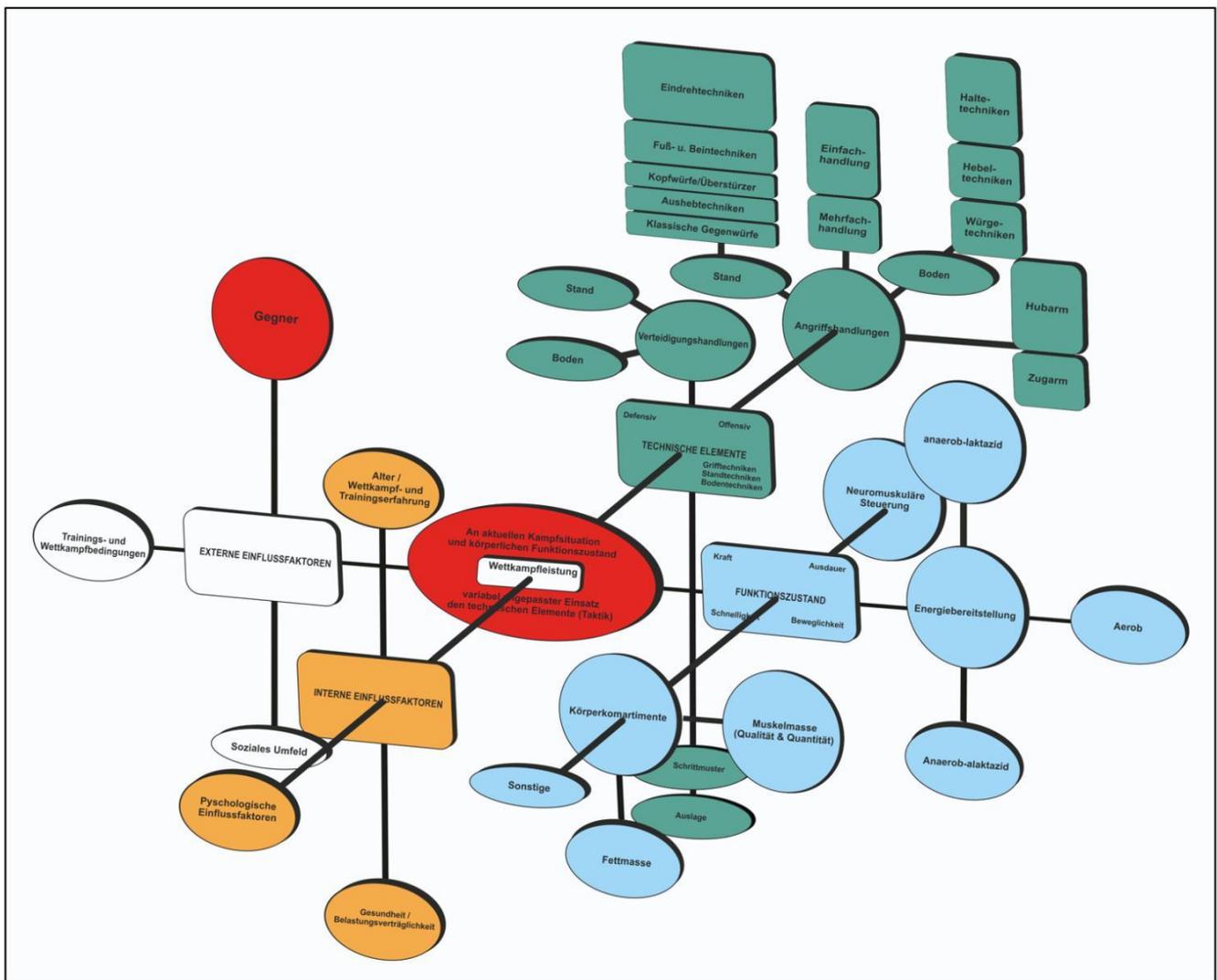


Abbildung 2: Leistungsstrukturmodell der Zweikampfsportart Judo (in Anlehnung an Busweiler, 2011; Heinisch, 2014)

Aufbauend auf dem Leistungsstrukturmodell und der wettkampfspezifischen Leistungsstruktur ist eine systematische Anforderungsanalyse die Grundlage für die Leistungsdiagnostik und eine wichtige Voraussetzung der Trainingssteuerung in einer Sportart bzw. Disziplin. Anhand dieser Erkenntnisse können zu Beginn der Trainingssteuerung Ziele formuliert, der aktuelle Istzustand im Rahmen einer Eingangsdiagnostik erfasst, Trainingsprozesse geplant und durchgeführt, Trainingswirkungen kontrolliert und gegebenenfalls neu angepasst werden (Büsch et al., 2016b; Olivier et al., 2016; Seidel, 2017; Schmelcher et al., 2018; Helm et al., 2019). Speziell durch die sportartspezifische Analyse des konditionellen Anforderungsprofils können wesentliche Erkenntnisse über Belastungen und Beanspruchungen der Athleten gesammelt werden und somit über gezielte Ableitungen für die Trainingspraxis zur körperlichen Leistungsentwicklung sowie Belastungsverträglichkeit der Athleten beitragen (Büsch et al., 2016b; Hohmann et al., 2014; Kraemer et al., 2012; Schmelcher et al., 2018; Helm et al.,

2019). Zu diesem Zweck werden systematisch aus der fachwissenschaftlichen Literatur objektiv erhobene Belastungsparameter (z. B. Zeiten, Strecken, Geschwindigkeiten) und individuelle Beanspruchungsgrößen (z. B. Herzfrequenzen, Laktatkinetik, Anstrengungsempfinden) zu dem Wettkampf und dem Training herausgearbeitet und analysiert (Hohmann et al., 2014; Büsch et al., 2014; Bourdon et al., 2017; Foster et al., 2017; Schmelcher et al., 2018; Helm et al., 2019). In diesem Zusammenhang empfehlen Kraemer et al. (2012) die Betrachtung der folgenden drei Kernthemen im Rahmen der systematischen Analyse eines sportartspezifischen Anforderungsprofils: 1) die metabolischen Anforderungen (z. B. dominierende Energiebereitstellungsprozesse), 2) die muskulären Anforderungen (z. B. primär eingesetzte Muskelgruppen und -aktionsformen) und 3) die sportartspezifischen Verletzungsrisiken (z. B. Verletzungsprävalenz und -lokalisierung) (Schmelcher et al., 2018; Helm et al., 2019).

Bereits Schmelcher et al. (2018) und Chaabene et al. (2019) haben in Anlehnung an Kraemer et al. (2012) eine konditionelle Anforderungsanalyse unter Berücksichtigung der metabolischen und muskulären Anforderungen sowie sportartspezifischen Verletzungsrisiken im Boxen bzw. Karate *Kumite* erarbeitet und ableitend daraus Handlungsempfehlungen für die Trainingspraxis erstellt. In Bezug auf die Zweikampfsportart Judo fehlen trotz der beschriebenen Erkenntnisse über die Charakteristik und Entwicklungstendenzen sowie des dargestellten sportartspezifischen Leistungsstrukturmodells systematisch erarbeitete, evidenzbasierende Richtlinien für die sportartspezifische Diagnostik und das Training von Judoka. Vom trainingswissenschaftlichen Standpunkt ist daher die Erarbeitung einer systematischen Analyse des konditionellen Anforderungsprofils zwingend notwendig, um die sportartspezifische Leistungsdiagnostik zu optimieren und Trainingsprogramme zielgerichteter und effektiver zu gestalten. Dies trägt wiederum zur Verbesserung der Leistungsfähigkeit und der Belastungsverträglichkeit der Judoka im Spitzen- und Nachwuchssport bei.

Im Rahmen der Trainingssteuerung stehen dem Trainingswissenschaftler und Trainer für die Auswertung des Trainings Informationswege aus leistungsdiagnostisch erhobenen Parametern und der Trainingsprotokollierung zu Verfügung (Prieske & Granacher, 2019; Hohmann et al., 2014). Aufgrund des Erkenntnisgewinns zur individuellen Entwicklung der Leistungsfähigkeit der Athleten wie beispielsweise anhand von Stärken-Schwächen-Profilen besitzt die Leistungsdiagnostik in der Trainingssteuerung eine hoch relevante Bedeutung (Prieske & Granacher, 2019). Insbesondere im Leistungssport werden vielfältige diagnostische Verfahren angewendet, die beispielsweise leistungsphysiologische, biochemische, biomechanische

und sportmotorische Parameter einbeziehen (Hottenrott & Host, 2013; Prieske & Granacher, 2019). Unter Berücksichtigung des Prinzips der Trainingsspezifität orientieren sich diese Verfahren mitunter sehr stark an dem Bewegungsvollzug und der konditionellen Belastung der jeweiligen Sportart bzw. Disziplin (Behm, 1995; Behm & Sale, 1993; Prieske & Granacher, 2019).

In der Zweikampfsportart Judo wurden vor dem Hintergrund der Sportartspezifik und der Bedeutung der erfolgreich durchgeführten Anrissbewegung für die finale Effektivität von Wurftechniken (Gutierrez et al., 2009; Imamura et al., 2006; Büsch et al., 2012; Helm et al., 2018a; Helm et al., 2018b; Helm et al., 2018c; Helm et al., 2019) in den letzten Jahren Systeme für die Diagnostik von judospezifischen Anrissbewegungen und deren Training entwickelt (Blais et al., 2007b; Möller, 2011a, Mühlbauer et al., 2014). In diesem Zusammenhang berichteten Blais und Kollegen (2007b) über ein stationäres judospezifisches Krafttrainingsgerät zur Optimierung der AnE (d. h. *Morote-seoi-nage*). Die Einstellung des Widerstandes kann dabei an dem modifizierten Seilzugapparat anhand von Gewichtsplatten sowohl höher als auch niedriger gewählt werden.

Ein neues und innovatives System für Diagnostik und Training von kinetischen Parametern bei judospezifischen Anrissbewegungen stellt das in Zusammenarbeit des Instituts für Forschung und Entwicklung von Sportgeräten und der Universität Potsdam entwickelte Mess- und Informationssystem JERGo[®] (Abb. 3) dar.

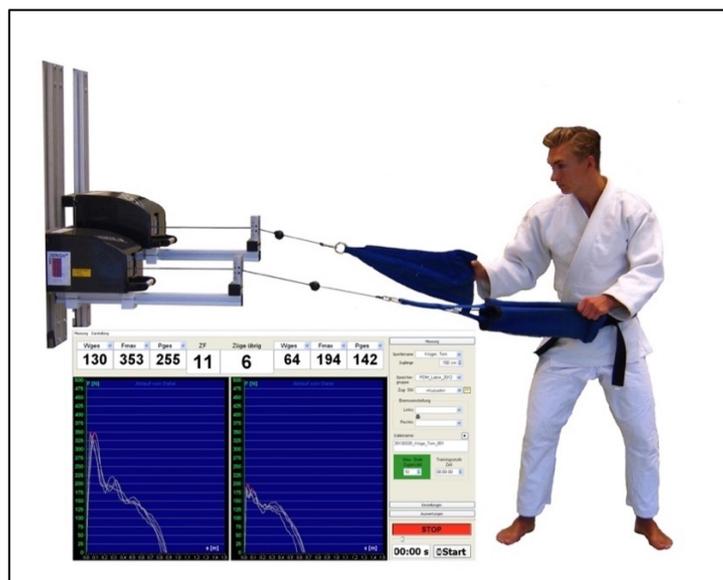


Abbildung 3: Mess- und Informationssystem JERGo[®] mit Echtzeitdarstellung der kinetischen Parameter (z. B. mechanische Arbeit, dynamische Maximalkraft) und Kraft-Weg-Verläufe für den Hub- (rechte Darstellung) und Zugarm (linke Darstellung) während wiederholter judospezifischer Anrissbewegung im Stand

Im Vergleich zu dem verwendeten judospezifischen Krafttrainingsgerät in den Studien von Blais & Trilles (2006) und Blais et al. (2007a, 2007b) ist das JERGo[®]-System in der Lage, ergebnis- (kinetische Parameter) und verlaufsbezogene (Kraft-Weg-Verläufe) Echtzeitinformationen während der Anrissbewegung im Stand (AnS) und Anriss- mit Eindrehbewegung (AnE) von dem Hub- und Zugarm darzustellen (Helm et al., 2018c). Darüber hinaus ist das System mobil einsetzbar und lässt sich in judospezifischen Trainingsstätten (d. h. *Dojo's*) schnell arretieren sowie aufgrund seiner Benutzerfreundlichkeit sehr leicht über einen PC bedienen (Helm et al., 2018c). Zudem kann die Widerstands- und Höheneinstellung des JERGo[®]-Systems für jeden Athleten individuell anhand der entsprechenden Gewichtsklasse und Körperhöhe angepasst werden (Helm et al., 2018c). In einer vorigen Pilotstudie konnten ersten Hinweise auf die Test-Retest-Reliabilität des JERGo[®]-Systems beobachtet werden (Möller, 2011a). Die Ergebnisse deuten für die kinetischen Parameter (u. a. Zeit, Weg, dynamische Maximalkraft) während AnS und AnE auf eine ausreichende bis gute Reproduzierbarkeit hin (Intraklassen-Korrelationskoeffizient³ [ICC]: $0,60 \leq ICC \leq 0,72$). Eine wesentliche Voraussetzung für den Einsatz des JERGo[®]-Systems in der Trainingspraxis ist, dass sich umfassende valide und reliable Aussagen zu den erhobenen Parametern treffen lassen (Chaabene et al., 2018). Aus trainingswissenschaftlicher Sicht ist es daher unerlässlich, zu wissen, ob das JERGo[®]-Systems diese Kriterien erfüllt.

Neben den sportartspezifischen kommen auch sportartunspezifische apparative Testverfahren im Trainingsprozess zum Einsatz, wobei sich die isokinetische Dynamometrie aufgrund der Erfassung von validen und reliablen Messwerten in der Leistungsdiagnostik etabliert hat (Mueller et al., 2012; Prieske et al., 2014; Prieske & Granacher, 2019). Exemplarisch kann eine spezifische Diagnostik das Verhältnis der Rumpfflexoren und -extensoren bzw. der Rumpffrotatoren zur linken und rechten Seite über Leistungsreserven und Verletzungsrisiken darstellen. Gegenüber den apparativen Testverfahren können jedoch sportmotorische Tests mit deutlich geringerem materiellem Aufwand durchgeführt werden, weshalb sich die Anwendung auch in der Trainingspraxis bewährt hat (Prieske & Granacher, 2019). In diesem Zusammenhang sind im Judo beispielsweise das Einer-Wiederholungs-Maximum beim Liegend-Anreißen und die maximale Anzahl ohne Zusatzlast beim Klimmziehen Bestandteile der

³Laut Fleiss (1986) entspricht ein ICC < 0,40 einer schlechten, ein ICC zwischen 0,40 bis 0,75 einer guten und ein ICC > 0,75 einer ausgezeichneten Übereinstimmung.

Testbatterie der Rahmentrainingskonzeption des Deutschen Judo-Bundes e. V. (Deutscher Judo-Bund, 2013).

2.3 Bedeutung der Rumpfkraft für sportartbezogene Bewegungsaufgaben

Für die effektive und zielgerichtete Trainingssteuerung im Leistungssport besitzen empirisch-experimentelle Querschnitt- und insbesondere Längsschnittstudien eine hohe Relevanz (Büsch et al., 2016b). Anhand dieser Erkenntnisse können Leistungsstrukturmodelle, Anforderungsanalysen und leistungsdiagnostische Messverfahren weiterentwickelt sowie die Wirkungen von Trainingsinterventionen besser abgeschätzt werden (Helm et al., 2019).

Während der letzten Jahre stand der Begriff Rumpf (engl. „core“) hinsichtlich der Voraussetzung zur Verbesserung von sportlichen Leistungen stark im Fokus (Prieske, 2015; Prieske et al., 2016). In der Literatur wird der Rumpf als ein muskuläres Korsett beschrieben, das ventral durch die Abdominal-Muskulatur, dorsal durch die paraspinale und gluteale Muskulatur, kranial durch das Zwerchfell und kaudal durch den Beckenboden und die Hüftmuskulatur begrenzt ist (Akuthota et al., 2008; Prieske et al., 2015; Büsch et al., 2016a). Es wird davon ausgegangen, dass der Rumpf bei der Übertragung von Kräften und Drehmomenten von den unteren hin zu den oberen Extremitäten eine zentrale Rolle einnimmt (Kibler et al., 2006; Prieske, 2015; Prieske et al., 2016).

Vor diesem Hintergrund gibt es eine Vielzahl von Studien, in denen die Bedeutung der Rumpfkraft für sportliche Bewegungsaufgaben untersucht wurde (Nesser et al., 2008; Sharrock et al., 2011; Hoppe et al., 2015; Prieske et al., 2016). Beispielsweise konnten Nesser et al. (2008) signifikante kleine Zusammenhänge (Korrelation nach Pearson⁴ [r]: $0,37 \leq r \leq 0,45$) zwischen den Leistungen in einem submaximalen isometrischen Rumpfkrafttest und dem Einer-Wiederholungs-Maximum im Bankdrücken bei männlichen College-Footballern beobachten. Im Gegensatz dazu konnten Hoppe et al. (2015) keine signifikanten kleinen Korrelationen (Bestwert: $r = 0,60$) zwischen submaximalen dynamischen Rumpfkraftausdauer-tests und dem Einer-Wiederholungs-Maximum im Bankdrücken bei männlichen Spitzenathleten im Rollhockey feststellen. Auch Sharrock et al. (2011) berichteten über signifikante kleine Beziehungen

⁴Die Bestimmung der Magnitude der Produkt-Moment-Korrelation nach Pearson wurde in dieser Arbeit nach Vincent und Weir (2012) festgelegt, wobei ein kleiner Zusammenhang bei $r < 0,7$ und ein mittlerer Zusammenhang zwischen $0,7 \leq r < 0,9$ sowie ein großer Zusammenhang bei $r \geq 0,9$ vorliegt.

($-0,39 \leq r \leq -0,53$) zwischen der Leistung im submaximalen dynamischen Rumpfkraftmuskel-dauertest und dem Medizinballwurf bei Nachwuchsathleten.

In einem systematischen Literaturüberblick mit Metaanalyse berichteten Prieske et al. (2016) über signifikante, aber nur kleine Zusammenhänge ($-0,05 \leq r \leq 0,18$) zwischen der Rumpfkraft und sportbezogenen Bewegungsaufgaben wie beispielsweise bei Sprüngen. Die Autoren (Prieske et al., 2016) weisen jedoch darauf hin, dass die Rumpfkraft in den meisten inkludierten Studien submaximal statisch und nicht maximal dynamisch gemessen wurde. In Bezug auf die Diagnostik soll jedoch der sportartspezifische Bewegungsvollzug berücksichtigt werden, der insbesondere in der Zweikampfsportart Judo hochdynamischen und explosiven Bewegungsaktionen unterliegt (Prieske et al., 2016). Zudem wurden in vielen Untersuchungen u. a. sportartunspezifische, motorische Tests der oberen Extremitäten (z. B. Einer-Wiederholungs-Maximum beim Bankdrücken) absolviert. Im Gegensatz dazu wird die Ausführung von judospezifischen Anrissbewegungen durch viele kinetische Ketten realisiert, die eine koordinative Aktivierung von Körpersegmenten erfordern, um eine möglichst hohe Geschwindigkeit zum optimalen Zeitpunkt zu erzielen (Prieske et al., 2016). Des Weiteren ist bekannt, dass Anrissbewegungen zur Gleichgewichtsbrechung des Gegners in jedem judospezifischen Training und Wettkampf durchgeführt werden und somit hoch automatisierte Bewegungsabläufe darstellen (Franchini et al., 2014; Helm et al., 2018b). Dabei kommt es aufgrund der judospezifischen Wettkampfstruktur zu schnellkräftigen Beanspruchungen der an der Anrissbewegung beteiligten Muskelgruppen (Helm et al., 2018b).

Für Heinisch et al. (2012) stellt u. a. auch die Rumpfkraft eine bedeutende Leistungsvoraussetzung in der Zweikampfsportart Judo dar, um eine technische Wertung zu erzielen bzw. Angriffe des Gegners durch beispielsweise Blocken zu verteidigen (Helm et al., 2018b). In diesem Zusammenhang zeigte sich der Beitrag der Rumpfmuskulatur zur sportartspezifischen Leistung in der Zweikampfsportart Judo in einer Studie von Blais et al. (2007a). Hierfür wurden Bewegungsanteile der Hauptgelenke und -segmente bei der Ausführung von Anrissbewegungen durch dreidimensionale Bewegungsanalysen unter Verwendung eines judospezifischen Krafttrainingsgeräts, von Kraftsensoren und synchronisierten Infrarotkameras untersucht (Helm et al., 2018b). Die Studie ergab, dass die prozentualen Anteile der Drehmomente bei der AnS vor allem durch die unteren Extremitäten (Kniegelenk: ca. 26 %, Hüftgelenk ca. 30 %) sowie den Rumpf (ca. 27 %) und weniger durch die oberen Extremitäten (Schulter-, Ellenbogen- und Handgelenk ca. 11 %) realisiert werden. Weiterhin konnte bei der

Betrachtung der einzelnen Wurfphasen festgestellt werden, dass der Rumpf während der AnE (*Morote-seoi-nage*) mit ca. 30 % einen höheren prozentualen Bewegungsanteil im Vergleich zur AnS (ca. 27 %) aufweist (Blais et al., 2007a; Helm et al., 2018b; Helm et al., 2019).

Unter Berücksichtigung des Prinzips der Trainingspezifität ergeben sich in der trainingswissenschaftlichen Literatur erhebliche Defizite in der methodischen Vorgehensweise bei der Anwendung diagnostischer Testverfahren zur Bestimmung der Rumpfkraft, die sich auf die heterogenen Intensitäten und Muskelaktionsformen zwischen den Rumpfkrafttests (submaximal isometrisch, submaximal dynamisch) und dem sportartspezifischen Bewegungsvollzug (maximal dynamisch) beziehen. Vor dem Hintergrund der Bedeutung des Rumpfs für die Zweikampfsportart Judo ist es aus trainingswissenschaftlicher Sicht unerlässlich, zu wissen, ob aussagekräftige Beziehungen zwischen maximal-schnellkräftigen, dynamischen Rumpfkrafttests und judospezifischen Anrissbewegungen bestehen. Diese Ergebnisse bilden die Grundlage für weiterführende Untersuchungen zu Langzeiteffekten von einem allgemeinen Rumpfkrafttraining unter maximal-schnellkräftiger Muskelaktivierung auf judo-spezifische Anrissleistungen bei Anrissbewegungen (d. h. Ursache-Wirkungs-Beziehungen).

2.4 Effekte eines judospezifischen Anrisstrainings

In der Zweikampfsportart Judo ist das Kampfverhalten durch hochdynamische und explosive Bewegungsaktionen gekennzeichnet (Helm et al., 2019). Daher zeigt die optimale Kraftproduktion für judospezifische Anrissbewegungen eine hohe Relevanz (Callister et al., 1991; Drid et al., 2015; Mühlbauer et al., 2014; Helm et al., 2018a). Aufgrund der Massenträgheit des Gegners ist es aus kinetischer Sicht entscheidend, dass der Angreifer während der Anrissbewegung einen steilen Kraftanstieg und ein hohes Kraftmaximum generiert (Drid et al., 2015; Callister et al., 1991; Helm et al.,). Dadurch wird der Gegner schneller und stärker aus dem Gleichgewicht gebracht, wodurch sich gleichzeitig die Zeit für den Gegner verringert, um Verteidigungshandlungen (z. B. Blocken, Übersteigen) einzuleiten (Helm et al., 2019). Untersuchungen zur Kraftproduktion zeigten, dass größere Kräfte bzw. Drehmomente bei gleicher Gelenkwinkelstellung mit höheren Muskelaktivitäten (z. B. von Schulter- oder Rumpfmuskulatur) einhergehen können (Lauresen et al., 1998; Hansen & Anders, 2016; Helm et al., 2018a). Demzufolge könnte ein sportartspezifisches Krafttraining beim Vollzug von Anrissbewegungen die judospezifische Anrisskraft (z. B. für eine effizientere Gleichgewichtsbrechung des

Gegners) und die neuromuskuläre Aktivierungsstrategien während der Anrissbewegung verbessern (Helm et al., 2018a).

Vor diesem Hintergrund findet in der Trainingspraxis von Judoka neben einem allgemeinen auch ein spezifisches Krafttraining Anwendung, um die judospezifischen Anrissbewegungen und das wurftechnische Leistungsniveau der Athleten zu verbessern (Blais & Trilles, 2006; Möller et al., 2011b; Helm et al., 2018a). Auch der traditionelle Trainingspartner spielt im judospezifischen Trainingsprozess eine entscheidende Rolle, um die technisch-taktischen Fähigkeiten und die Anrisskraft zu verbessern. In Bezug auf die Entwicklung der Anrisskraft bei Anrissbewegungen besitzt ein judospezifisches Krafttrainingsgerät gegenüber einem traditionellen Trainingspartner aufgrund der notwendigen progressiven Steigerung von Widerständen im Trainingsprozess deutliche Vorteile. So untersuchten beispielsweise Blais und Trilles (2006) die Effekte eines Anrisstrainings an einem judospezifischen Krafttrainingsgerät (2 x/Woche) auf den Parameter dynamische Maximalkraft während AnE bei 20 männlichen, angehenden Judotrainern (schwarzer Gürtel, mindestens 2. Dan) (Helm et al., 2018a). Die Interventionsgruppe (Alter: 22 ± 4 Jahre) konnte nach einem zehnwöchigen Anrisstraining an einem judospezifischen Krafttrainingsgerät signifikant größere dynamische Maximalkräfte bei den Wurftechniken *Morote-seoi-nage* ($d^5 = 1,00$) und *O-soto-gari* ($d = 6,13$) überwinden, während die passive Kontrollgruppe (Alter: 23 ± 2 Jahre) keine signifikanten Steigerungen erzielte (Helm et al., 2018a). Zudem konnte anhand einer subjektiven Bewertung (Skala: 1 bis 20 Punkte) von Technikexperten des französischen Judo-Verbandes lediglich in der Interventionsgruppe eine signifikante Verbesserung der Wurfqualität während der Ausführung beider Techniken ($0,52 \leq d \leq 1,19$) beobachtet werden (Helm et al., 2018a).

Bereits in Untersuchungen von Möller et al. (2011b) wurde das innovative JERGo[®]-System zur Diagnostik von kinetischen Parametern und Kraft-Zeit-Verläufen von judospezifischen Anrissbewegungen im Rahmen eines technikorientierten Anrisstrainings zur Verbesserung der Anrisskraft eingesetzt. Die Ergebnisse der am JERGo[®]-System erhobenen Kennwerte zeigten, dass ein vierwöchiges Anrisstraining (2 x/Woche) an einem Seilzugsystem zusätzlich zu einem regulären, allgemeinen und judospezifischen Training zu qualitativ verbesserten Kraft-Zeit-Verläufen am JERGo[®]-System (z. B. höhere Kraftspitzen und Bewegungs-

⁵ In dieser Arbeit wurde die Effektgröße nach Cohen (d) verwendet, um das Maß zur Abschätzung der praktischen Relevanz eines Unterschiedes bzw. Trainingseffektes zu bestimmen. Nach Cohen (1988) entspricht $d < 0,5$ einen kleinen Effekt, $0,5 \leq d \leq 0,8$ einen mittleren und $d \geq 0,8$ einen großen Effekt.

geschwindigkeiten) gegenüber einer aktiven Kontrollgruppe (nur reguläres allgemeines und judo-spezifisches Training) mit 15 männlichen Spitzen- (Olympia-, Perspektivkader) und Nachwuchsjudoka (Nachwuchskader II und Landeskader) führte (Helm et al., 2018a).

In der Literatur gibt es bisher keine Nachweise, ob ein kontinuierliches Anrisstraining am innovativen JERGo®-System im Vergleich zu einem tradierten Anrisstraining mit Partner eine Überlegenheit von kinetischen und elektromyografischen Parametern sowie von Kennwerten sportmotorischer Tests besitzt. Diese Erkenntnisse sind für Trainingswissenschaftler und Judotrainer hoch relevant, um Trainingsprogramme effektiver und zielgerichteter zu gestalten.

3 Forschungsfragen

Basierend auf der vorherigen Einführung zum theoretischen Hintergrund (Kapitel 2) werden im folgenden Kapitel die Forschungsdefizite dargestellt und darauf aufbauend die jeweiligen Forschungsfragen der vier Publikationen (I bis IV) hergeleitet. Die Beantwortung dieser Fragestellungen trägt möglicherweise dazu bei, die judospezifische Leistungsdiagnostik zu optimieren und Trainingsprogramme zielgerichteter und effektiver zu gestalten.

Deduktion 1

In der Trainingswissenschaft ist die Erarbeitung einer systematischen Analyse des konditionellen Anforderungsprofils einer Sportart bzw. Disziplin weit verbreitet, bildet die Grundlage für die Leistungsdiagnostik und ist ein wichtiger Bestandteil der Trainingssteuerung. In Anlehnung an Kraemer et al. (2012) fehlen derzeit evidenzbasierte Richtlinien für die sportartspezifische Diagnostik und das Training von Judoka.

Forschungsfrage 1

Welche metabolischen und muskulären Anforderungen dominieren in der Zweikampfsportart Judo und welche sportartspezifischen Verletzungsrisiken können auftreten? Welche sportartspezifischen Messverfahren und Trainingsempfehlungen lassen sich aus dem beschriebenen Anforderungsprofil ableiten?

Deduktion 2

Die Anrissbewegung besitzt eine entscheidende Bedeutung für die finale Effektivität von beidbeinigen Eindrehtechniken. Mit dem neuen und innovativen JERGo[®]-System können kinetische Parameter bei judospezifischen Anrissbewegungen bestimmt werden. Derzeit gibt es jedoch noch keine ausreichenden Nachweise hinsichtlich der Validität und Reliabilität der am JERGo[®]-System erhobenen kinetischen Parameter für judospezifische Anrissbewegungen.

Forschungsfrage 2

Können die am JERGo[®]-System erhobenen kinetischen Parameter bei judospezifischen Anrissbewegungen in Bezug auf die diskriminierende Validität und Test-Retest-Reliabilität sowie ökologische Validität als akzeptabel eingestuft werden (Publikation II)?

Deduktion 3

Die Bedeutung der Rumpfkraft für sportliche Bewegungsaufgaben ist bisher noch unzureichend geklärt. Unter Berücksichtigung des Prinzips der Trainingsspezifität zeigen sich in der Literatur Schwächen in der methodischen Vorgehensweise bei der Bestimmung der Rumpfkraft, die sich auf die heterogenen Intensitäten und Muskelaktionsformen zwischen den Rumpfkrafttests (submaximal isometrisch, submaximal dynamisch) und dem sportartspezifischen Bewegungsvollzug (explosive dynamisch) beziehen. Daher bestehen in der Literatur noch Forschungsdefizite über Zusammenhänge zwischen der explosiv-dynamischen Rumpfkraft und den explosiv-dynamischen Anrissbewegungen.

Forschungsfrage 3

Zeigen sich signifikante und bedeutende Zusammenhänge zwischen explosiven isokinetischen Drehmomentparameter der Rumpfflexoren, -extensoren, -rotatoren und kinetischen Parametern bei judospezifischen Anrissbewegungen (Publikation III)?

Deduktion 4

In der Literatur bestehen derzeit keine Belege über die Wirkung eines Anrisstrainings unter Verwendung des JERGo[®]-System als Trainingsgerät. Zudem ist die Beachtung eines Trainingspartners für die Entwicklung der judospezifischen Anrisskraft bisher nicht wissenschaftlich nachgewiesen. Vor diesem Hintergrund bestehen noch Forschungsdefizite in der Literatur, die insbesondere die Effekte eines Anrisstrainings am JERGo[®]-System im Vergleich zu einem Anrisstraining mit Partner untersucht.

Forschungsfrage 4

Können durch ein Anrisstraining am JERGo[®]-System gegenüber einem Anrisstraining mit Partner höhere Leistungssteigerungen von kinetischen und elektromyografischen Parametern bei Anrissbewegungen sowie von Kennwerten sportartmotorischer Tests erzielt werden (Publikation IV)?

Zur Beantwortung der aufgestellten Forschungsfragen wurde eine systematische Analyse des konditionellen Anforderungsprofils in der Zweikampfsportart Judo erarbeitet (Publikation I). Daraus ableitend wurden die am JERGo[®]-System erhobenen kinetischen Parameter bei judospezifischen Anrissbewegungen in Publikation II auf Testgütekriterien überprüft. Basierend auf der Anforderungsanalyse der Publikation I und den Ergebnissen der Publikation II wurde in Publikation III der Zusammenhang zwischen der Rumpfkraft und den am JERGo[®]-System erhobenen kinetischen Parametern bei Anrissbewegungen analysiert. In Publikation IV wurde das JERGo[®]-System hinsichtlich seiner Wirksamkeit im Vergleich zu einem Partner untersucht. Die Erkenntnisse aus den Publikationen II bis IV tragen dazu bei, die systematische Analyse des konditionellen Anforderungsprofils der Zweikampfsportart Judo weiter zu qualifizieren. Die vorliegende kumulative Dissertation umfasst eine systematische Literaturrecherche in einem Überblicksbeitrag sowie in zwei Querschnittstudien und einer Längsschnittstudie, die im Text nach den folgenden jeweiligen römischen Nummern zitiert werden:

- I Helm, N., Prieske, O., Chaabene, H., Büsch, D., Heinisch, H. D. & Granacher, U. (2019). **Systematische Analyse des konditionellen Anforderungsprofils in der Zweikampfsportart Judo.** *Leistungssport* 49 (5), 17–22.
- II Helm, N., Prieske, O., Muehlbauer, T., Krüger, T., Chaabene, H. & Granacher, U. (2018). **Validation of A New Judo-Specific Ergometer System in Male Elite and Sub-Elite Athletes.** *Journal of Sport Science and Medicine* 17 (3), 465–475.
- III Helm, N., Prieske, O., Muehlbauer, T., Krüger, T., Matthias Retzlaff & Granacher, U. (2018). **Assoziationen zwischen der Rumpfkraft und judospezifischen Anrissleistungen von Judoka.** *Sportverletzung Sportschaden*. doi: 10.1055/a-0677-9608, Epub ahead of print.
- IV Helm, N., Prieske, O., Muehlbauer, T., Krüger, T. & Granacher, U. (2018). **Effekte eines Messplatztrainings am JERGo[®]-System auf kinetische und elektromyographische Parameter des Anreißens bei Wurfeingangsbewegungen von Judoka.** *Sportverletzung Sportschaden* 32 (2), 134–142.

Die Ergebnisse dieser Studien können dazu beitragen, die judospezifische Leistungsdiagnostik zu optimieren und Trainingsprogramme zielgerichteter und effektiver zu gestalten. Dies trägt wiederum zur Verbesserung der Leistungsfähigkeit und Belastungsverträglichkeit von Spitzen- und Nachwuchsjudoka bei (Helm et al., 2019). Abbildung 4 gibt einen schematischen Überblick über die vier Publikationen der vorliegenden Arbeit mit den wesentlichen Zielstellungen.

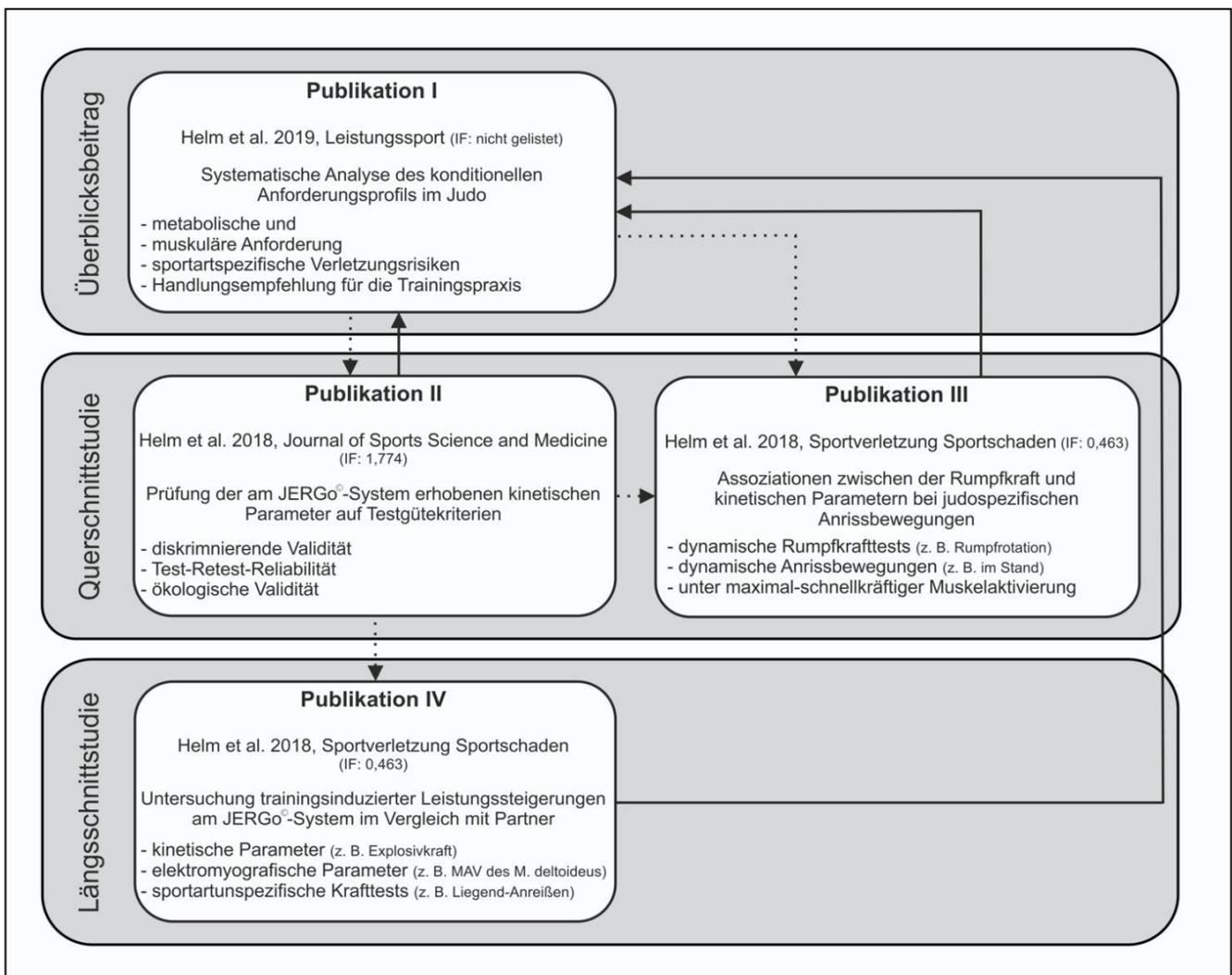


Abbildung 4: Schematischer Überblick über die vier Publikationen mit kurzer inhaltlicher Zielstellung. Es bauen die Publikationen I bis IV aufeinander auf, indem erst ein Überichtsbeitrag (Publikation I) und anschließend ein Querschnitt- (Publikation II und III) sowie ein Längsschnittdesign (Publikation IV) verwendet wurde. IF = Einflussfaktor (engl. „*impect factor*“), MAV = mittlere Muskelaktivität (engl. „*mean amplitude voltage*“)

4 Zusammenfassende Darstellung der Methoden

Der folgende methodische Überblick stellt eine kurze Zusammenfassung über die durchgeführte systematische Literaturrecherche sowie die verwendeten Probanden, Messapparaturen, Test- und Trainingspartner, Trainingsintervention und statistischen Analysen der Experimentalstudien dar. Dieser methodische Ansatz wurde speziell zur Untersuchung der bereits formulierten Forschungshypothesen ausgewählt. Im Anhang sind weitere Informationen zu den verwendeten Materialien und Methoden zu finden (siehe Publikation II bis IV).

4.1 Systematische Literaturrecherche

Zur Erarbeitung des judospezifischen Anforderungsprofils (Publikation I) wurde unter konditioneller Berücksichtigung eine systematische Literaturrecherche in den Datenbanken PubMed und Web of Science durchgeführt. Darüber hinaus wurden die Sportrechercheportale des Bundesinstituts für Sportwissenschaft (SURF) und des Instituts für Angewandte Trainingswissenschaft (IAT) Leipzig (SPONET) für primär deutschsprachige fachwissenschaftliche Literatur verwendet.

4.2 Probanden

Insgesamt waren an den drei Experimentalstudien 86 männliche Judoka beteiligt. Alle Studienteilnehmer, d. h. Spitzen- und Nachwuchsathleten mit internationalem Leistungsniveau sowie leistungsorientierte Athleten mit nationalem Leistungsniveau, nahmen an den vom Deutschen Judo-Bund vorgeschriebenen medizinischen Jahresgrunduntersuchungen teil, waren gesund und wiesen keine muskuloskelettalen, neurologischen und orthopädischen Vorerkrankungen auf. Die Studien wurden gemäß den ethischen Anforderungen der Deklaration von Helsinki geplant und durchgeführt. Alle Probanden gaben vor Studienbeginn eine schriftliche Einverständniserklärung zu den jeweiligen Studienprotokollen. Zusätzliche Beschreibungen zu den Studienteilnehmern sind in dem Abschnitt Methodik (engl. „*methods*“) der jeweiligen Originalarbeit zu finden (siehe Publikation II bis IV).

4.3 Messapparaturen

Die Untersuchungen wurden nach einem standardisierten Protokoll im trainings- und bewegungswissenschaftlichen Labor der Universität Potsdam, im Olympischen und Paralympischen Trainingszentrum für Deutschland (Kienbaum) sowie in der Trainingshalle (d. h. *Dojo*) der Judoka am Olympiastützpunkt Brandenburg (Standort Potsdam) durchgeführt. Die

Messungen umfassten die Bestimmung von kinetischen und elektromyografischen Parametern bei explosiver AnS und AnE sowie von isokinetischen Rumpfkraftparametern während explosiver Rumpfflexion, -extension und -rotation. Zudem wurden sportartunspezifische Kraftwerte mithilfe der Testübungen Liegend-Anreißen und Klimmziehen durchgeführt. Alle Probanden absolvierten vor jeder Messung ein standardisiertes allgemeines und spezifisches Aufwärmprogramm.

4.3.1 Mess- und Informationssystem JERGo®

Zur Erfassung kinetischer Parameter bei Anrissbewegungen wurde das Mess- und Informationssystem JERGo® (FES®, Berlin, Deutschland) eingesetzt. Alle Studienteilnehmer absolvierten AnS und AnE in der spezifischen Kampfauslage. Das gesamte Probandenkollektiv bevorzugte bei allen Messungen der AnE die beidbeinige Wurftechnik *Morote-seoi-nage*. Die Widerstands- und Höheneinstellung des JERGo®-Systems erfolgte für jeden Athleten individuell anhand der entsprechenden Gewichtsklasse und Körperhöhe. Die Athleten absolvierten sechs bis zehn AnS und AnE. In die Auswertung gelangten je nach Studie der Mittelwert aus fünf bzw. der Bestwert aus fünf oder acht Wertungsversuchen. Als abhängige Variablen wurden die kinetischen Parameter mechanische Arbeit, dynamische Maximalkraft, Explosivkraft und Leistung getrennt nach Arm (Hub- vs. Zugarm) und Ausführungsbedingung (AnS vs. AnE) erhoben. Detaillierte Informationen zu dem JERGo®-System und dem Testprozedere sind dem Appendix zu entnehmen (siehe Publikation II bis IV) (Helm et al., 2018a; Helm et al. 2018b; Helm et al., 2018c).

4.3.2 Isokinetisches Mess- und Trainingssystem

Zur Bestimmung der Rumpfkraft wurden maximale isokinetische Drehmomentparameter der Rumpfflexoren, -extensoren und -rotatoren mit einem isokinetischen Mess- und Trainingssystem (IsoMed 2000®, D&R Ferstl GmbH, Hemau, Deutschland) erhoben. Für die Messung der maximalen isokinetischen Drehmomentparameter bei Rumpfflexion und -extension wurden die Athleten individuell auf dem externen Backmodul des isokinetischen Gerätes positioniert. Für die Analyse der maximalen isokinetischen Drehmomentparameter während der Rumpfrotoation wurden die Athleten individuell eingesetzt und befestigt. Der Bewegungsbereich betrug +30° Rumpfflexion bis -30° Rumpfextension und +25° Rumpfrotoation zur Zugarmseite sowie -25° zur Hubarmseite. Die Winkelgeschwindigkeit wurde auf 60°/s bei konzentrischer Muskelaktion festgelegt. In die Auswertung gelangte der Bestwert aus fünf

Wertungsversuchen. Zudem erfolgte vor der Messung der Rumpfflexion und -extension eine Schwerkraftkompensation, um das Eigengewicht des Probanden rauszurechnen. Eine ausführliche Darstellung des Testverfahrens ist im Anhang zu finden (siehe Publikation III) (Helm et al., 2018b).

4.3.3 Elektromyografie

Die elektromyografische Aktivität wurde während AnS von dem M. deltoideus pars acromialis, M. biceps brachii, erector spinae pars lumbalis und M. trapezius pars transversa für die Hub- und Zugarmseite mithilfe von Oberflächenelektroden abgeleitet. Alle Elektroden wurden gemäß den europäischen Empfehlungen für Oberflächenelektroden auf dem Muskel sorgfältig positioniert (Hermens et al., 1999). Die elektromyografischen Daten wurden bei der Längsschnittstudie gegenüber der Querschnittstudie amplitudennormalisiert. Als abhängige Variablen wurde je nach Studie die normalisierten bzw. nicht normalisierten mittleren Muskelaktivitäten (engl. „*mean amplitude voltage*“) für definierte Zeitintervalle getrennt nach Hub- und Zugarm bestimmt. Im Abschnitt Methoden (engl. „*methods*“) der jeweiligen Publikationen können detailliertere Informationen hinsichtlich der Vorgehensweise und Aufnahmeparameter zu den elektromyografischen Analysen nachgelesen werden (siehe Publikation II und IV) (Helm et al., 2018a, Helm et al., 2018c).

4.4 Test- und Trainingspartner

Die Verwendung eines Partners diente in der Studie II und IV als Test- bzw. Trainingsinstrument. Dabei erfolgte die Auswahl des Partners individuell in Abhängigkeit von der Gewichtsklasse und Körperhöhe des Auszuführenden (Helm et al., 2018a).

4.5 Trainingsintervention

Die Untersuchung von Effekten eines judospezifischen Anrisstrainings wurde in einem randomisierten Crossover-Design bestehend aus drei Test- und zwei Interventionsphasen durchgeführt. Der gesamte Interventionszeitraum wurde auf acht Wochen angelegt. Das Anrisstraining am JERGo[®]-System und mit Partner dauerte jeweils acht Wochen und umfasste drei Trainingseinheiten pro Woche. Eine Trainingseinheit beinhaltete Anrissbewegungen am JERGo[®]-System oder mit Partner. In jeder Trainingseinheit wurden AnS und AnE mit jeweils fünf Serien á sechs Wiederholungen unter explosiver Bewegungsausführung durchgeführt. Zudem wurden lediglich während des Anrisstrainings am JERGo[®]-System bewegungsbezogene Informationen nach jeder Bewegungsausführungsserie gegeben. Die Rückmeldung

erfolgte dabei ergebnis- und verlaufsbezogen. Eine genauere Beschreibung des Untersuchungsablaufs ist der Publikation IV zu entnehmen (Helm et al., 2018a).

4.6 Statistische Analyse

Die statistische Analyse wurde innerhalb der vorliegenden Arbeit je nach Studie den Voraussetzungen und Fragestellungen entsprechend angewandt. Die deskriptive Analyse aller Parameter erfolgte über die Darstellung von Gruppenmittelwerten und Standardabweichungen. Die Varianzanalysen (ANOVA) wurden durchgeführt, um Unterschiede zwischen Leistungsgruppen und Aufgabenbedingungen zu bestimmen (Publikation II und IV). Zusätzlich wurde die Berechnung von Grenzwertoptimierungskurven (engl. „*receiver operator characteristics*“ [ROC]) durchgeführt (Publikation II). Korrelationen konnten mit dem Intraklassen-Korrelationskoeffizienten (engl. „*intraclass correlation coefficient*“ [ICC]) und dem Produkt-Moment-Korrelationskoeffizientem nach Pearson (engl. „*pearson product-moment correlation coefficient*“ [r]) berechnet werden (Publikation II und III). Zusätzlich wurde der Standardfehler (engl. „*standard error of measurement*“ [SEM]) ausgedrückt als Variationskoeffizient (engl. „*coefficient of variation*“⁶ [CV]) ermittelt (Publikation II). Um das Maß von trainingsbedingten Veränderungen der am JERGo[®]-System erhobenen kinetischen Parameter im Zeitverlauf zuverlässig zu detektieren, erfolgte der Vergleich zwischen der kleinsten lohnenden Veränderung (engl. „*smallest worthwhile change*“ [SWC]) und dem SEM (Publikation II). Zudem konnten Assoziationen zwischen leistungsbeeinflussenden Prädiktoren (maximal isokinetische Rumpfkraftparameter) und den kinetischen Parametern bei Anrissbewegungen mit einer linearen Regressionsanalyse berechnet werden (Publikation III). Die Effekte eines Anrisstrainings wurden in zwei separate (Gruppe: Anrisstraining am JERGo[®]-System, Anrisstraining mit Partner) x drei (Zeit: Prätest, Zwischentest, Posttest) Varianzanalysen (ANOVA) mit Messwiederholung auf den Faktor Zeit berechnet. Im Falle eines signifikanten Gruppe- x Zeit-Interaktionseffekts folgten anschließend Post-hoc-Mehrfachvergleiche unter Verwendung der Bonferroni-Korrektur (Publikation IV). Zusätzlich wurde die Effektgröße (Cohen's d) als Maß zur Abschätzung der praktischen Relevanz bestimmt (Publikation II und IV). Alle statistischen Analysen wurden mit dem Programmpaket SPSS der Version 23.0 (SPSS Inc., Chicago, Illinois, USA) durchgeführt. Im Appendix sind weitere Informationen zu den statistischen Verfahren zu finden (siehe Publikation II bis IV) (Helm et al., 2018a; Helm et al., 2018b; Helm et al., 2018c).

⁶ Nach Stokes (1985) werden CV-Werte von $\leq 15\%$ als zufriedenstellend eingestuft.

5 Zusammenfassende Darstellung der Ergebnisse

Die vorliegende Arbeit beinhaltet eine systematische Anforderungsanalyse der Zweikampfsportart Judo und untersuchte die Hauptgütekriterien der am JERGo[®]-System erhobenen kinetischen Parameter bei judospezifischen Anrissbewegungen, den Zusammenhang zwischen der Rumpfkraft und kinetischen Parametern bei judospezifischen Anrissbewegungen sowie die Effekte eines judospezifischen Anrisstrainings am JERGo[®]-System und eines Anrisstrainings mit Partner. In diesem Kapitel sind die Forschungsziele, Hypothesen und wichtigsten Ergebnisse der vier Publikationen zusammenfassend dargestellt. Die vollständigen Publikationen sind der Anlage zu entnehmen (siehe Publikation I bis IV).

5.1 Publikation I: Systematische Analyse des konditionellen Anforderungsprofils in der Zweikampfsportart Judo

Ziel: Das Ziel der Publikation I bestand darin, ein konditionelles Anforderungsprofil für die Zweikampfsportart Judo zu erarbeiten. Dabei wurde insbesondere auf die metabolischen und muskulären Anforderungen der Sportart Judo sowie Verletzungsrisiken während des Judo-Wettkampfs eingegangen.

Ergebnisse: In Abhängigkeit vom Kampfverhalten stellt vor allem die Aufrechterhaltung des anaerob-laktaziden Energiestoffwechsels einen leistungsbestimmenden Faktor im Judo dar. Die muskuläre Anforderung bei der Umsetzung judospezifischer Aktionen (z. B. Wurfausführung) erfordert die zielgerichtete Koordination vieler Muskelgruppen. Insbesondere im Standkampf realisieren die Muskeln der unteren Extremitäten und des Rumpfes primär dynamisch-schnellkräftige Aktionen (z. B. beidbeinige Eindrehtechnik), wohingegen die oberen Extremitäten sowohl dynamisch-schnellkräftige (z. B. Anrissbewegung) als auch statisch-kraftausdauernde und -maximalkräftige Aktionen (z. B. Griffkampf) durchführen. Die Diagnostik von Anrissbewegungen und deren Training besitzt für den Judoka eine hohe Relevanz, um die finale Effektivität von Wurftechniken zu verbessern. Ein Großteil der Verletzungen in der Sportart Judo tritt insbesondere im Training und im Standkampf auf (jeweils ca. 70 %). Hände/Finger (bis zu 30 %), Knie (bis zu 28 %) und Schultern (bis zu 22 %) sind am häufigsten betroffen.

Publikation I wurde wie folgt veröffentlicht:

Helm, N., Prieske, O., Chaabene, H., Büsch, D., Heinisch, H. D. & Granacher, U. (2019). Systematische Analyse des konditionellen Anforderungsprofils in der Zweikampfsportart Judo. *Leistungssport* 49 (5), 17–22. IF: nicht gelistet.

5.2 Publikation II: Validierung eines neuen judospezifischen Ergometer-Systems bei männlichen Spitzen- und Nachwuchsathleten

Ziele und Hypothesen: Das Ziel der Publikation II war, die am JERGo[®]-System erhobenen kinetischen Parameter bei Anrissbewegungen auf Testgütekriterien zu untersuchen. Es wurden eine akzeptable diskriminierende Validität und Test-Retest-Reliabilität sowie eine ökologische Validität der am JERGo[®]-System erbrachten kinetischen Parameter erwartet.

Ergebnisse: Spitzenathleten zeigten am JERGo[®]-System mehrheitlich signifikant höhere kinetische Werte in der mechanischen Arbeit, dynamischen Maximalkraft und Leistung im Vergleich zu Nachwuchsathleten bei AnS und AnE ($0,12 \leq d \leq 1,80$). Das JERGo[®]-System offenbarte eine kleine bis hohe relative ($0,37 \leq ICC \leq 0,92$) und absolute Test-Retest-Reliabilität ($10,8 \% \leq SEM \text{ als } CV \leq 18,8 \%$) für die mechanische Arbeit und dynamische Maximalkraft während AnS und AnE. Darüber hinaus wurde festgestellt, dass das JERGo[®]-System in der Lage ist, moderate bis große trainingsinduzierte Leistungsveränderungen in der mechanischen Arbeit und dynamischen Maximalkraft während AnS und AnE darzustellen. Zudem zeigten die Analysen akzeptable Korrelationen ($0,41 \leq r \leq 0,88$) zwischen der Muskelaktivität während einer am JERGo[®]-System durchgeführten AnS gegenüber derjenigen mit einem Partner.

Publikation II wurde wie folgt veröffentlicht:

Helm, N., Prieske, O., Muehlbauer, T., Krüger, T., Chaabene, H. & Granacher, U. (2018). Validation of A New Judo-Specific Ergometer System in Male Elite and Sub-Elite Athletes. *Journal of Sport Science and Medicine* 17 (3), 465–475. IF: 1,774.

5.3 Publikation III: Assoziationen zwischen der Rumpfkraft und judospezifischen Anrissleistungen von Judoka

Ziele und Hypothesen: Das Ziel der vorliegenden Studie war, statistische Zusammenhänge zwischen der Rumpfkraft und kinetischen Parametern bei Anrissbewegungen bei Judoka zu untersuchen. Es wurde angenommen, dass signifikante Zusammenhänge zwischen maximalen isokinetischen Drehmomentparametern der Rumpfflexoren, -extensoren, -rotatoren und kinetischen Parametern bei Anrissbewegungen, insbesondere bei AnE, zu beobachten sind.

Ergebnisse: Die statistische Analyse zeigte mehrheitlich signifikante Pearson-Korrelationskoeffizienten ($0,59 \leq r \leq 0,72$) zwischen den maximalen isokinetischen Drehmomenten der Rumpfflexoren, -extensoren, -rotatoren und den kinetischen Parametern mechanische Arbeit und dynamische Maximalkraft bei AnS. Für AnE ergaben sich ausschließlich signifikante Korrelationen ($0,47 \leq r \leq 0,88$) zwischen den maximalen isokinetischen Drehmomenten der Rumpfflexoren, -extensoren, -rotatoren und den kinetischen Parametern mechanische Arbeit und dynamische Maximalkraft unabhängig von der untersuchten Armseite. Es wurden vergleichbare Korrelationskoeffizienten zwischen maximalen isokinetischen Drehmomenten der Rumpfflexoren, -extensoren und -rotatoren und kinetischen Parametern festgestellt. Weiterhin identifizierte die Varianzaufklärung für AnS, dass das maximale isokinetische Drehmoment bei der Rumpfextension den Parameter mechanische Arbeit auf der Hubarmseite zu 46,9 % aufklärt. Für AnE zeigte die Varianzaufklärung, dass das maximale isokinetische Drehmoment bei Rumpfrotation zur Hubarmseite den Kennwert mechanische Arbeit auf der Hubarmseite zu 69,4 % aufklärt.

Publikation III wurde wie folgt veröffentlicht:

Helm, N., Prieske, O., Muehlbauer, T., Krüger, T., Retzlaff, M. & Granacher, U. (2018). Assoziationen zwischen der Rumpfkraft und judospezifischen Anriss-Leistungen von Judoka. *Sportverletzung Sportschaden*, doi: 10.1055/a-0677-9608, Epub ahead of print. IF: 0,463.

5.4 Publikation IV: Effekte eines Messplatztrainings am JERGo[®]-System auf kinetische und elektromyographische Parameter des Anreißens bei Wurfeingangsbewegungen von Judoka

Ziele und Hypothesen: Das Ziel der Studie bestand darin, die Effekte eines Anrisstrainings am JERGo[®]-System gegenüber einem tradierten Anrisstraining mit Partner auf kinetische und elektromyografische Parameter bei Anrissbewegungen zu untersuchen. Es wurde angenommen, dass ein Anrisstraining am JERGo[®]-System gegenüber einem Anrisstraining mit Partner zu höheren Leistungssteigerungen von kinetischen und elektromyografischen Parametern bei Anrissbewegungen sowie von Kraftwerten bei sportmotorischen Tests führt.

Ergebnisse: Die Ergebnisse der statistischen Analyse ergaben über den gesamten Interventionszeitraum (acht Wochen) für beide Trainingsgruppen signifikante Effekte des Faktors Zeit für alle kinetischen ($0,83 \leq d \leq 1,77$) und elektromyografischen Parameter ($1,07 \leq d \leq 2,25$), unabhängig von der Bewegungsausführung (AnS, AnE). Darüber hinaus zeigten sich statistisch signifikante Interaktionseffekte für die kinetischen Parameter Explosivkraft und mechanische Arbeit ($1,07 \leq d \leq 1,59$) sowie für die elektromyografischen Parameter des M. deltoideus, M. erector spinae, M. trapezius ($0,87 \leq d \leq 1,08$) für AnS. Die Post-hoc-Analysen ergaben für AnS signifikant größere Zuwachsraten in der Explosivkraft, der mechanischen Arbeit und in den Schulter-/Rumpfmuskelaktivitäten (M. deltoideus, M. erector spinae, M. trapezius) nach Anrisstraining am JERGo[®]-System im Vergleich zu dem Anrisstraining mit Partner ($1,25 \leq d \leq 2,79$). Für die Kraftwerte von sportmotorischen Tests wurden keine signifikanten Effekte festgestellt.

Publikation IV wurde wie folgt veröffentlicht:

Helm, N., Prieske, O., Muehlbauer, T., Krüger, T. & Granacher, U. (2018). Effekte eines Messplatztrainings am JERGo[®]-System auf kinetische und elektromyographische Parameter des Anreißens bei Wurfeingangsbewegungen von Judoka. *Sportverletzung Sportschaden* 32 (2), 134–142. IF: 0,463.

6 Diskussion

Im Rahmen dieser Dissertation wurden neben der Modellierung eines judospezifischen Leistungsstrukturmodells in Anlehnung an Bussweiler (2011) und Heinisch (2014) eine systematische Literaturrecherche im Rahmen eines Überblicksbeitrags (Publikation I) und ableitend daraus zwei Querschnittstudien (Publikation II und III) und eine Längsschnittstudie (IV) verwendet, um die Leistungsdiagnostik in der Zweikampfsportart Judo zu optimieren und effektive Trainingsprogramme zu entwickeln. In einem umfassenden methodischen Ansatz mit einer Vielzahl von leistungsbezogenen Kenngrößen wurden eine systematische Analyse des konditionellen Anforderungsprofils für die Zweikampfsportart Judo erarbeitet (Publikation I) sowie die Testgütekriterien des JERGo[®]-Systems zur Erhebung kinetischen Parametern von judospezifischen Anrissbewegungen (Publikation II), die Beziehung zwischen der Rumpfmuskulaturkraft und der judospezifischen Anrisskraft (Publikation III) und die Effekte eines Anrisstrainings am JERGo[®]-System im Vergleich zum Partner untersucht (Publikation IV). In den folgenden Kapiteln werden die wesentlichen Ergebnisse der Publikationen I bis IV im Kontext mit der bestehenden Literatur diskutiert.

6.1 Systematische Analyse des konditionellen Anforderungsprofils in der Zweikampfsportart Judo

In der Trainingswissenschaft bildet die Erarbeitung einer systematischen Analyse des konditionellen Anforderungsprofils einer Sportart bzw. Disziplin die Grundlage für die Leistungsdiagnostik und ist eine wichtige Voraussetzung für die Trainingssteuerung (siehe Kapitel 2.2).

Im Allgemeinen haben die Ergebnisse dieser Arbeit gezeigt, dass in der Zweikampfsportart Judo Kraft, Schnelligkeit und Ausdauer bedeutsame sportmotorische Fähigkeiten für die wettbewerbspezifische Leistung darstellen, wobei Judoka eine ausgewogene Kombination aller drei Fähigkeiten mit einer leichten Dominanz der Krafftfähigkeiten benötigen (Schmelcher et al., 2018; Helm et al., 2019). Neben Kraft, Schnelligkeit und Ausdauer ist eine gut ausgebildete Beweglichkeit eine weitere wichtige Determinante für die Erbringung judospezifischer Leistungen (Bompa & Buzzichelli, 2015; Schmelcher et al., 2018; Helm et al., 2019). Die einzelnen sportmotorischen Fähigkeiten sollten jedoch nicht nur eindimensional, sondern auch in Kombination und unter Berücksichtigung von Interaktionen betrachtet werden (Schmelcher et al., 2018; Helm et al., 2019). In Zweikampfsportarten ergibt die Kombination aus Schnelldauerkraft, Schnelligkeit, Koordination und Beweglichkeit die sogenannte Agilität (Bompa & Buzzichelli,

2015; Helm et al., 2019), die für die Angriffsvorbereitung und -ausführung sowie für Verteidigungshandlungen elementar ist. In Anlehnung an Kraemer et al. (2012) werden im Folgenden insbesondere die Krafftfähigkeiten mit dem Fokus auf muskulären Anforderungen zur Verbesserung von Anrissbewegungen betrachtet.

Unter Berücksichtigung der beanspruchten Muskelgruppen zeigen die Ergebnisse dieser Arbeit, dass die erfolgreiche Ausführung einer Anrissbewegung und Wurftechnik durch die koordinierte Aktivität vieler Muskelgruppen, die schnellkräftig in Form kinetischer Ketten zusammenarbeiten, realisiert wird (Kibler et al., 2006; Ullrich et al., 2015; Helm et al., 2019). In diesem Zusammenhang zeigten Untersuchungen von Blais et al. (2007), dass die prozentualen Anteile der Drehmomente bei AnE (*Morote-seoi-nage*) vor allem durch die unteren Extremitäten (Kniegelenk 19 %, Hüftgelenk 28 %) sowie den Rumpf (30 %) und weniger durch die oberen Extremitäten (Schulter-, Ellenbogen- und Handgelenk 17 %) realisiert werden (Helm et al., 2018b; Helm et al., 2019). Die Befunde weisen darauf hin, dass die Sportart Judo eine Ganzkörpersportart ist und insbesondere die Verbesserung der muskulären Leistungsfähigkeit in den unteren Extremitäten und der Rumpfmuskulatur eine wichtige Basis für die Wurfausführung von beidbeinigen Eindrehtechniken darstellt (Helm et al., 2019).

Hinsichtlich der unteren Extremitäten untersuchten Drid et al. (2015) die muskuläre Leistungsfähigkeit von männlichen Halbschwergewichtsjudoka mit unterschiedlichem Expertiseniveau bei der Durchführung des Einer-Wiederholungs-Maximums beim Kreuzheben und der maximalen Anzahl ohne Zusatzlast bei der Tiefkniebeuge (Helm et al., 2019). Es zeigte sich, dass die Halbschwergewichtsjudoka mit internationalem Leistungsniveau signifikant höhere Kennwerte bei dem Kreuzheben ($d = 2,62$) und bei der Tiefkniebeuge ($d = 4,06$) gegenüber Halbschwergewichtsjudoka mit nationalem Niveau erreichten (Helm et al., 2019). Weiterhin beobachteten Detanico et al. (2015) akute Ermüdungseffekte bei simulierten Wettkämpfen von männlichen Judoka mit regionalem und nationalem Leistungsniveau (Alter: 21 ± 5 Jahre). Hierfür absolvierten die Probanden drei Kämpfe à 5 Minuten mit einer passiven Kampfpause von 15 Minuten. Als Kennwert wurde die Sprunghöhe beim Vertikalsprung mit Ausholbewegung vor und nach jedem Kampf bestimmt. Die Ergebnisse zeigten, dass sich die Sprunghöhe nach dem dritten Kampf im Vergleich zum Ausgangswert signifikant reduzierte ($d = 0,88$). Die Befunde deuten darauf hin, dass aufeinanderfolgende Judokämpfe die Muskelkraft der unteren Extremitäten negativ beeinflussen. Im Umkehrschluss könnte eine gut ausgeprägte

Muskelkraft der unteren Extremitäten zu einer konstant hohen wettkampfspezifischen Leistung bei aufeinanderfolgenden Kämpfen führen (Helm et al., 2019).

Neben den unteren Extremitäten stellt der Rumpf bei judospezifischen Bewegungen, z. B. bei AnE, eine wichtige Leistungsvoraussetzung dar, um den Transfer von Kräften und Drehmomenten von den unteren Extremitäten über den stabilen Rumpf hin zu den oberen Extremitäten zu ermöglichen (Blais et al., 2007a; Helm et al., 2019). Die proximale Stabilität des Rumpfes ist dabei eine wichtige Voraussetzung für die distale Mobilität der Extremitäten bei sportlichem Bewegungsvollzug (Kibler et al., 2006; Helm et al., 2019). Die Ergebnisse dieser Arbeit (Publikation III) zeigten, dass die maximalen isokinetischen Drehmomentparameter der Rumpffextensoren ($R^2 = 46,9\%$) bei AnS und der Rumpffrotatoren ($R^2 = 69,4\%$) bei AnE mit kinetischen Parametern assoziiert sind (Helm et al., 2018b; Helm et al., 2019). Weiterhin beobachteten Barbado et al. (2016) signifikant höhere maximale isokinetische Drehmomente der Rumpffextensoren ($d = 1,31$) für Judoka mit internationalem gegenüber solchen mit nationalem Expertiseniveau (Helm et al., 2019). In der Gesamtbetrachtung kann davon ausgegangen werden, dass eine gut entwickelte Rumpfmuskulatur bei explosiven Ganzkörperbewegungen einen leistungsdeterminierenden Faktor im Judo darstellt (Helm et al., 2019).

Die oberen Extremitäten nehmen nicht nur während der Anrissbewegung und Wurfausführung, sondern auch beim Griffkampf eine wichtige Funktion wahr. Beispielsweise übertragen Hub- und Zugarm die Kräfte und Drehmomente direkt auf den Gegner, um das „Gleichgewicht zu brechen“ und die Wurfrichtung zu bestimmen (Lehmann & Ulbricht, 2007; Helm et al., 2019). Detanico et al. (2016) berichteten von signifikant höheren maximalen isokinetischen Drehmomenten der Schulterinnenrotatoren ($d = 0,78$) sowie über ein signifikant besseres Verhältnis zwischen maximalen isokinetischen Drehmomenten der Schulteraußen- und Schulterinnenrotatoren ($d = 1,10$) für Judoka mit höherem Trainingsumfang im Vergleich zu Anfängern (Stunden/Woche: 7 vs. 4). Weiterhin zeigten Untersuchungen von Detanico et al. (2015), dass drei aufeinander folgende Judokämpfe (Kampfzeit 5 Minuten, passive Pausendauer 15 Minuten) zu einer signifikanten Verringerung von maximalen isokinetischen Drehmomenten ($0,50 \leq d \leq 0,78$) der Schulterinnen- und Schulteraußenrotatoren nach dem zweiten bzw. dritten Kampf im Vergleich zum Ausgangswert führen. Es kann angenommen werden, dass ein gut ausgebildetes Muskelkorsett, insbesondere der Rotatorenmanschette, Armextensoren, -flexoren, Handflexoren sowie der Brust-/Rückenmuskulatur, die judospezifische Leistung positiv beeinflussen kann (Helm et al., 2019).

Die Betrachtung der Muskelaktionsformen offenbarte in dieser Arbeit, dass das Kampfverhalten durch schnellkräftige und hochintensive intermittierende Belastungsphasen mit Direktangriffen, Angriffsvorbereitungen (Schrittmuster, Wurf-/Körperfinten) und einen intensiven Griffkampf gekennzeichnet ist (Ullrich et al., 2015; Franchini et al., 2014; Heinisch et al., 2017; Helm et al., 2019). Dabei dominieren insbesondere im Stand dynamische Muskelaktionen (Helm et al., 2019).

Untersuchungen zeigten, dass die finale Effektivität und Effizienz einer explosiven Wurftechnik (*Morote-seoi-nage*) in direkter Beziehung zur erfolgreich durchgeführten Anrissbewegung mit nachfolgender „Gleichgewichtsbrechung“ des Gegners stehen (Gutierrez et al., 2009; Imamura et al., 2006; Büsch et al., 2012; Helm et al., 2018a; Helm et al., 2018b; Helm et al., 2018c; Helm et al., 2019). Aufgrund der Massenträgheit des Gegners ist es aus kinetischer Sicht entscheidend, dass der Angreifer während der Anrissbewegung einen steilen Kraftanstieg und ein hohes Kraftmaximum generiert (Drid et al., 2015; Callister et al., 1991; Helm et al., 2018a; Helm et al., 2018b; Helm et al., 2018c; Helm et al., 2019). In diesem Zusammenhang zeigten die Ergebnisse dieser Arbeit (Publikation II), dass männliche Spitzenjudoka (Olympia- und Perspektivkader) gegenüber Nachwuchsjudoka (Nachwuchskader II und Landeskader) am JERGo[®]-System mehrheitlich signifikant höhere kinetische Kennwerte ($0,12 \leq d \leq 1,80$) in der mechanischen Arbeit, dynamischen Maximalkraft und Leistung bei AnS und AnE erreichen (Helm et al., 2019). Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass gut entwickelte judospezifische Anrissleistungen wichtige Leistungsdeterminanten darstellen und somit einen positiven Einfluss auf die Effektivität und Effizienz einer dynamisch-explosiven Wurftechnik besitzen können (Helm et al., 2018c; Helm et al., 2019). Aus trainingswissenschaftlicher Sicht stellt sich daher die Frage, ob die am JERGo[®]-System erhobenen kinetischen Parameter bei judospezifischen Anrissbewegungen in Bezug auf die diskriminierende Validität und Test-Retest-Reliabilität sowie die ökologische Validität als akzeptabel eingestuft werden können. Die Überprüfung der Testgütekriterien stellt eine wesentliche Voraussetzung für den Einsatz des JERGo[®]-Systems für die Diagnostik von judospezifischen Anrissbewegungen und deren Training dar (Chaabene et al., 2018).

Bei der richtigen Wahl der Trainingsinhalte für ausgewählte Muskelgruppen spielt das Prinzip des spezifischen Trainingsreizes eine entscheidende Rolle. Demzufolge sollten die Belastungsgrößen, z. B. Bewegungsgeschwindigkeit, Gelenkwinkel, Muskelaktionsform, so gewählt werden, dass diese den spezifischen Bewegungen im späteren Bewegungsvollzug im

Wettkampf weitestgehend ähneln (Behm, 1995; Behm & Sale, 1993; Schmelcher et al., 2018; Helm et al., 2019). In diesem Kontext untersuchten Dinn und Behm (2007) die Effekte eines achtwöchigen dynamischen gegenüber einem statischen Schnellkrafttraining der oberen Extremitäten von Freizeitsportlern. Dabei konnten signifikante Verbesserungen in der Muskelaktivierung für die dynamische und die statische Gruppe ($0,67 \leq d \leq 0,82$) festgestellt werden, wohingegen signifikante Steigerungen der Aktions- und Reaktionsschnelligkeit ($d = 0,80$) lediglich für die dynamische Schnellkrafttrainingsgruppe beobachtet werden konnten (Schmelcher et al., 2018; Helm et al., 2019). Daraus lässt sich für die Sportart Judo ableiten, dass die Muskelaktionsformen im Schnellkrafttraining primär dynamisch durchgeführt werden sollten, um möglichst große Transfereffekte auf vorbereitende und ausführende Angriffshandlungen sowie Verteidigungshandlungen zu ermöglichen (Helm et al., 2019).

6.2 Mess- und Informationssystem JERGo[®] für die Diagnostik von kinetischen Parametern bei judospezifischen Anrissbewegungen

Ableitend aus der systematischen Analyse des konditionellen Anforderungsprofils der Zweikampfsportart Judo zeigte sich, dass die Diagnostik der judospezifischen Anrissbewegung und deren Training eine hohe Relevanz für den Judoka besitzt. Mit dem neuen und innovativen JERGo[®]-System können kinetische Parameter während judospezifischen AnS und AnE getrennt nach Hub- und Zugarm bestimmt und gezielt trainiert werden. Aufgrund der nicht ausreichenden Beweise hinsichtlich der diskriminierenden und ökologischen Validität sowie der Test-Retest-Reliabilität der am JERGo[®]-System erhobenen kinetischen Parameter für judospezifische Anrissbewegungen wurden die Testgütekriterien im Rahmen dieser Arbeit umfassend untersucht (Publikation II).

Im Ergebnis erreichten Spitzenathleten im Vergleich zu Nachwuchsathleten während AnS und AnE am JERGo[®]-System mehrheitlich höhere judospezifische Anrissleistungen. In Bezug auf die diskriminierende Validität stimmen die Befunde der vorliegenden Arbeit mit der aktuellen Literatur überein, die Leistungsunterschiede zwischen Judoka mit unterschiedlichen Expertiseniveaus untersuchte (Pocecco et al., 2012; Franchini et al., 2005; Helm et al., 2018c). Beispielsweise berichten Pocecco et al. (2012), dass Spitzen- (Alter: 25 ± 5 Jahre) gegenüber Nachwuchsjudoka (Alter: 15 ± 1 Jahre) signifikant höhere maximale (stufenförmige Handkurbelergometrie: $d = 4,30$) und mittlere (stufenförmige Fahrradgometrie: $d = 3,62$) Leistungen erreichen (Helm et al., 2018c). Weiterhin konnten Franchini et al. (2005) signifikant höhere

mittlere ($d = 0,47$) sowie maximale ($d = 0,52$) Leistungen im 30-s-Wingate-Test für Judoka mit Spitzenniveau (Medaillengewinn bei nationalen/internationalen Wettkämpfen, Alter: 23 ± 3 Jahre) gegenüber Judoka mit leistungssportlichem Niveau (ohne Medaillengewinn bei nationalen/internationalen Wettkämpfen, Alter: 19 ± 5 Jahre) beobachten (Helm et al., 2018c). Darüber hinaus offenbarten Spitzenjudoka im *Special Judo Fitness Test*⁷ signifikant mehr Niederwürfe ($d = 1,25$) als leistungsorientierte Judoka (Helm et al., 2018c). Die berichteten Leistungsunterschiede zwischen Spitzen- und Nachwuchsathleten lassen sich auf die höhere Anzahl an Trainingsjahren sowie auf größere Trainingsumfänge und -intensitäten (Franchini et al., 2005) und/oder auf einen günstigeren genetischen Phänotyp zurückführen (Cieszczyk et al., 2010; Hermine et al., 2015; Itaka et al., 2016; Helm et al., 2018c). Diese beschriebenen Einflüsse können spezifische Anpassungen hervorrufen und/oder prädisponieren, die höhere körperlichen Fitness und sportspezifischen Leistungen ermöglichen (Helm et al., 2018c).

Die Befunde der Test-Retest-Reliabilität der am JERGo[®]-System erhobenen kinetischen Parameter zeigten in Bezug auf die absolute (CV) und die relative Zuverlässigkeit (ICC) übereinstimmende Ergebnisse für die kinetischen Parameter mechanische Arbeit und dynamische Maximalkraft während AnS und AnE. Lediglich für den Parameter Leistung wurden schlechte ICC ($\leq 0,51$) und hohe CV-Werte ($< 15\%$) während der Testwiederholung beobachtet. Das bedeutet, dass das JERGo[®]-System für die Bestimmung von trainingsinduzierten Leistungsänderungen in Bezug auf die Parameter mechanische Arbeit und dynamische Maximalkraft eingesetzt werden kann. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass sich der Parameter Leistung nicht eignet, um trainingsinduzierte Anpassungen von Anrissbewegungen zuverlässig zu erkennen. Darüber hinaus ist das JERGo[®]-System in der Lage, moderate und große Leistungsänderungen für den Parameter mechanische Arbeit und dynamische Maximalkraft während AnS und AnE zu erkennen (Helm et al., 2018c).

Die Ergebnisse der ökologischen Validität zeigten kleine bis moderate r -Werte zwischen der Muskelaktivität während der am JERGo[®]-System durchgeführten AnS im Vergleich zu einem Partner. Darüber hinaus konnten nur wenige Datenpunkte außerhalb der Übereinstimmungs-

⁷ Das Ziel des „*Special Judo Fitness Tests*“ besteht darin, die physiologische Leistungsfähigkeit eines Judoka zu bestimmen und trainingsbedingte Veränderungen zu bewerten. Dabei absolvieren die Athleten drei Ausbelastungsintervalle (A = 15 Sekunden, B und C = 30 Sekunden) mit 10 Sekunden Pause zwischen den Belastungsintervallen. In jedem Belastungsintervall wirft der Ausführende mit der Wurftechnik *Ippon-seoi-nage* zwei Partner (A, B) so oft wie möglich. Die Partner stehen 6 m voneinander entfernt. Die Zeitstruktur und die Intensität orientieren sich dabei an den durchschnittlichen Belastungs- und Pausenintervallen eines realen Judokampfes (Sterkowicz, 1995; Franchini et al., 2011; Helm et al., 2018c; Helm et al., 2019).

grenzen beobachtet werden. Die Befunde zur ökologischen Validität stehen somit teilweise im Einklang mit der bestehenden Literatur (Blais et al., 2007b), die Unterschiede der Bewegungsausführung an einem judospezifischen Krafttrainingsgerät gegenüber einem Partner überprüfte. Diesbezüglich untersuchten Blais und Kollegen (2007b) die ökologische Validität eines stationären judospezifischen Krafttrainingsgeräts während AnE (d. h. *Morote-seoi-nage*) gegenüber einem Partner mithilfe von zwei Kraftsensoren. Im Ergebnis konnten während AnE am judospezifischen Krafttrainingsgerät mit unterschiedlichen Widerstandslasten (15 kg, 20 kg, 25 kg, 30kg) signifikant höhere kinetische Parameter in der dynamischen Maximalkraft ($6,96 \leq d \leq 14,51$) im Vergleich zur Variante mit Partner beobachtet werden. Die Autoren begründeten die Differenzen mit unterschiedlichen Widerständen, die bei der Realisierung durch einen Partner bzw. durch das judospezifische Krafttrainingsgerät entgegengebracht werden (Blais et al., 2007b). Die vorliegenden Resultate dieser Arbeit in Bezug auf kleine bis moderate *r*-Werte für die Muskelaktivitäten während der Anrissbewegung am JERGo[®]-System gegenüber dem Partner können durch mehrere Gründe erklärt werden. Möglicherweise konnte die Wirbelstrombremse des JERGo[®]-Systems den Widerstand des Partners nicht optimal simulieren, obwohl das System in der Lage ist, den Widerstand individuell auf die ausführende Person einzustellen (Helm et al., 2018c).

Zudem hatte der Partner die Aufgabe, die Bewegung bei normaler Körperspannung passiv und ohne Unterstützung zuzulassen (Deutscher Judo-Bund, 2011; Helm et al., 2018c). Es kann argumentiert werden, dass der bedingte Widerstand des Partners zu Beginn der Anrissbewegung aufgrund der Trägheit der Masse besonders hoch ist und danach mit der Gleichgewichtsbrechung und dem einhergehenden Gleichgewichtsverlust kontinuierlich abnimmt. Im Gegensatz dazu passt sich die individuell angepasste Bremslast des JERGo[®]-Systems während der gesamten Anrissbewegung weniger dynamisch an (WP1: 100 % [≤ 0 cm], WP2: 80 % [≥ 20 cm], WP3: 50 % [≥ 40 cm], RL: 50 %) und kann daher einen größeren Widerstand hervorrufen. Dementsprechend kann sich die Beschleunigung während AnS unter der Verwendung des JERGo[®]-Systems im Vergleich zum Partner unterscheiden. Eine nachträgliche Betrachtung der Beschleunigungsmaxima am Zugarm bestätigte diese Annahme für das Zeitfenster 0 bis 200 ms. Es konnten signifikant geringere Beschleunigungswerte ($1,32 \leq d \leq 1,94$) für die Durchführung am JERGo[®]-System (a_x : 5,2 N/kg; a_y : 4,5 N/kg) gegenüber dem Partner (a_x : 8,7 N/kg; a_y : 8,5 N/kg) ermittelt werden (Daten wurden nicht dargestellt). An dieser Stelle ist zu erwähnen, dass die Beschleunigung eines Objekts das Ergebnis der

Kraftproduktion darstellt, die wiederum mit der Muskelaktivität assoziiert ist (Bigland-Ritchie, 1981; Laursen et al., 1998; Helm et al., 2018c). Vor diesem Hintergrund können die niedrigen r -Werte für die Muskelaktivitäten durch Unterschiede in der Kinetik während AnS unter Verwendung des JERGo[®]-Systems im Vergleich zum Partner erklärt werden (Helm et al., 2018c).

Weiterhin könnten die hohen Übereinstimmungsgrenzen in der Muskelaktivität vermutlich auch auf die Stationarität des JERGo[®]-Systems gegenüber dem Partner zurückgeführt werden. So verändert der Partner bei AnS durch die Gleichgewichtsbrechung die Position relativ zu dem Ausführenden (Wick, 2013; Helm et al., 2018c), wohingegen die Wirbelstrombremse bei der Bewegungsausführung mit dem JERGo[®]-System ortsfest bleibt. In der Folge wird während AnS mit Partner gegenüber dem JERGo[®]-System ein direktes Widerlager erzeugt und somit eine unmittelbare Beeinflussung der resultierenden Kraftvektoren hervorgerufen. Unterstützt wird diese Begründung durch die Untersuchung von Rahemi et al. (2014). Die Autoren zeigten, dass die Krafrichtung und/oder -größe einen signifikanten Einfluss auf Aktivierungsmuster der jeweiligen Muskeln besitzt (Helm et al., 2018c).

Darüber hinaus zeigten sich in langen (0 bis 100 ms, 0 bis 200 ms) gegenüber kurzen Zeitintervallen (0 bis 30 ms, 0 bis 50 ms) größere Streuungen in Bezug auf die Übereinstimmungsgrenzen. Auch der systematische Fehler zwischen den Aktivitätsniveaus während der Anrissbewegung am Partner und am JERGo[®]-System war insbesondere auf der Hubarmseite für längere Zeitintervalle groß. Die beobachtete schlechtere ökologische Validität in den langen gegenüber kurzen Zeitintervallen lässt sich dadurch begründen, dass die Wahrscheinlichkeit der Aufzeichnung von Schwankungen in der Bewegungsausführung mit Zunahme des betrachteten Zeitintervalls ansteigt. Obwohl die Muskelaktivität während AnS am JERGo[®]-System wegen der mechanischen Eigenschaften nicht eindeutig mit der Bewegungsausführung mit Partner identisch ist, treten ähnliche neuromuskuläre Aktivierungsstrategien in beiden Testbedingungen auf. Aus trainingswissenschaftlicher Sicht eignet sich das JERGo[®]-System somit unter Berücksichtigung des stationären Charakters für die Diagnostik von judospezifischen Anrissbewegungen (Helm et al., 2018c).

6.3 Bedeutung der Rumpfkraft für judospezifische Anrissbewegungen

Basierend auf den Befunden der erarbeiteten Anforderungsanalyse der Zweikampfsport Judo (Publikation I) konnte eine hohe Relevanz für die Rumpfkraft für Anrissbewegungen festgestellt werden. Darüber hinaus zeigten die Ergebnisse der Publikation II, dass das JERGo[®]-

System valide und reliable kinetische Parameter von judospezifischen Anrissbewegungen bestimmen kann. In der Literatur ist die Bedeutung der Rumpfkraft für sportbezogene Bewegungsaufgaben bisher noch unzureichend untersucht. Unter Berücksichtigung des Prinzips der Trainingsspezifität zeigten sich in der Literatur Schwächen in der methodischen Vorgehensweise hinsichtlich der Intensität und Muskelaktionsform bei der Anwendung diagnostischer Testverfahren zur Bestimmung der Rumpfkraft und der sportbezogenen Bewegungsaufgaben. Vor diesem Hintergrund wurden im Rahmen dieser Doktorarbeit Zusammenhänge zwischen maximalen isokinetischen Drehmomentparametern der Rumpfflexoren, -extensoren und -rotatoren sowie kinetischen Parametern während der judospezifischen AnS und AnE untersucht (Publikation III).

Die wesentlichen Befunde dieser Arbeit ergaben für die AnS mehrheitlich signifikante kleine Korrelationen ($0,59 \leq r \leq 0,72$) zwischen maximalen isokinetischen Drehmomenten bei Rumpfbewegungen und kinetischen Parametern während AnS. Für die AnS unterstützen die Ergebnisse dieser Arbeit teilweise die Befunde von Untersuchungen, die Zusammenhänge zwischen der Rumpfkraft und sportbezogenen Leistungen überprüfen (Prieske et al., 2016; Helm et al., 2018b). Beispielsweise konnten Nesser et al. (2008) signifikante Korrelationen ($0,37 \leq r \leq 0,45$) zwischen den Leistungen in einem submaximalen isometrischen Rumpfkrafttest und dem Einer-Wiederholungs-Maximum beim Bankdrücken bei männlichen College-Footballern beobachten. Im Gegensatz zur generellen Literaturlage wurden in einer Vielzahl von Studien Rumpfkraftausdauerests zur Bestimmung der Rumpfkraft durchgeführt, die lediglich submaximale muskelaktionsformen umfassen und sich daher von den Bewegungsmustern und Charakteristika von maximal-schnellkräftigen Kraftproduktionen bei sportbezogenen Bewegungsausführungen unterscheiden. Auch bei der Durchführung von maximalen isokinetischen Rumpfkrafttests zeigte sich, dass die Rumpfmuskelkraft bezogen auf die sportliche Leistung nur in einem begrenzten Maße eine Rolle spielt (Helm et al., 2018b). So fanden Clayton et al. (2011) signifikante Assoziationen ($0,57 \leq r \leq 0,68$) zwischen maximalen isokinetischen Drehmomentparametern und dem Überkopf-Medizinballwurf bei männlichen College-Baseballspielern (Helm et al., 2018b). In diesem Zusammenhang gehen Prieske et al. (2016) davon aus, dass die sportliche Leistung eher durch eine zeitlich gut abgestimmte Aktivierung der synergistischen und antagonistischen Muskelgruppen und nicht wie angenommen durch eine maximale Rumpfkraftaktivierung während der Bewegungsaufgabe beeinflusst wird (Helm et al., 2018b). Dennoch zeigten die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit, dass die maximal-

schnellkräftige Rumpfmuskelkraft für die sportbezogene Leistung im Judo eine gewisse Bedeutung darstellt. So konnten zwischen den Variablen der maximalen isokinetischen Drehmomente und den judospezifischen Anrissleistungen mehrheitlich signifikante Korrelationen ($0,59 \leq r \leq 0,72$) während AnS beobachtet werden (Helm et al., 2018b).

Die Varianzaufklärung zeigte, dass die maximalen isokinetischen Drehmomente bei der Rumpfextension die kinetischen Parameter mechanische Arbeit (46,9 %) und dynamische Maximalkraft auf der Hubarmseite zu 46,9 % bzw. 36,7 % aufklären. Es kann daher angenommen werden, dass bei AnS die judospezifischen Anrissleistungen des Hubarms insbesondere im Zusammenhang mit dem maximalen isokinetischen Drehmoment der Rumpfextensoren stehen (Helm et al., 2018b). Diese Assoziation scheint plausibel, weil der Bewegungsvollzug bei AnS mit einer Auftaktbewegung beginnt, indem der Ausführende die unteren Extremitäten leicht beugt und wieder streckt (Lehmann & Müller-Deck, 1986; Helm et al., 2018b). Somit werden die Kräfte und Drehmomente von den unteren Extremitäten vor allem über die Rumpfextensoren zu den oberen Extremitäten wie z. B. dem Hubarm übertragen (Helm et al., 2018b).

Zusätzlich untersuchte die vorliegende Arbeit Zusammenhänge zwischen den maximalen isokinetischen Drehmomenten bei Rumpfbewegungen und den kinetischen Parametern bei AnE. Es konnten ausschließlich signifikante Korrelationskoeffizienten ($0,47 \leq r \leq 0,88$) beobachtet werden. Hinsichtlich AnE widersprechen die Ergebnisse dieser Arbeit der generellen Studienlage (Prieske et al., 2016; Nesser et al., 2008; Hoppe et al., 2015; Sharrock et al., 2011; Clayton et al., 2011; Helm et al., 2018b). Die Befunde von Blais et al. (2007a) unterstützen die Annahme, dass bei AnE vor allem die unteren Extremitäten und der Rumpf die höchsten Gelenkmomente und kräfte realisieren (Helm et al., 2018b). Ein Grund für die Diskrepanz zwischen den Befunden von Prieske et al. (2016), den Ergebnissen während AnE und Teilen der Ergebnisse bei AnS kann in der methodischen Vorgehensweise liegen (Helm et al., 2018b). Während in der vorliegenden Arbeit zur Bewertung der sportbezogenen Leistung typische judospezifische Aktionen (AnS, AnE) untersucht wurden, sind in den von Prieske et al. (2016) analysierten Studien u. a. sportartunspezifische Krafttests der oberen Extremitäten durchgeführt worden (z. B. Bankdrücken, Medizinballwurf). Die Ausführung der Anrissbewegung wird durch kinetische Ketten realisiert, die eine koordinierte Aktivierung von Körpersegmenten erfordern, um eine möglichst hohe Geschwindigkeit zum optimalen Zeitpunkt zu erzielen (Kibler & Press, 2006; Helm et al., 2018b). Zudem ist bekannt, dass Anrissbewegungen zur

Gleichgewichtsbrechung des Gegners in jedem judospezifischen Training und Wettkampf durchgeführt werden (Franchini et al., 2014; Franchini et al., 2013; Helm et al., 2018b). Dabei kommt es aufgrund der judospezifischen Wettkampfstruktur zu maximal-schnellkräftigen Beanspruchungsphasen der an der Anrissbewegung beteiligten Muskelgruppen (Franchini et al., 2014; Ullrich et al., 2015; Helm et al., 2018b). Besonders bei nicht optimalen Bedingungen wie beispielsweise beim Blocken des Gegners im Wurfansatz ist u. a. die maximal-schnellkräftige Aktivierung der Bein- und Rumpfmuskulatur von großer Bedeutung, um eine wettkampftscheidende Wertung zu erzielen (Heinisch et al., 2012; Helm et al., 2018b). Es kann daher vermutet werden, dass Judoka aufgrund der sportartspezifischen Charakteristik und der Funktion des Rumpfes höhere Kennwerte in der Rumpfmuskelkraft als Athleten aus anderen Sportarten erreichen, wo der Rumpf eine untergeordnete Rolle einnimmt (Helm et al., 2018b). In diesem Zusammenhang fanden Kort und Hendriks (1992) signifikant höhere maximale isokinetische Drehmomentkennwerte während der Rumpfextension, -flexion und -rotation bei männlichen Spitzenjudoka im Vergleich zu Spitzenrennfahrern (Helm et al., 2018b).

Die Varianzaufklärung zeigte, dass der maximale isokinetische Drehmomentparameter bei der Rumpfrotation zur Hubarmseite den kinetischen Parameter mechanische Arbeit auf der Hubarmseite zu 69,4 % aufklärt. Mit anderen Worten, die judospezifischen Parameter des Hubarms stehen bei der AnE im Gegensatz zur AnS vor allem im Zusammenhang mit den maximalen isokinetischen Drehmomentparametern der Rumpfrotatoren. Somit kann davon ausgegangen werden, dass sich die Bedeutung der eingesetzten Rumpfmuskulatur bei AnS gegenüber AnE unterscheidet (Helm et al., 2018b). Im Vergleich zur AnS folgen bei der AnE nach der Rumpfextension ein Platzwechsel um ca. 180° sowie eine Rumpfflexion und vor allem in der Endphase eine Rumpfrotation (Lehmann & Müller-Deck, 1986; Helm et al., 2018b). Somit werden die Kräfte und Drehmomente von den unteren Extremitäten über die Rumpfextensoren und insbesondere über die Rumpfrotatoren auf die oberen Extremitäten und hierbei auf den Hubarm übertragen (Helm et al., 2018b).

Die vorliegenden Ergebnisse deuten darauf hin, dass ein Rumpfkrafttraining zur Verbesserung kinetischer Parameter während AnE führen könnte (Helm et al., 2018b). Beispielsweise untersuchten Weston et al. (2015) die Effekte nach einem 12-wöchigen schwimmspezifischen submaximalen Rumpfkrafttraining auf die 50-m-Kraulzeit bei männlichen und weiblichen Juniorschwimmern (Alter 16 ± 1 Jahre). Im Vergleich zur Kontrollgruppe zeigte die Interventionsgruppe große positive Effekte (-2,0 %; 90 % CI: -3,8 bis 0,2 %) nach dem Rumpfkraft-

training, das zusätzlich zum bestehenden Wassertraining durchgeführt wurde. Weiterhin konnte bei der Interventionsgruppe eine optimierte Schulterextension in der Sagittalebene beobachtet werden, die einen ökonomischeren Bewegungsvollzug beim Schwimmen ermöglichen könnte (Helm et al., 2018b). Im Gegensatz dazu berichteten jedoch Prieske et al. (2016) in einem systematischen Literaturüberblick mit Metaanalyse von kleinen bis mittleren Effekten (standardisierte Mittelwertdifferenz 0,0 bis 0,7) nach einem Rumpfkrafttraining auf sportliche Aktivitäten (z. B. Sprünge) bei Athleten (Helm et al., 2018b). Die Autoren (Prieske et al., 2016) begründeten die lediglich kleinen bis mittleren Trainingseffekte mit dem Prinzip des spezifischen Trainingsreizes. Mit anderen Worten, das Training muss den Anforderungen des jeweiligen sportartspezifischen Bewegungsvollzugs entsprechen, um höhere Wirkungen zu erzielen (Behm & Sale, 1993; Helm et al., 2018b). In dieser Hinsicht umfassen sportliche Aktivitäten vorwiegend maximal-schnellkräftige Muskelaktivitäten. Die Rumpfkraftübungen der in der Metaanalyse eingeschlossenen Athleten wurden jedoch ausschließlich unter submaximalen isometrischen Bedingungen und in horizontaler Position (z. B. Unterarmstütz) durchgeführt (Prieske et al., 2016; Helm et al., 2018b). Unter Berücksichtigung der Literatur (Prieske et al., 2016; Behm & Sale, 1993) und der vorliegenden Ergebnisse dieser Arbeit könnten Rumpfextensions- (z. B. Kreuzheben, Standreißer) und vor allem Rumpffrotationsübungen (z. B. maschinenbasierte Rumpffrotationsübungen im Sitzen) unter dynamischer maximal-schnellkräftiger Muskelaktivierung zur Verbesserung kinetischer Parameter insbesondere bei AnE führen (Helm et al., 2018b). In zukünftigen Forschungsarbeiten sollten diese Ursache-Wirkungs-Beziehungen untersucht werden (Helm et al., 2018b).

6.4 Effekte eines judospezifischen Anrisstrainings

Im Ergebnis der Anforderungsanalyse der Zweikampfsportart Judo (Publikation I) und durch die als valide und reliabel eingestuft Befunde der am JERGo[®]-System erhobenen kinetischen Parameter bei Anrissbewegungen (Publikation II) bestand eine weitere Zielstellung dieser kumulativen Doktorarbeit darin, die Wirkungen eines Anrisstrainings am JERGo[®]-System im Vergleich zu einem Anrisstraining mit Partner zu untersuchen (Publikation IV).

Die wesentlichen Ergebnisse dieser Arbeit zeigten, dass ein Anrisstraining am JERGo[®]-System als praktikabel (Trainingsteilnahme: 93 %) und sicher (keine auftretenden Verletzungen) eingestuft werden kann. Darüber hinaus konnte festgehalten werden, dass ein Anrisstraining am JERGo[®]-System gegenüber einem Anrisstraining mit Partner zu signifikant

größeren Zuwachsraten von kinetischen und elektromyografischen Parametern während der AnS führt (Helm et al., 2018a). Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit, bezogen auf verbesserte kinetische Parameter (insbesondere der Explosivkraft) während AnS nach einem Anrisstraining am JERGo[®]-System gegenüber einem Anrisstraining mit Partner (unabhängig von der Gruppe und damit der Reihenfolge der Trainingsmaßnahmen) stehen teilweise im Einklang mit der Literatur zu den Auswirkungen von spezifischen Krafttrainingsmaßnahmen bei Judoka (Blais & Trilles, 2006; Möller et al., 2011b; Helm et al., 2018a). So untersuchten bereits Blais und Trilles (2006) die Effekte eines Anrisstrainings an einem judospezifischen Krafttrainingsgerät (2x/Woche) auf den Parameter dynamisch Maximalkraft während der AnE bei 20 männlichen, angehenden Judotrainern (schwarzer Gürtel, mindestens 2. Dan). Es zeigte sich, dass die Interventionsgruppe (Alter: 22 ± 4 Jahre) nach einem zehnwöchigen Anrisstraining signifikant höhere dynamische Maximalkräfte bei der Ausführung der Wurftechnik *Morote-seoi-nage* ($d = 1,00$) und *O-soto-gari* ($d = 6,13$) realisieren konnte, während die passive Kontrollgruppe (Alter: 23 ± 2 Jahre) keine signifikanten Steigerungen erzielte. Zudem konnte anhand einer subjektiven Bewertung (Skala: 1 bis 20 Punkte) von Technikexperten des französischen Judo-Verbandes lediglich in der Interventionsgruppe eine signifikante Verbesserung der Wurfqualität ($0,52 \leq d \leq 1,19$) bei der Ausführung beider Techniken beobachtet werden (Helm et al., 2018a).

Im Gegensatz dazu konnten Möller und Kollegen (2011b) nach einem vierwöchigen technikorientierten Anrisstraining an einem Seilzugsystem (2x/Woche) bei AnS und AnE keine signifikanten Entwicklungen in den kinetischen Parametern am JERGo[®]-System feststellen (Helm et al., 2018a). Lediglich bei Betrachtung der Kraft-Zeit-Verläufe (z. B. höhere Kraftspitzen und Bewegungsgeschwindigkeiten) konnte bei der Interventionsgruppe eine qualitative Verbesserung im Vergleich zur Kontrollgruppe (nur reguläres Judotraining) beobachtet werden. Die Steigerung der dynamischen Maximalkraft und/oder der Kraft-Zeit-Verläufe bei Anrissbewegungen kann für den Ausführenden einen wettkampfentscheidenden Vorteil bedeuten, indem der Gegner stärker aus dem Gleichgewicht gebracht wird. Gleichzeitig bleibt dem Gegner weniger Zeit, Verteidigungshandlungen einzuleiten und der Gleichgewichtsbrechung entgegenzuwirken (Callister et al., 1991; Mühlbauer et al., 2014; Drid et al., 2015; Helm et al., 2018a).

Zusätzlich zu den trainingsinduzierten Leistungsveränderungen von kinetischen Parametern untersuchte diese Arbeit auch die Effekte auf elektromyografische Parameter während der

AnS von leistungsbestimmenden Muskelgruppen (M. deltoideus, M. biceps brachii, M. erector spinae, M. trapezius). Diesbezüglich zeigten die Ergebnisse dieser Arbeit analog zu den gesteigerten kinetischen Parametern erhöhte Aktivitätsniveaus in der primär beanspruchten Schulter-/Rumpfmuskulatur bei AnS nach einem Anrisstraining am JERGo[®]-System gegenüber einem Anrisstraining mit Partner (Helm et al., 2018a). Die Befunde dieser Arbeit stehen teilweise im Einklang mit der aktuellen Literaturlage (Laursen et al., 1998; Aagaard et al., 2002; Granacher et al., 2009; Möller et al., 2009; Hansen & Anders, 2016; Helm et al., 2018a). Es ist bekannt, dass beispielsweise Schulter- oder Rumpfmuskeln größere Kräfte bzw. Drehmomente bei gleicher Gelenkwinkelstellung erzeugen können, wenn sich deren Aktivitäten erhöhen (Laursen et al., 1998; Hansen & Anders, 2016; Helm et al., 2018a). Demzufolge kann vermutet werden, dass die neuromuskulären Anpassungen in der vorliegenden Arbeit zumindest teilweise für die beobachteten Leistungssteigerungen bei AnS verantwortlich sind. In diesem Sinne führen randomisierte, kontrollierte Trainingsstudien verbesserte neuronale Ansteuerungsmechanismen (z. B. Rekrutierung, Frequenzierung motorischer Einheiten) nach Krafttrainingsprogrammen als Ursache für Schnellkraftsteigerungen an (Aagaard et al., 2002; Granacher et al., 2009; Helm et al., 2018a). Die vorliegenden Ergebnisse dieser Arbeit zur Muskelaktivierung stehen jedoch im Gegensatz zu den Befunden von Möller et al. (2011b), die nach einem technikorientierten Anrisstraining an einem Seilzugsystem keine signifikanten Steigerungen von elektromyografischen Parametern bei AnS zeigen konnten. Es kann vermutet werden, dass die Trainingsform (Krafttraining vs. Techniktraining) einen Einfluss auf die unterschiedlichen Ergebnisse gehabt haben könnte. Während Techniktraining z. B. traditionell mit geringeren Intensitäten durchgeführt wird, wurde in der vorliegenden Arbeit eine gewichtsklassenspezifische Belastungsintensität mittels JERGo[®]-System gewährleistet (Helm et al., 2018a). In diesem Zusammenhang zeigten die Befunde dieser Arbeit (Publikation II), dass die technischen Einstellungsmodalitäten des JERGo[®]-Systems bei AnS zu höheren Widerständen im Vergleich zu Bewegungsausführungen mit einem Partner führen. Höhere Belastungsintensitäten werden für optimale neuromuskuläre Anpassungen und (Explosiv-)Kraftsteigerungen postuliert (Aagaard et al., 2002; Helm et al., 2018a). Mit Bezug zur Zweikampfsportart Judo empfehlen auch Blais et al. (2007b) höhere Widerstände bei der Durchführung von AnE (*Morote-seoi-nage*) an einem judospezifischen Krafttrainingsgerät im Vergleich zur Durchführung mit Partner. Es ist also zu erwarten, dass ein Anrisstraining am JERGo[®]-System aufgrund der höheren Belastungsintensitäten günstigere Trainingsreize als ein technikorientiertes

Anrisstraining am Seilzugsystem und/oder ein Anrisstraining mit Partner setzt (Helm et al., 2018a).

Die signifikante Überlegenheit des Anrisstrainings am JERGo[®]-System gegenüber einem Anrisstraining mit Partner hinsichtlich kinetischer und elektromyografischer Parameter konnte lediglich für die standardisierte AnS nachgewiesen werden. Für die koordinativ anspruchsvollere AnE konnten zwar signifikante Verbesserungen nach dem achtwöchigen Anrisstraining am JERGo[®]-System und Anrisstrainings mit Partner gezeigt werden, jedoch war ein signifikanter Mehrwert gegenüber einem Anrisstraining mit Partner nicht eindeutig zu beobachten. Vor dem Hintergrund, dass das JERGo[®]-System lediglich moderate und große trainingsinduzierte Leistungsveränderungen detektieren kann (Publikation II), ist der geplante vierwöchige Trainingsinterventionszeitraum vermutlich nicht ausreichend, um einen entsprechenden Mehrwert darzustellen. Es kann vermutet werden, dass ein Anrisstraining am JERGo[®]-System mit einem längeren Interventionszeitraum von mehr als vier Wochen und/oder einer progressiven Steigerung des Widerstandes zu signifikanten Leistungssteigerungen von kinetischen Parametern bei AnE führt. Dementsprechend sind jedoch weitere Untersuchungen notwendig, um diese Nachweise zu erbringen (Helm et al., 2018a).

In Bezug auf die Effekte durch ein Anrisstraining am JERGo[®]-System bzw. mit Partner auf die ebenfalls erhobenen Leistungskennwerte von sportmotorischen Tests (Liegend-Anreißen, Klimmziehen) konnten keine signifikanten Verbesserungen gefunden werden. Als Begründung kann hier das Prinzip des spezifischen Trainingsreizes angeführt werden, d. h. trainingsinduzierte Leistungsanpassungen sind umso größer, je ähnlicher sich Trainingsübung und Testaufgabe sind (Behm & Sale, 1993; Helm et al., 2018a). Demnach könnte die Bewegungscharakteristik der judospezifischen Trainingsübungen (AnS und AnE) zu spezifisch sein, um Leistungssteigerungen in den sportmotorischen Tests Liegend-Anreißen und Klimmziehen zu erzielen. Diese Annahme wird dadurch bestätigt, dass im Rahmen der vorliegenden Arbeit nur geringe Zusammenhänge ($-0,42 \leq d \leq 0,56$) in den Delta-Werten zwischen den kinetischen Parametern bei judospezifischen Anrissbewegungen und den Kennwerten der sportmotorischen Tests festgestellt wurden (Helm et al., 2018a).

7 Handlungsempfehlungen für die Trainingspraxis

Der sportliche Erfolg lässt sich in der Zweikampfsportart Judo ebenso wie in allen anderen „situativen Sportarten“ aufgrund der physischen und technisch-taktischen Anforderungen nicht zuverlässig prognostizieren, aber durch einen zielgerichteten Trainingsprozess auf Grundlage des Leistungsstrukturmodells, der wettkampfspezifischen Leistungsstruktur, des Anforderungsprofils und geeigneter leistungsdiagnostischer Verfahren vorbereiten (Helm et al., 2019). Anhand der Zielsetzung dieser kumulativen Doktorarbeit werden in diesem Kapitel Handlungsempfehlungen für die Diagnostik und das Training zur Verbesserung von Anrissbewegungen und Wurftechniken dargestellt.

Die wesentlichen Ergebnisse dieser Doktorarbeit (Publikation I und II) zeigten, dass es sich für die Verbesserung der judospezifischen Anrisskraft von AnS und AnE empfiehlt, den ganzen Körper und insbesondere die unteren Extremitäten sowie die Rumpfmotoren unter explosiver Muskelaktivierung zu trainieren. Im Gegensatz dazu sollten die oberen Extremitäten, d. h. Brust, Schulter, Arme, die bei der Anriss-/Wurfausführung und während des Griffkampfes eine entscheidende Bedeutung haben, sowohl unter explosiver Muskelaktivierung, z. B. bei Anrissbewegungen, als auch unter kraftausdauernder Muskelaktivierung, z. B. beim Griffkampf, trainiert werden. Vor dem Hintergrund, dass im Judo Angriffs- und Verteidigungshandlungen schnelle dynamischen Aktionen zugrunde liegen, sind im Krafttraining vor allem dynamische und explosive Muskelaktionsformen zur Verbesserung der Anriss- und Wurfbewegungen zu empfehlen (Helm et al., 2019). Diese Übungen können als Teilwiederholung oder über die gesamte Bewegungsamplitude ausgeführt werden (Harris et al., 2019; Helm et al., 2019).

Weiterhin sollten neben Standardkraftübungen, z. B. Bankdrücken, Kniebeuge etc., auch komplexe Schnellkraftübungen, z. B. Standreißen, Standumsetzen etc., sowie Reaktivkraftübungen, z. B. Nieder-Hochsprünge, in das Krafttraining integriert werden, um die Zusammenarbeit der beteiligten Muskelgruppen bzw. der Muskelschlingen zu verbessern (Harris et al., 2019; Tittel & Seidel, 2016; Helm et al., 2019). Darüber hinaus sind auch spezifische Kraftübungen wie beispielsweise AnE und AnE mit elastischen Gummibändern (umgangssprachlich „*korea bands*“ genannt) und insbesondere am JERGo[®]-System zu empfehlen. In diesem Zusammenhang zeigten die Ergebnisse dieser kumulativen Doktorarbeit, dass die am JERGo[®]-System erhobenen kinetischen Parameter bei Anrissbewegungen als valide und reliabel eingestuft werden konnten (Publikation II) und somit für die judospezifische Diagnostik

herangezogen werden sollten. Zudem ergaben die Befunde dieser Arbeit (Publikation IV), dass ein Anrisstraining am JERGo[®]-System gegenüber einem traditionellen Anrisstraining mit Partner zu signifikant größeren Zuwachsraten in der Explosivkraft und mechanischen Arbeit bei Judoka mit nationalem Leistungsniveau (Alter: 22 ± 4 Jahre) führt (Helm et al., 2019). Auf Grundlage der Erkenntnisse dieser Arbeit und bestehender Empfehlungen zur Entwicklung der Explosivkraft (Bompa & Haff, 2015) eignet sich für das Training von judospezifischen Anrisbewegungen eine methodische Vorgehensweise von drei bis fünf Serien á fünf Wiederholungen mit 3 Sekunden Pause zwischen den Wiederholungen und 3 bis 5 Minuten Serienpause unter explosiver Bewegungsausführung (Helm et al., 2019). Zudem sollte für ein Anrisstraining am JERGo[®]-System ein Interventionszeitraum von mehr als vier Wochen sowie eine progressive Steigerung des Widerstandes berücksichtigt werden, wobei die saubere technische Ausführung immer höchste Priorität besitzt. Aufgrund der beschriebenen komplexen Anforderungen und der langen Wettkampfphase empfiehlt es sich, die fundamentalen sportmotorischen Fähigkeiten, d. h. Kraft, Schnelligkeit, Ausdauer sowie Technik und Beweglichkeit, über das komplette Jahr zu entwickeln (Bompa & Buzzichelli, 2015; Helm et al., 2019). Die systematische leistungsbedingte Anpassung der Belastungsgrößen wie Belastungs- und Trainingsdichte (Belastungs-Erholungs-Intervalle) oder der Belastungsprogression sind in diesem Zusammenhang zu berücksichtigen (Helm et al., 2019). In diesem Kontext geben Harris et al. (2019) praktikable Modellvorschläge für das periodisierte Training (Abb. 5). Zudem spielt die jeweilige Gewichtsklasse eines Judoka bei der Wahl der Krafttrainingsmethode eine entscheidende Rolle. So sollten Leicht- und Mittelgewichtsjudoka ein Maximalkrafttraining mit dem Ziel einer verbesserten willkürlichen Aktivierungsfähigkeit (neuromuskuläres Koordinationstraining) oder ein Schnellkrafttraining mit dem Ziel einer Verbesserung der Muskelleistung dem Hypertrophietraining vorziehen, um keine zusätzliche Körpermasse aufzubauen (Helm et al., 2019).

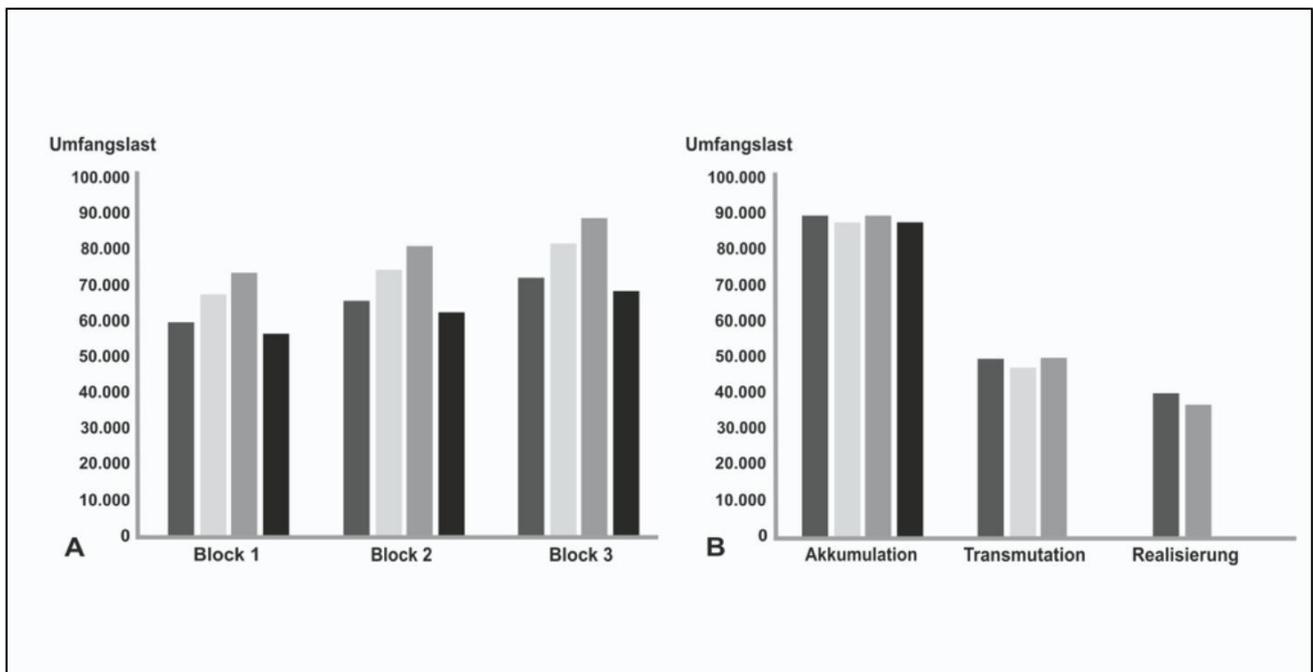


Abbildung 5: Exemplarische Darstellung einer (a) traditionellen Periodisierung im Vergleich zu einer (b) konjugierten Sequenzperiodisierung. Die Umfangslast (engl. „*volume load*“) wird definiert als Produkt aus: Sätze x Wiederholungen x prozentual gehobene Last (kg) vom Einer-Wiederholungs-Maximum (Harris et al., 2019)

Ableitend aus der systematischen Anforderungsanalyse der Zweikampfsportart Judo sind in Tabelle 1 sportmotorische Tests und apparative Messverfahren im Rahmen einer komplexen Leistungsdiagnostik unter Berücksichtigung der Kraftfähigkeit zusammenfassend dargestellt. Zudem empfiehlt es sich, Beweglichkeitstests für die Schulter-, Hüft- und Sprunggelenke in den Prozess der Trainingssteuerung zu integrieren. Diese Testbatterie sollte zu distinkten Zeitpunkten im Jahresverlauf durchgeführt werden und die Ergebnisse sollten als Grundlage für etwaige Anpassungen im Trainingsprozess herangezogen werden (Helm et al., 2019). In diesem Kontext empfehlen Büsch et al. (2016b) eine ausreichend umfangreiche Datengrundlage einzelner Tests zur Bildung von Orientierungswerten. Zudem sollten mehrere Einzeltests zu Orientierungsprofilen zusammengefügt werden, um aussagekräftige Hinweise auf die sportmotorische Leistungsentwicklung zu erhalten.

Tabelle 1: Exemplarische Darstellung diagnostischer Maßnahmen hinsichtlich der sportmotorischen Fähigkeit Kraft für Anrissbewegungen in der Zweikampfsportart Judo.

Messverfahren	Kraft		
	Maximalkraft	Kraftausdauer	Schnellkraft
Sportmotorische Tests	Kreuzheben (DYN)	Bankdrücken (DYN)	CMJ (DYN)
	Kniebeuge (DYN)	Liegend-Anreißen (DYN)	SJ (DYN)
	Bankdrücken (DYN)	Klimmziehen (DYN)	
	Liegend-Anreißen (DYN)	Seile Hangeln (DYN)	
	Klimmziehen (DYN)		
	Standreißen (DYN)		
	Standumsetzen (DYN)		
Apparative Messverfahren	Rumpffrotation (DYN)		JERGo® AnS (DYN)
	Rumpfextension (DYN)		JERGo® AnE (DYN)
	Rumpfflexion (DYN)		
	Handkraft (ISO)		

Legende: CMJ = Vertikalsprung mit Ausholbewegung (engl. „*countermovement jump*“), SJ = Kauersprung (engl. „*squat jump*“; AnS = Anrissbewegung im Stand, AnE = Anriss- mit Eindrehbewegung, ISO = isometrisch, DYN = dynamisch.

8 Limitationen und Empfehlungen für zukünftige Forschungen

In der vorliegenden Arbeit wurden neben der Modulierung eines judospezifischen Leistungsstrukturmodells in Anlehnung an Bussweiler (2011) und Heinisch (2014), eine systematische Literaturrecherche im Rahmen eines Überblicksbeitrags sowie zwei Querschnitt- und eine Längsschnittstudie durchgeführt, um das konditionelle Anforderungsprofil eines Judoka zu erarbeiten (Publikation I) sowie die Testgütekriterien des JERGo[®]-Systems zur Erhebung kinetischer Parameter bei judospezifische Anrissbewegungen (Publikation II), die Beziehung zwischen der Rumpfmuskelkraft und der judospezifischen Anrisskraft (Publikation III) sowie die Effekte eines Anrisstrainings am JERGo[®]-System gegenüber einem Anrisstrainings mit Partner zu untersuchen (Publikation IV).

An dieser Stelle sei zu erwähnen, dass das modulierte Leistungsstrukturmodell der Zweikampfsportart Judo (d. h. ohne Kriteriumsleistung) aus Sicht der Modellbildung schwächen aufzeigt und sich dem Vorwurf der „*boxology*“ gefallen lassen muss. Insbesondere werden die unterschiedlichen Komponenten lediglich expertisebasiert benannt und durch Beziehungspfeile miteinander verknüpft, wobei u. a. Ursache-Wirkungs- und Wechselbeziehungen sowie Voraussetzungen unklar sind (Hohmann et al., 2014). In der Trainingspraxis ist diese Art der Modellbildung jedoch weit verbreitet, um die komplexe Realität vereinfacht darzustellen. Alternativ finden in der Trainingswissenschaft evidenzbasierte Deduktionskettenmodelle Anwendung, die eindeutig auf den Zusammenhang zwischen Einflussfaktoren und der Kriteriumsleistung eingehen, indem durch Regressionsanalysen korrelationsstatistische Verknüpfungen berechnet werden (Hohmann et al., 2014). Vor dem Hintergrund der sportartspezifischen Komplexität mit Interaktionscharakter stellt die Erarbeitung eines mathematisch modellierten Deduktionskettenmodells für die Zweikampfsportart Judo einen wesentlichen Forschungsschwerpunkt für die Zukunft dar.

Zur Beantwortung der gezielten Fragestellungen einer systematischen Anforderungsanalyse für die Zweikampfsportart Judo (Publikation I) wurde englisch- und deutschsprachige Fachliteratur verwendet, die nach Chaabene et al. (2018), teilweise methodische Defizite aufzeigen und somit die Aussagekraft der Anforderungsanalyse limitieren. Diese Defizite beziehen sich u. a. auf eine kleine Stichprobengröße, lediglich männlich rekrutierte Judoka, die nicht beschriebene Trainingsphase der untersuchten Athleten, triviale Betrachtung der einzelnen Gewichtsklassen sowie Mängel an Details über die Einschluss- und Ausschlusskriterien. Darüber

hinaus wird in Anlehnung an Kraemer et al. (2012) lediglich auf das konditionelle Anforderungsprofil eingegangen, wobei die Zweikampfsportart Judo jedoch noch andere wichtige technisch-taktische, psychologische und koordinative Anforderungen an den Judoka im Wettkampf stellt.

Basierend auf der methodischen Vorgehensweise in den zwei Querschnitt- und der einen Längsschnittstudie dieser Arbeit, ist jedoch zu beachten, dass vor den Testmessungen lediglich eine allgemeine (d. h. 60 Sekunden Seilspringen) und spezifische Erwärmung (z. B. Anrissbewegungen am JERGo[®]-System) durchgeführt wurde. In diesem Kontext empfehlen Chaabene et al. (2018) vor der Testmessung zur Bestimmung der sportartspezifischen Leistung in den Kampfsportarten eine sogenannte Gewöhnungsmessung (engl. „*familiarisation*“) inklusive allgemeiner und spezifischer Erwärmung durchzuführen, um zuverlässige Ergebnisse zu erhalten. In zukünftigen Untersuchungen sollte daher die Einbeziehung einer Gewöhnungsmessung inklusive allgemeiner und spezifischer Erwärmung vor der Testmessung berücksichtigt werden.

Publikation II zeigt weitere Limitationen auf, wodurch die Aussagekraft der Ergebnisse eingeschränkt wird. Einerseits bestehen signifikante Unterschiede im chronologischen Alter zwischen den Spitzen- und Nachwuchsjudoka ($d = 3,08$). Es wurden zwar zwei Gruppen mit unterschiedlichem Expertiseniveau (z. B. Trainingserfahrung) in einem ähnlichen sportlichen Umfeld rekrutiert, wobei die festgestellte diskriminierende Validität jedoch nicht explizit auf die fortgeschrittene Trainingserfahrung der Spitzenathleten zurückgeführt werden kann. Nach Chaabene et al. (2018) sind Unterschiede in den Kennwerten Trainingsumfang und Trainingserfahrung eine Voraussetzung zur Bestimmung der diskriminierenden Validität eines Testverfahrens und der jeweiligen Messergebnisse. Die vorliegenden Befunde können jedoch teilweise auch auf andere nichtkontrollierbare Faktoren (z. B. Alter) zurückzuführen sein. In zukünftigen Untersuchungen sollten Judoka mit ähnlichen chronologischen Alter aber mit unterschiedlicher Trainingserfahrung (z. B. Spitzenjudoka vs. leistungsorientierte Judoka) verglichen werden, um die vorliegenden Ergebnisse hinsichtlich der diskriminierenden Validität des neuen und innovativen JERGo[®]-Systems eindeutig zu belegen. Zudem ist zu erwähnen, dass das JERGo[®]-System ein mechanisches Limit besitzt und den maximalen Widerstand von 1.000 N nicht überschreitet. Daher wurde derselbe mechanische Widerstand für die Beurteilung von Athleten der Gewichtsklassen -100 kg und +100 kg verwendet. Dies kann wahrscheinlich zu einer Unterbelastung von +100 kg Athleten während der Messung führen.

Weiterhin sollten in den nächsten Jahren ausreichend umfangreiche Daten am JERGo[®]-System erhoben werden, um alters-, geschlechts- und gewichtsklassenspezifische Orientierungswerte zu erstellen und somit aussagegrätige Hinweise zur Leistungsentwicklung eines Judoka geben zu können (Büsch et al., 2016). Zudem ist es in nachfolgenden Untersuchungen erforderlich, die Prognosevalidität des JERGo[®]-Systems zu überprüfen, d. h., korrelieren die am JERGo[®]-System erhobenen kinetischen Parameter mit der Wettkampfleistung (z. B. Wertungspunkte pro Angriff einer beidbeinigen Eindrehtechnik) (Helm et al., 2018c).

Das gewählte Studiendesign der Publikation III schränkt die Aussagekraft der Ergebnisse ein, weil Querschnittstudien- im Vergleich zu Längsschnittstudien keine Ursache-Wirkungsbeziehungen zulassen. Somit kann nur vermutet werden, dass eine Verbesserung der maximalen isokinetischen Rumpfkraftparametern zu höheren kinetischen Parametern bei Anrissbewegungen führen könnten. Eine weitere Limitation der Publikation III stellt die Beschränkung der Datenerhebung auf Leistungskennwerte dar. Die Einbeziehung von präventiven Wirkungen auf Verletzungsparameter, wie beispielsweise der Knieabduktionswinkel, hätte die wissenschaftliche Qualität erhöhen können. In zukünftigen Studien sollten daher vor allem die Effekte eines Rumpfkrafttrainings auf kinetische Parameter bei Anrissbewegungen und ausgewählte Verletzungsparameter untersucht werden (Helm et al., 2018b).

In Bezug auf die Aussagekraft von Publikation IV muss erwähnt werden, dass aufgrund des Fehlens einer aktiven (d. h. nur reguläres Judotraining) oder passiven Kontrollgruppe (d. h. kein Training) die Interpretation der Ergebnisse eingeschränkt ist. Die Einbeziehung einer passiven Kontrollgruppe ist jedoch im Leistungssport nur schwer realisierbar, weil die Athleten das Training nicht für acht Wochen einstellen können, ohne Leistungseinbußen hinzunehmen. Darüber hinaus war die Einbeziehung einer aktiven Kontrollgruppe in diesem konkreten Fall aufgrund der geringen Athletenanzahl am Standort Potsdam nicht möglich (Helm et al., 2018a). Eine weitere Limitation stellt die fehlende Wash-Out-Phase (Wellek & Blettner, 2012) dar, die der Vorbereitung auf die folgende Wettkampfsaison durch mehrere Trainingslager geschuldet war (Helm et al., 2018a). Unterschiedliche Leistungsveränderungen in beiden Gruppen nach dem ersten Interventionsblock (d. h. Anrisstraining am JERGo[®]-System durch Gruppe 1, Anrisstraining mit Partner durch Gruppe 2) können heterogene Ausgangsbedingungen für den folgenden zweiten Trainingsblock (d. h. Anrisstraining mit Partner durch Gruppe 1, Anrisstraining am JERGo[®]-System durch Gruppe 2) dargestellt haben, womit das Ausgangsniveau unterschiedlich ausgeprägt war (Carry-Over-Effekte). Hinsichtlich der zusätzlich

zum regulären Training durchgeführten Intervention könnten zudem trainingsinduzierte Wechselwirkungen mit möglichen Dämpfungseffekten aufgetreten sein (Helm et al., 2018a). Vor dem Hintergrund, dass keine eindeutigen signifikanten trainingsinduzierten Leistungssteigerungen durch ein Anrisstraining am JERGo[®]-System beobachtet wurden und das JERGo[®]-System lediglich moderate und große trainingsinduzierte Leistungsveränderungen detektieren kann (Publikation II), sollte in zukünftigen Untersuchungen geprüft werden, ob ein längerer Interventionszeitraum (> vier Wochen) und die Progression (z. B. Erhöhung des Widerstandes) eines Anrisstrainings am JERGo[®]-System zu signifikanten Leistungssteigerungen der analysierten kinetischen und elektromyografischen Parameter bei AnE führt (Helm et al., 2018a).

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass diese kumulative Doktorarbeit eine Grundlage für die Diagnostik und das Training in der Sportart Judo darstellt. Zukünftig sind weitere evidenzbasierte Analysen in der Zweikampfsportart Judo notwendig, um das Leistungsstrukturmodell und die Anforderungsanalyse weiterzuentwickeln und die Wirkungen von Trainingsinterventionen besser abschätzen zu können. Dieser Prozess wird aufgrund der technischen Weiterentwicklung von Messverfahren, neuen wissenschaftlichen Erkenntnissen zur Individualisierung des Trainings und möglichen Regeländerungen, wie beispielsweise Kampfzeitreduzierung von 4 auf 5 Minuten und/oder Verbot von Techniken, kontinuierlich weitergeführt (Helm et al., 2019).

9 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.
- Akuthota, V., Ferreiro, A., Moore, T. & Fredericson, M. (2008). Core stability exercise principles. *Current Sports Medicine Reports* 7 (1), 39–44.
- Barbado, D., Lopez-Valenciano, A., Juan-Recio, C., Montero-Carretero, C., van Dieen, J. H. & Vera-Garcia, F. J. (2016). Trunk stability, trunk strength and sport performance level in judo. *POLS ONE* 11 (9).
- Behm, D. (1995). Neuromuscular implications and applications of resistance training. *Journal of Strength and Conditioning Research* 9 (4), 264–274.
- Behm, D. & Sale, D. (1993). Velocity specificity of resistance training. *Sports Medicine* 15 (6), 374–388.
- Bigland-Ritchie, B. (1981) EMG/force relations and fatigue of human voluntary contractions. *Exercise and Sport Sciences Reviews* 9, 75–117.
- Blache, Y. & Monteil, K. (2014). Influence of lumbar spine extension on vertical jump height during maximal squat jumping. *Journal of Sports Science* 32 (7), 642–651.
- Blais, L. & Trilles, F. (2006). The progress achieved by judokas after strength training with a judo-specific machine. *Journal of Sports Science and Medicine* 5, 132–135.
- Blais, L., Trilles, F. & Lacouture, P. (2007a). Three-dimensional joint dynamics and energy expenditure during the execution of a judo throwing technique (Morote Seoï Nage). *Journal of Sports Sciences* 25 (11), 1211–1220.
- Blais, L., Trilles, F. & Lacouture, P. (2007b). Validation of a specific machine to the strength training of judokas. *Journal of Strength and Conditioning Research* 21 (2), 409–412.
- Bompa, T. & Buzzichelli, C. (2015). *Periodization. Training for Sports* (3. Aufl.). Champaign: Human Kinetics.
- Bompa, T. & Haff, G. G. (2015). *Periodization. Theory and Methodology of Training* (5. Aufl.). Champaign: Human Kinetics.
- Bourdon, P. C., Cardinale M., Murray, A., Gastin, P., Kellmann, M., Varley, M. C., Gabbett, T. J., Coutts, A. J., Burgess, D. J., Gregson, W. & Cable, N. T. (2017). Monitoring athlete training loads: Consensus statement. *International Journal of Sports Physiology and Performance* 12 (Suppl 2), S2161–S2170. doi: 10.1123/ijsp.2017-0208.
- Büsch, D., Heinisch, H. D., Bussweiler, J., Gawin, W. & Oswald, R. (2012). Einführung in das Themenheft zur Wettkampfanalyse in den Zweikampf- und Spilsportarten. *Zeitschrift für Angewandte Trainingswissenschaft* 19 (1), 9–12.
- Büsch, D., Marschall, F., Schumacher, K., Pabst, J., Naundorf, F., Braun, J., Granacher, U. (2014). Streng dich an! Trainingssteuerung durch subjektives Empfinden. *Trainer* (6), 12–14.
- Büsch, D., Meyer, G., Weigel, C., Kurrat, H. Braun, J. & Granacher, U. (2016a). Bedeutung, Diagnostik und Training der lokalen Rumpfkraftausdauer im Handball. *Leistungssport* 46 (2), 30–35.
- Büsch, D., Heinisch, H. D. & Lüdemann, R. (2016b). Von Leistungsstrukturmodellen über Anforderungsprofile und Trainingsstudien zur Leistungssteuerung. In D. Büsch, D. Heinisch & R. Lüdemann (Hrsg.), *Leistungsfaktoren in Spiel- und Zweikampfsportarten* (Schriftreihe für Angewandte Trainingswissenschaft, 5, S. 7–11). Aachen: Meyer & Meyer.

- Büsch, D., Schorer, J. & Raab, M. (2017). Taktik und Taktiktraining. In K. Hottenrott & I. Seidel (Hrsg.), *Handbuch Trainingswissenschaft – Trainingslehre. Beiträge zur Lehre und Forschung im Sport* (S. 291–302). Schorndorf: Hofmann.
- Bussweiler, J. (2011). Arbeitsmodell Leistungsstruktur Olympisches Boxen Elite Männer. Leipzig. IAT. Unveröffentlichtes Arbeitsmaterial.
- Callister, R., Callister, R. J., Staron, R. S., Fleck, S. J., Tesch, P. & Dudley, G. A. (1991). Physiological characteristics of elite judo athletes. *International Journal of Sports Medicine* 12 (2), 196–203.
- Chaabene, H., Negra, Y., Bouguezzi, R., Capranica, L., Franchini, E., Prieske, O., Hbacha, H. & Granacher, U. (2018). Tests for the assessment of sport-specific performance in olympic combat sports: A systematic review with practical recommendations. *Frontiers in Physiology* 9, 386. eCollection 2018.
- Chaabene, H., Negra, Y., Capranica, L., Prieske, O. & Granacher, U. (2019). A needs analysis of karate kumite with recommendations for performance testing and training. *Strength and Conditioning Journal* 41 (3), 35–46. doi:10.1519/SSC.0000000000000445.
- Cieszczyk, P., Maciejewska, A., Sawczuk, M., Ficek, K., Eider, J. & Jascaniene, N. (2010). The angiotensin converting enzyme gene I/D polymorphism in elite Polish and Lithuanian judo players. *Biology of Sport* 27 (2), 119–122.
- Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral science* (2. Aufl.). Hillsdale: Erlbaum.
- Detanico, D., Dal Pupo, J., Franchini, E. & Dos Santos, S. G. (2015). Effects of successive judo matches on fatigue and muscle damage markers. *Journal of Strength and Conditioning Research* 29 (4), 1010–1016.
- Detanico, D., Dal Pupo, J., Graup, S. & Dos Santos, S. G. (2016). Vertical jump performance and isokinetic torque discriminate advanced and novice judo athletes. *Kinesiology* 48 (2), 223–228.
- Deutscher Judo-Bund e.V. (2011). Begleitmaterial zum Dan-Prüfungsprogramm. Ein Nachschlagewerk zu verschiedenen Themen der Dan-Prüfungsortnung im Deutschen Judo Bund e.V. Im Internet: http://www.judobund.de/fileadmin/_horusdam/487-Begleitmaterial_DanPO_DJB_Mai2011.pdf Stand: 31.03.2016.
- Deutscher Judo-Bund e.V. (2013). Testbatterie Rahmenkonzeption DJB.
- Dinn, N. & Behm, D. (2007). A comparison of ballistic-movement and ballistic-intent training of muscle strength and activation. *International Journal of Sports Physiology and Performance* 2 (4), 386–399.
- Drid, P., Casals, C., Mekic, A., Radjo, I., Stojanovic, M. & Ostojic, S. M. (2015). Fitness and anthropometric profiles of international vs. national judo medalists in half-heavyweight category. *Journal of Strength and Conditioning Research* 29 (8), 2115–2121.
- Fleiss, J. L. (1986). Reliability of measurement. The design and analysis of clinical experiments. New York: Wiley.
- Franchini, E., Takito, M. Y., Kiss, M. A. & Sterkowicz, S. (2005). Physical fitness and anthropometrical differences between elite and non-elite judo players. *Biology of Sport* 22 (4), 315–328.
- Franchini, E., Miarka, B., Matheus, L. & Del Vecchio, F. B. (2011). Endurance in judogi grip strength tests: Comparison between elite and non-elite judo players. *Archives of Judo* 7 (1), 1–4.
- Franchini, E., Artioli, G. G. & Brito, C. J. (2013). Judo combat: time-motion analysis and physiology. *International Journal of Performance Analysis in Sport* 13 (3), 624–641.
- Franchini, E., Brito, C. J., Fukuda, D. H. & Artioli, G. G. (2014). The physiology of judo-specific training modalities. *Journal of Strength and Conditioning Research* 28 (5), 1474–1481.

- Foster, C., Rodriguez-Marroyo, J. A., & de Koning, J. J. (2017). Monitoring Training Loads: The Past, the Present, and the Future. *International Journal of Sports Physiology and Performance* 12 (Suppl 2), S22–S28. doi:10.1123/ijsp.2016-0388.
- Granacher, U., Gruber, M. & Gollhofer, A. (2009). Resistance training and neuromuscular performance in seniors. *International Journal of Sports Medicine* 30 (9), 652–657.
- Gutierrez, A., Prieto, I. & Cancela, J. M. (2009). Most frequent errors in judo uki goshi technique and the existing relations among them analysed through T-patterns. *Journal of Sports Science and Medicine* 9 (CSSI3), 36–46.
- Hansen, L. C. & Anders, C. (2016). Trunk muscle amplitude-force relationship is only quantitatively influenced by control strategy. *Journal of Biomechanics* 49 (3), 408–415.
- Harris, D. M., Foulds, S. & Latella, C. (2019). Evidence-Based Training Recommendations for elite judoka. *Strength and Conditioning Journal*. doi: 10.1519/SSC.0000000000000426. Ahead of print.
- Heinisch, H. D. & Lehmann, G. (2007). Struktur und Zielgerichtetheit der sportartspezifischen Trainingsmittel im Judo. *Leistungssport* 37 (5), 6-14.
- Heinisch H. D., Oswald, R., Ultsch, D., Bazynski, N. Birod, M. & Büsch D. (2012). Analyse der Olympischen Spiele 2012 im Judo. *Zeitschrift für Angewandte Trainingswissenschaft* 19 (2), 121–150.
- Heinisch H. D. (2014). Aktueller Stand zum Leistungsstrukturmodell Judo. Leipzig. IAT. Unveröffentlichtes Arbeitsmaterial.
- Heinisch, H. D., Oswald, R., Ultsch, D., Bazynski, M., Leonhardt, S. & Büsch, D. (2017). Analyse der Olympischen Spiele 2016 im Judo und Entwicklungstendenzen im Olympiazzyklus 2012–2016. In: J. Wick, I. Seidel, D. Büsch, Olympiaanalyse Rio 2016: Olympiazzyklusanalysen und Auswertungen der Olympischen Spiele 2016. Aachen: Meyer & Meyer.
- Helm, N., Prieske, O., Muehlbauer, T., Krüger, T. & Granacher, U. (2018a). Effekte eines judospezifischen Messplatztrainings auf kinetische und elektromyografische Parameter des Anreißen bei Wurfeingangsbewegungen von Judoka. *Sportschaden Sportverletzung* 32 (2), 134–142.
- Helm, N., Prieske, O., Muehlbauer, T., Krüger, T., Retzlaff, M. & Granacher, U. (2018b). Assoziationen zwischen der Rumpfkraft und judospezifischen Anriss-Leistungen von Judoka. *Sportschaden Sportverletzung*. Ahead of Print. doi: 10.1055/a-0677-9608, Epub ahead of print.
- Helm, N., Prieske, O., Muehlbauer, T., Krüger, T., Chaabene, H. & Granacher, U. (2018c). Validation of a new judo-specific ergometer system in male elite and sub-elite athletes. *Journal of Sports Science and Medicine* 17 (3), 465–475.
- Helm, N., Prieske, O., Chabeene, H., Büsch, D., Heinisch, H. D. & Granacher, U. (2019). Systematische Analyse des konditionellen Anforderungsprofils in der Zweikampfsportart Judo. *Leistungssport* 49 (5), 17–22.
- Hermens, H. J., Merletti, R. & Freriks, B. (1999). *SENIAM: European recommendations for surface electromyography results of the SENIAM project*. 2nd edition. Enschede, Roessingh Research and Development.
- Hermine, O., Dine, G., Genty, V., Marquet, L. A., Fumagalli, G., Tafflet, M., Guillem, F., van Lierde, F., Rousseaux-Blanchi, M. P., Paliarne, C., Lapostolle, J. C., Cervetti, J. P., Frey, A., Jouven, X., Noirez, P. & Toussaint, J. F. (2015). Eighty percent of French sport winners in Olympic, World and Europeans competitions have mutations in the hemochromatosis HFE gene. *Biochimie* 119, 1–5.
- Hohmann, A., Lames, M. & Letzelter, M. (2014). *Einführung in die Trainingswissenschaft* (6. Aufl.). Wiebelsheim: Limpert.

- Hoppe, M. W., Freiwald, J., Baumgart, C., Born, D. P., Reed, J. L. & Sperlich, B. (2015). Relationship between core strength and key variables of performance in elite rink hockey players. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness* 55 (3), 150–157.
- Hottenrott, K. & Hoos, O. (2013). Sportmotorische Fähigkeiten und sportliche Leistungen – Trainingswissenschaft. In A. Güllich & M. Krüger (Hrsg.), *Sport* (S. 439–501). Berlin/Heidelberg: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-37546-0_12.
- Imamura, R. T., Hreljac, A., Escamilla, R. T. & Edwards, W. B. (2006). A three-dimensional analysis of the center of mass for three different judo throwing techniques. *Journal of Sports Science and Medicine* 5 (CSSI), 122–131.
- International Judo Federation (2017). Detailed explanation of the IJF judo refereeing rules. (11.09.2018). Von <https://www.ijf.org/news/show/detailed-explanation-of-theijf-judo-refereeing-rules> abgerufen.
- Itaka, T., Agemizu, K., Aruga, S. & Machida, S. (2016). G allele of the IGF2 Apal polymorphism is associated with judo status. *Journal of Strength and Conditioning Research* 30 (7), 2043–2048.
- Kibler, W. B., Press, J. & Sciascia, A. (2006). The role of core stability in athletic function. *Sports Medicine* 36 (3), 189–198.
- Kort, H. D., Hendriks, E. R. (1992). A comparison of selected isokinetic trunk strength parameters of elite male judo competitors and cyclists. *The Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy* 16 (2), 92–96.
- Kraemer, W. J., Comstock, B. A., Clark, J. E. & Dunn-Lewis, C. (2012). Athlete needs analysis. In *NSCA's guide to program designs*, 1–21.
- Lames, M. (1991). Leistungsdiagnostik durch Computersimulation. Ein Beitrag zur Theorie der Sportspiele am Beispiel Tennis. *Beiträge zur Sportwissenschaft* 17. Frankfurt a.M.: Deutsch.
- Laursen, B., Jensen, B. R., Németh, G. & Sjøgaard, G. (1998). A model predicting individual shoulder muscle forces based on relationship between electromyographic and 3D external forces in static position. *Journal of Biomechanics* 31 (8), 731–739.
- Lehmann, G. & Müller-Deck, H. (1986). Judo. Ein Lehrbuch für Trainer, Übungsleiter und Aktive. Berlin: Sportverlag Berlin.
- Lehmann, G. & Ulbricht, J. (2007). Judo. Klassische und modern Wurftechniken. Aachen: Meyer & Meyer.
- Möller, S. (2011a). *Objektivierung angriffsspezifischer Technikelemente und deren Beeinflussung bei Spitzenathleten im Judo*. Dissertation, Universität Potsdam, Professur für Trainings- und Bewegungswissenschaft.
- Möller, S., Bergmann, J. & Gruber, M. (2011b). Technikspezifisches Training zur Verbesserung der neuromuskulären Leistungsfähigkeit bei Anriss- und Platzwechselbewegungen im Judo. *BISp-Jahrbuch: Forschungsförderung 2010/2011*, 161–164.
- Mühlbauer, T., Krüger, T., Schendel, M., Wollburg, D., Heinisch, H. D., Ultsch, D., Büsch, D. & Granacher, U. (2014). Anwendung eines judospezifischen Mess- und Informationssystems (JERGo©-System) für Diagnostik und Training. *Leistungssport* 44 (6), 21–26.
- Mueller, S., Stoll, J., Mueller, J., & Mayer, F. (2012). Validity of isokinetic trunk measurements with respect to healthy adults, athletes and low back pain patients. *Isokinetics and Exercise Science* 20, 255–266.
- Nesser, T. W., Huxel, K. C., Tincher, J. L., Okada, T. (2008). The relationship between core stability and performance in division I football players. *The Journal of Strength and Conditioning Research* 22 (6), 1750–1754.

- Nowoisky, H. (1997). Zur biomechanischen Analyse und Kraftdiagnostik von Kampftechniken in den Olympischen Zweikampfsportarten. In U. Mosebach (Hrsg.), *Judo – Wurf und Fall. Beiträge zur Theorie und Praxis der Kampfsportart Judo*. Schorndorf: Karl Hofmann Verlag.
- Olivier, N., Marschall, F. & Büsch, D. (2016). *Grundlagen der Trainingswissenschaft und -lehre* (2. Aufl.). Schorndorf: Hofmann.
- Pocecco, E., Gatterer, H., Ruedl, G. & Burtscher, M. (2012). Specific exercise testing in judo athletes. *Archives of Budo* 8 (3), 133–139.
- Prieske, O., Wick, D., & Granacher, U. (2014). Intrasession and intersession reliability in maximal and explosive isometric torque production of the elbow flexors. *Journal of Strength and Conditioning Research* 28 (6), 1771–1777. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000321>.
- Prieske, O. (2015). *The role of surface condition in athletic performance*. Dissertation, Universität Potsdam, Professur für Trainings- und Bewegungswissenschaft.
- Prieske, O., Muehlbauer, T. & Granacher, U. (2016). The role of trunk strength for physical fitness and athletic performance in trained individuals: A systematic review and meta-analysis. *Sports Medicine* 46 (3), 401–419.
- Prieske, O. & Granacher, U. (2019). Sportmedizinische Grundlagen: Die Bedeutung der Trainingswissenschaft für die sportliche Leistungsoptimierung und den Gesundheitserhalt. In A. Güllich & M. Krüger (Hrsg.), *Bewegung, Training, Leistung und Gesundheit*. Berlin/Heidelberg: Springer-Verlag. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-53386-4>.
- Rahemi, H., Nigam, N. and Wakeling, J.M. (2014) Regionalizing muscle activity causes changes to the magnitude and direction of the force from whole muscles—a modeling study. *Frontiers in Physiology* 5, 298.
- Schmelcher, A., Prieske, O., Chaabene, H., Heine, L. Büsch, D. & Granacher, U. (2018). Systematische Analyse des konditionellen Anforderungsprofils im Olympischen Boxen. *Leistungssport* 48 (4), 19–24.
- Schnabel, G., Harre, H. D., & Krug, J. (Hrsg.). (2014). *Trainingslehre – Trainingswissenschaft: Leistung, Training, Wettkampf* (3., akt. Aufl.). Aachen: Meyer & Meyer.
- Seidel, I. (2017). Struktur und Prognose der sportlichen Leistung. In K. Hottenrott & I. Seidel, *Handbuch Trainingswissenschaft - Trainingslehre*. Schorndorf: Hofmann.
- Sharrock, C., Cropper, J., Mostad, J., Johnson, M. & Malone, T. (2011). A pilot study of core stability and athletic performance: is there a relationship? *International Journal of Sports Physical Therapy* 6 (2), 63–74.
- Sterkowicz, S. (1995). Special judo fitness test. *Antropomotoryka*, 12–13, 29–44 (in Polish, Abstract in English).
- Stokes, M. (1985). Reliability and repeatability of methods for measuring muscle in physiotherapy. *Physiotherapy Theory and Practice* 1 (2), 71–76.
- Tittel, K., & Seidel, E. (2016). *Beschreibende und funktionelle Anatomie des Menschen* (16 Aufl.). München: Urban & Fischer.
- Ullrich, B., Pelzer, T., Oliveira, S. & Pfeiffer, M. (2015). Anpassungseffekte linearen und täglich-nichtlinearen Krafttrainings während zwei Kurzzeit-Mesozyklen. Eine Untersuchung mit Elite-Nachwuchsjudoka Teil 3 der Beitragsreihe Krafttraining-Periodisierungsmodelle auf dem Prüfstand. *Leistungssport* 45 (6), 36–42.
- Vincent, W. & Weir, J. (2012). *Statistics in kinesiology* (4. Aufl.). Champaign: Human Kinetics.
- Wellek, S. & Blettner, M. (2012). On the proper use of the crossover design in clinical trials: part 18 of a series on evaluation of scientific publications. *Deutsches Ärzteblatt International* 109 (15), 276–281.

- Weston, M., Hibbs, A. E., Thompson, K. G., Spears, I. R. (2015). Isolated core training improves sprint performance in national-level junior swimmers. *International Journal of Sports Physiology and Performance* 10 (2), 204–210.
- Wick, D. (2013). *Biomechanik im Sport: Lehrbuch der biomechanischen Grundlagen sportlicher Bewegungen* (3. überarb. und erw. Aufl.). Balingen: Spitta.

Publikationsbeiträge der Autoren

Die vorliegende Doktorarbeit ist als kumulative Dissertation angelegt. Infolgedessen wurden vier wissenschaftliche Artikel in begutachteten Zeitschriften eingereicht und zur Veröffentlichung angenommen. Gemäß der Promotionsordnung der Humanwissenschaftlichen Fakultät der Universität Potsdam (§ 7 Abs. 4 Satz 2) wurden wesentliche Beiträge zu den Publikationen von Seiten der jeweiligen Mitautoren anerkannt und schriftlich bestätigt.

Vorname, Name	Initialen	Zugehörigkeit	Unterschrift
Dirk Büsch	DB	Carl-von-Ossietzky-Universität Oldenburg	siehe unten
Hans-Dieter Heinisch	HDH	Institut für Angewandte Trainingswissenschaft Leipzig	siehe unten
Helmi Chaabene	HC	Universität Potsdam	siehe unten
Matthias Retzlaff	MR	Universität Potsdam	siehe unten
Norman Helm	NH	Olympiastützpunkt Brandenburg, Universität Potsdam	siehe unten
Olaf Prieske	OP	Universität Potsdam	siehe unten
Thomas Mühlbauer	TM	Universität Potsdam, Universität Duisburg-Essen	siehe unten
Tom Krüger	TK	Universität Potsdam	siehe unten
Urs Granacher	UG	Universität Potsdam	siehe unten

Publikation	Design	Datenerhebung/ Literaturrecherche	Datenanalyse	Interpretation	Manuskript
I	NH , OP, UG	DB, HDH, HC, NH , OP, UG	DB, HDH, HC, NH , OP, UG	DB, HDH, NH , OP, UG	DB, HDH, HC, NH , OP, UG
II	NH , OP, TM, TK, UG	NH , TK	NH , OP	HC, NH , OP, TM, UG	HC, NH , OP, TM, TK, UG
III	NH , OP, UG	MR, NH	MR, NH , OP, TM	MR, NH , OP, TM, UG	NH , OP, TM, TK, UG
IV	NH , OP, TM, UG	NH , TK	NH , OP, TM, UG	NH , OP, TM, UG	NH , OP, TM, TK, UG

Hinweis: Der erste Autor ist fett hervorgehoben.

Die unterschriebenen Bestätigungen sind auf den folgenden Seiten zu finden.

Publikationsbeiträge der Autoren

Die vorliegende Doktorarbeit ist als kumulative Dissertation angelegt. Infolgedessen wurden vier wissenschaftliche Artikel in begutachteten Zeitschriften eingereicht und zur Veröffentlichung angenommen. Gemäß der Promotionsordnung der Humanwissenschaftlichen Fakultät der Universität Potsdam (§ 7 Abs. 4 Satz 2) wurden wesentliche Beiträge zu den Publikationen von Seiten der jeweiligen Mitautoren anerkannt und schriftlich bestätigt.

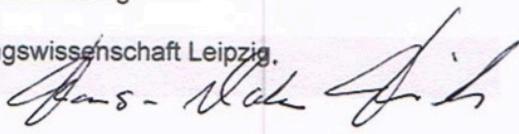
Vorname, Name	Initialen	Zugehörigkeit	Unterschrift
Dirk Büsch	DB	Carl-von-Ossietzky-Universität Oldenburg	
Hans-Dieter Heinisch	HDH	Institut für Angewandte Trainingswissenschaft Leipzig	
Helmi Chaabene	HC	Universität Potsdam	
Matthias Retzlaff	MR	Universität Potsdam	
Norman Helm	NH	Olympiastützpunkt Brandenburg, Universität Potsdam	
Olaf Prieske	OP	Universität Potsdam	
Thomas Mühlbauer	TM	Universität Potsdam, Universität Duisburg-Essen	
Tom Krüger	TK	Universität Potsdam	
Urs Granacher	UG	Universität Potsdam	

Publikation	Design	Datenerhebung/ Literaturrecherche	Datenanalyse	Interpretation	Manuskript
I	NH , OP, UG	DB, HDH, HC, NH , OP, UG	DB, HDH, HC, NH , OP, UG	DB, HDH, NH , OP, UG	DB, HDH, HC, NH , OP, UG
II	NH , OP, TM, TK, UG	NH , TK	NH , OP	HC, NH , OP, TM, UG	HC, NH , OP, TM, TK, UG
III	NH , OP, UG	MR, NH	MR, NH , OP, TM	MR, NH , OP, TM, UG	NH , OP, TM, TK, UG
IV	NH , OP, TM, UG	NH , TK	NH , OP, TM, UG	NH , OP, TM, UG	NH , OP, TM, TK, UG

Hinweis: Der erste Autor ist fett hervorgehoben.

Publikationsbeiträge der Autoren

Die vorliegende Doktorarbeit ist als kumulative Dissertation angelegt. Infolgedessen wurden vier wissenschaftliche Artikel in begutachteten Zeitschriften eingereicht und zur Veröffentlichung angenommen. Gemäß der Promotionsordnung der Humanwissenschaftlichen Fakultät der Universität Potsdam (§ 7 Abs. 4 Satz 2) wurden wesentliche Beiträge zu den Publikationen von Seiten der jeweiligen Mitautoren anerkannt und schriftlich bestätigt.

Vorname, Name	Initialen	Zugehörigkeit	Unterschrift
Dirk Büsch	DB	Carl-von-Ossietzky-Universität Oldenburg	
Hans-Dieter Heinisch	HDH	Institut für Angewandte Trainingswissenschaft Leipzig.	
Helmi Chaabene	HC	Universität Potsdam	
Matthias Retzlaff	MR	Universität Potsdam	
Norman Helm	NH	Olympiastützpunkt Brandenburg, Universität Potsdam	
Olaf Prieske	OP	Universität Potsdam	
Thomas Mühlbauer	TM	Universität Potsdam, Universität Duisburg-Essen	
Tom Krüger	TK	Universität Potsdam	
Urs Granacher	UG	Universität Potsdam	

Publikation	Design	Datenerhebung/ Literaturrecherche	Datenanalyse	Interpretation	Manuskript
I	NH, OP, UG	DB, HDH, HC, NH, OP, UG	DB, HDH, HC, NH, OP, UG	DB, HDH, NH, OP, UG	DB, HDH, HC, NH, OP, UG
II	NH, OP, TM, TK, UG	NH, TK	NH, OP	HC, NH, OP, TM, UG	HC, NH, OP, TM, TK, UG
III	NH, OP, UG	MR, NH	MR, NH, OP, TM	MR, NH, OP, TM, UG	NH, OP, TM, TK, UG
IV	NH, OP, TM, UG	NH, TK	NH, OP, TM, UG	NH, OP, TM, UG	NH, OP, TM, TK, UG

Hinweis: Der erste Autor ist fett hervorgehoben.

Publikationsbeiträge der Autoren

Die vorliegende Doktorarbeit ist als kumulative Dissertation angelegt. Infolgedessen wurden vier wissenschaftliche Artikel in begutachteten Zeitschriften eingereicht und zur Veröffentlichung angenommen. Gemäß der Promotionsordnung der Humanwissenschaftlichen Fakultät der Universität Potsdam (§ 7 Abs. 4 Satz 2) wurden wesentliche Beiträge zu den Publikationen von Seiten der jeweiligen Mitautoren anerkannt und schriftlich bestätigt.

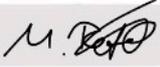
Vorname, Name	Initialen	Zugehörigkeit	Unterschrift
Dirk Büsch	DB	Carl-von-Ossietzky-Universität Oldenburg	
Hans-Dieter Heinisch	HDH	Institut für Angewandte Trainingswissenschaft Leipzig	
Helmi Chaabene	HC	Universität Potsdam	
Matthias Retzlaff	MR	Universität Potsdam	
Norman Helm	NH	Olympiastützpunkt Brandenburg, Universität Potsdam	
Olaf Prieske	OP	Universität Potsdam	
Thomas Mühlbauer	TM	Universität Potsdam, Universität Duisburg-Essen	
Tom Krüger	TK	Universität Potsdam	
Urs Granacher	UG	Universität Potsdam	

Publikation	Design	Datenerhebung/ Literaturrecherche	Datenanalyse	Interpretation	Manuskript
I	NH , OP, UG	DB, HDH, HC, NH , OP, UG	DB, HDH, HC, NH , OP, UG	DB, HDH, NH , OP, UG	DB, HDH, HC, NH , OP, UG
II	NH , OP, TM, TK, UG	NH , TK	NH , OP	HC, NH , OP, TM, UG	HC, NH , OP, TM, TK, UG
III	NH , OP, UG	MR, NH	MR, NH , OP, TM	MR, NH , OP, TM, UG	NH , OP, TM, TK, UG
IV	NH , OP, TM, UG	NH , TK	NH , OP, TM, UG	NH , OP, TM, UG	NH , OP, TM, TK, UG

Hinweis: Der erste Autor ist fett hervorgehoben.

Publikationsbeiträge der Autoren

Die vorliegende Doktorarbeit ist als kumulative Dissertation angelegt. Infolgedessen wurden vier wissenschaftliche Artikel in begutachteten Zeitschriften eingereicht und zur Veröffentlichung angenommen. Gemäß der Promotionsordnung der Humanwissenschaftlichen Fakultät der Universität Potsdam (§ 7 Abs. 4 Satz 2) wurden wesentliche Beiträge zu den Publikationen von Seiten der jeweiligen Mitautoren anerkannt und schriftlich bestätigt.

Vorname, Name	Initialen	Zugehörigkeit	Unterschrift
Dirk Büsch	DB	Carl-von-Ossietzky-Universität Oldenburg	
Hans-Dieter Heinisch	HDH	Institut für Angewandte Trainingswissenschaft Leipzig	
Helmi Chaabene	HC	Universität Potsdam	
Matthias Retzlaff	MR	Universität Potsdam	
Norman Helm	NH	Olympiastützpunkt Brandenburg, Universität Potsdam	
Olaf Prieske	OP	Universität Potsdam	
Thomas Mühlbauer	TM	Universität Potsdam, Universität Duisburg-Essen	
Tom Krüger	TK	Universität Potsdam	
Urs Granacher	UG	Universität Potsdam	

Publikation	Design	Datenerhebung/ Literaturrecherche	Datenanalyse	Interpretation	Manuskript
I	NH , OP, UG	DB, HDH, HC, NH , OP, UG	DB, HDH, HC, NH , OP, UG	DB, HDH, NH , OP, UG	DB, HDH, HC, NH , OP, UG
II	NH , OP, TM, TK, UG	NH , TK	NH , OP	HC, NH , OP, TM, UG	HC, NH , OP, TM, TK, UG
III	NH , OP, UG	MR, NH	MR, NH , OP, TM	MR, NH , OP, TM, UG	NH , OP, TM, TK, UG
IV	NH , OP, TM, UG	NH , TK	NH , OP, TM, UG	NH , OP, TM, UG	NH , OP, TM, TK, UG

Hinweis: Der erste Autor ist fett hervorgehoben.

Publikationsbeiträge der Autoren

Die vorliegende Doktorarbeit ist als kumulative Dissertation angelegt. Infolgedessen wurden vier wissenschaftliche Artikel in begutachteten Zeitschriften eingereicht und zur Veröffentlichung angenommen. Gemäß der Promotionsordnung der Humanwissenschaftlichen Fakultät der Universität Potsdam (§ 7 Abs. 4 Satz 2) wurden wesentliche Beiträge zu den Publikationen von Seiten der jeweiligen Mitautoren anerkannt und schriftlich bestätigt.

Vorname, Name	Initialen	Zugehörigkeit	Unterschrift
Dirk Büsch	DB	Carl-von-Ossietzky-Universität Oldenburg	
Hans-Dieter Heinisch	HDH	Institut für Angewandte Trainingswissenschaft Leipzig	
Helmi Chaabene	HC	Universität Potsdam	
Matthias Retzlaff	MR	Universität Potsdam	
Norman Helm	NH	Olympiastützpunkt Brandenburg, Universität Potsdam	
Olaf Prieske	OP	Universität Potsdam	
Thomas Mühlbauer	TM	Universität Potsdam, Universität Duisburg-Essen	
Tom Krüger	TK	Universität Potsdam	
Urs Granacher	UG	Universität Potsdam	

Publikation	Design	Datenerhebung/ Literaturrecherche	Datenanalyse	Interpretation	Manuskript
I	NH , OP, UG	DB, HDH, HC, NH , OP, UG	DB, HDH, HC, NH , OP, UG	DB, HDH, NH , OP, UG	DB, HDH, HC, NH , OP, UG
II	NH , OP, TM, TK, UG	NH , TK	NH , OP	HC, NH , OP, TM, UG	HC, NH , OP, TM, TK, UG
III	NH , OP, UG	MR, NH	MR, NH , OP, TM	MR, NH , OP, TM, UG	NH , OP, TM, TK, UG
IV	NH , OP, TM, UG	NH , TK	NH , OP, TM, UG	NH , OP, TM, UG	NH , OP, TM, TK, UG

Hinweis: Der erste Autor ist fett hervorgehoben.

Publikationsbeiträge der Autoren

Die vorliegende Doktorarbeit ist als kumulative Dissertation angelegt. Infolgedessen wurden vier wissenschaftliche Artikel in begutachteten Zeitschriften eingereicht und zur Veröffentlichung angenommen. Gemäß der Promotionsordnung der Humanwissenschaftlichen Fakultät der Universität Potsdam (§ 7 Abs. 4 Satz 2) wurden wesentliche Beiträge zu den Publikationen von Seiten der jeweiligen Mitautoren anerkannt und schriftlich bestätigt.

Vorname, Name	Initialen	Zugehörigkeit	Unterschrift
Dirk Büsch	DB	Carl-von-Ossietzky-Universität Oldenburg	
Hans-Dieter Heinisch	HDH	Institut für Angewandte Trainingswissenschaft Leipzig	
Helmi Chaabene	HC	Universität Potsdam	
Matthias Retzlaff	MR	Universität Potsdam	
Norman Helm	NH	Olympiastützpunkt Brandenburg, Universität Potsdam	
Olaf Prieske	OP	Universität Potsdam	
Thomas Mühlbauer	TM	Universität Potsdam, Universität Duisburg-Essen	
Tom Krüger	TK	Universität Potsdam	
Urs Granacher	UG	Universität Potsdam	

Publikation	Design	Datenerhebung/ Literaturrecherche	Datenanalyse	Interpretation	Manuskript
I	NH , OP, UG	DB, HDH, HC, NH , OP, UG	DB, HDH, HC, NH , OP, UG	DB, HDH, NH , OP, UG	DB, HDH, HC, NH , OP, UG
II	NH , OP, TM, TK, UG	NH , TK	NH , OP	HC, NH , OP, TM, UG	HC, NH , OP, TM, TK, UG
III	NH , OP, UG	MR, NH	MR, NH , OP, TM	MR, NH , OP, TM, UG	NH , OP, TM, TK, UG
IV	NH , OP, TM, UG	NH , TK	NH , OP, TM, UG	NH , OP, TM, UG	NH , OP, TM, TK, UG

Hinweis: Der erste Autor ist fett hervorgehoben.

Publikationsbeiträge der Autoren

Die vorliegende Doktorarbeit ist als kumulative Dissertation angelegt. Infolgedessen wurden vier wissenschaftliche Artikel in begutachteten Zeitschriften eingereicht und zur Veröffentlichung angenommen. Gemäß der Promotionsordnung der Humanwissenschaftlichen Fakultät der Universität Potsdam (§ 7 Abs. 4 Satz 2) wurden wesentliche Beiträge zu den Publikationen von Seiten der jeweiligen Mitautoren anerkannt und schriftlich bestätigt.

Vorname, Name	Initialen	Zugehörigkeit	Unterschrift
Dirk Büsch	DB	Carl-von-Ossietzky-Universität Oldenburg	
Hans-Dieter Heinisch	HDH	Institut für Angewandte Trainingswissenschaft Leipzig	
Helmi Chaabene	HC	Universität Potsdam	
Matthias Retzlaff	MR	Universität Potsdam	
Norman Helm	NH	Olympiastützpunkt Brandenburg, Universität Potsdam	
Olaf Prieske	OP	Universität Potsdam	
Thomas Mühlbauer	TM	Universität Potsdam, Universität Duisburg-Essen	
Tom Krüger	TK	Universität Potsdam	
Urs Granacher	UG	Universität Potsdam	

Publikation	Design	Datenerhebung/ Literaturrecherche	Datenanalyse	Interpretation	Manuskript
I	NH , OP, UG	DB, HDH, HC, NH , OP, UG	DB, HDH, HC, NH , OP, UG	DB, HDH, NH , OP, UG	DB, HDH, HC, NH , OP, UG
II	NH , OP, TM, TK, UG	NH , TK	NH , OP	HC, NH , OP, TM, UG	HC, NH , OP, TM, TK, UG
III	NH , OP, UG	MR, NH	MR, NH , OP, TM	MR, NH , OP, TM, UG	NH , OP, TM, TK, UG
IV	NH , OP, TM, UG	NH , TK	NH , OP, TM, UG	NH , OP, TM, UG	NH , OP, TM, TK, UG

Hinweis: Der erste Autor ist fett hervorgehoben.

Publikationsbeiträge der Autoren

Die vorliegende Doktorarbeit ist als kumulative Dissertation angelegt. Infolgedessen wurden vier wissenschaftliche Artikel in begutachteten Zeitschriften eingereicht und zur Veröffentlichung angenommen. Gemäß der Promotionsordnung der Humanwissenschaftlichen Fakultät der Universität Potsdam (§ 7 Abs. 4 Satz 2) wurden wesentliche Beiträge zu den Publikationen von Seiten der jeweiligen Mitautoren anerkannt und schriftlich bestätigt.

Vorname, Name	Initialen	Zugehörigkeit	Unterschrift
Dirk Büsch	DB	Carl-von-Ossietzky-Universität Oldenburg	
Hans-Dieter Heinisch	HDH	Institut für Angewandte Trainingswissenschaft Leipzig	
Helmi Chaabene	HC	Universität Potsdam	
Matthias Retzlaff	MR	Universität Potsdam	
Norman Helm	NH	Olympiastützpunkt Brandenburg, Universität Potsdam	
Olaf Prieske	OP	Universität Potsdam	
Thomas Mühlbauer	TM	Universität Potsdam, Universität Duisburg-Essen	
Tom Krüger	TK	Universität Potsdam	
Urs Granacher	UG	Universität Potsdam	

Publikation	Design	Datenerhebung/ Literaturrecherche	Datenanalyse	Interpretation	Manuskript
I	NH , OP, UG	DB, HDH, HC, NH , OP, UG	DB, HDH, HC, NH , OP, UG	DB, HDH, NH , OP, UG	DB, HDH, HC, NH , OP, UG
II	NH , OP, TM, TK, UG	NH , TK	NH , OP	HC, NH , OP, TM, UG	HC, NH , OP, TM, TK, UG
III	NH , OP, UG	MR, NH	MR, NH , OP, TM	MR, NH , OP, TM, UG	NH , OP, TM, TK, UG
IV	NH , OP, TM, UG	NH , TK	NH , OP, TM, UG	NH , OP, TM, UG	NH , OP, TM, TK, UG

Hinweis: Der erste Autor ist fett hervorgehoben.

Publikationsbeiträge der Autoren

Die vorliegende Doktorarbeit ist als kumulative Dissertation angelegt. Infolgedessen wurden vier wissenschaftliche Artikel in begutachteten Zeitschriften eingereicht und zur Veröffentlichung angenommen. Gemäß der Promotionsordnung der Humanwissenschaftlichen Fakultät der Universität Potsdam (§ 7 Abs. 4 Satz 2) wurden wesentliche Beiträge zu den Publikationen von Seiten der jeweiligen Mitautoren anerkannt und schriftlich bestätigt.

Vorname, Name	Initialen	Zugehörigkeit	Unterschrift
Dirk Büsch	DB	Carl-von-Ossietzky-Universität Oldenburg	
Hans-Dieter Heinisch	HDH	Institut für Angewandte Trainingswissenschaft Leipzig	
Helmi Chaabene	HC	Universität Potsdam	
Matthias Retzlaff	MR	Universität Potsdam	
Norman Helm	NH	Olympiastützpunkt Brandenburg, Universität Potsdam	
Olaf Prieske	OP	Universität Potsdam	
Thomas Mühlbauer	TM	Universität Potsdam, Universität Duisburg-Essen	
Tom Krüger	TK	Universität Potsdam	
Urs Granacher	UG	Universität Potsdam	

Publikation	Design	Datenerhebung/ Literaturrecherche	Datenanalyse	Interpretation	Manuskript
I	NH , OP, UG	DB, HDH, HC, NH , OP, UG	DB, HDH, HC, NH , OP, UG	DB, HDH, NH , OP, UG	DB, HDH, HC, NH , OP, UG
II	NH , OP, TM, TK, UG	NH , TK	NH , OP	HC, NH , OP, TM, UG	HC, NH , OP, TM, TK, UG
III	NH , OP, UG	MR, NH	MR, NH , OP, TM	MR, NH , OP, TM, UG	NH , OP, TM, TK, UG
IV	NH , OP, TM, UG	NH , TK	NH , OP, TM, UG	NH , OP, TM, UG	NH , OP, TM, TK, UG

Hinweis: Der erste Autor ist fett hervorgehoben.

Publikation I

SYSTEMATISCHE ANALYSE DES KONDITIONELLEN ANFORDERUNGSPROFILS IN DER ZWEIKAMPFSPORTART JUDO

Norman Helm^{1,2}, Olaf Prieske², Helmi Chaabene², Dirk Büsch³, Hans-Dieter Heinisch⁴ & Urs Granacher²

¹ Olympiastützpunkt Brandenburg, Standort Potsdam

² Universität Potsdam, Forschungsschwerpunkt Kognitionswissenschaften, Professur für Trainings- und Bewegungswissenschaft

³ Carl-von-Ossietzky-Universität Oldenburg, Institut für Sportwissenschaft

⁴ Institut für Angewandte Trainingswissenschaft, Leipzig

Helm, N., Prieske, O., Chaabene, H., Büsch, D., Heinisch, H. D. & Granacher, U. (2018). Systematische Analyse des konditionellen Anforderungsprofils in der Zweikampfsportart Judo. *Leistungssport*, 49 (5), 17-22.

Zusammenfassung

Eine systematische Anforderungsanalyse ist aufbauend auf dem Leistungsstrukturmodell und der wettkampfspezifischen Leistungsstruktur die Grundlage für die Leistungsdiagnostik und ein wichtiger Bestandteil der Trainingssteuerung in einer Sportart bzw. Disziplin. Entsprechend besteht die Zielstellung des vorliegenden Übersichtsbeitrags darin, ein evidenzbasiertes konditionelles Anforderungsprofil für die Zweikampfsportart Judo unter Berücksichtigung der metabolischen und muskulären Anforderungen sowie der Verletzungsrisiken zu erarbeiten und zu diskutieren.

In Abhängigkeit vom Kampfverhalten stellt vor allem die Aufrechterhaltung des anaerob-laktaziden Energiestoffwechsels einen leistungsdeterminierenden Faktor im Judo dar. Die muskuläre Anforderung bei der Umsetzung judospezifischer Aktionen erfordert die zielgerichtete Koordination vieler Muskelgruppen. Im Standkampf realisieren die Muskeln der unteren Extremitäten und des Rumpfes primär dynamisch-schnellkräftige Aktionen, wohingegen die oberen Extremitäten sowohl dynamisch-schnellkräftige als auch statisch-kraftausdauernde und -maximalkräftige Aktionen durchführen. Im Bodenkampf absolvieren die unteren und oberen Extremitäten sowie der Rumpf primär statisch-maximalkräftige Muskelaktionen. Ein Großteil der Verletzungen in der Sportart Judo treten im Training und im Standkampf auf (jeweils ca. 70 %). Hände und Finger (bis zu 30 %), Knie (bis zu 28 %) und Schultern (bis zu 22 %) sind am häufigsten betroffen.

Die systematische Anforderungsanalyse liefert folgende Empfehlungen für die Trainingspraxis: 1) Die dominant wirkenden anaeroben Stoffwechselprozesse können z. B. über *Uchikomi*, *Nage-komi* und *Randori* trainiert werden. Ein allgemeines aerobes Ausdauertraining sollte regelmäßig zur Verbesserung der Regenerationsfähigkeit durchgeführt werden. 2) Die bei der Wurffaktion primär eingesetzten Muskelgruppen der unteren Extremitäten und Rumpfrotatoren sollten im Krafttraining vor allem unter dynamisch-schnellkräftiger Muskelaktivierung entwickelt werden. Im Gegensatz dazu sollten die oberen Extremitäten, die bei der Anrissbewegung, Wurfausführung und während des Griffkampfs eine entscheidende Rolle spielen, sowohl unter dynamisch-schnellkräftiger als auch unter dynamisch-kraftausdauernder Muskelaktivierung trainiert werden. 3) Verletzungen am Stütz- und Bewegungsapparat sollte mittels präventiver Maßnahmen entgegengewirkt werden.

Einleitung

In der Zweikampfsportart Judo wie auch in anderen Kampfsportarten stehen die spezifischen Leistungsvoraussetzungen in einem komplexen Gefüge zur Gesamtleistung. Entsprechend können Judoka trotz unterschiedlicher Konstitution sowie abweichendem Handlungsrepertoire, Kampfverhalten, Kampfstil und -strategien dennoch gleichermaßen erfolgreich sein. Mit anderen Worten: Jeder Athlet besitzt sein individuelles Leistungsprofil, indem beispielsweise mangelndes technisch-taktisches Leistungsvermögen durch hohe Kraft- und/oder Ausdauerleistungen kompensiert werden kann. Es sei jedoch darauf hingewiesen, dass das schwächste Glied innerhalb der konditionell-technisch-taktischen Voraussetzungen das individuelle Leistungspotenzial determiniert. Dabei sind die Anordnung der in Wechselwirkung zueinander stehenden leistungsbestimmenden Faktoren sowie die unterschiedlichen Ebenen, z.B. Leistungsvoraussetzungen oder -vollzug, zu berücksichtigen (Heinisch & Lehmann, 2007).

Um die Leistungsfähigkeit von Nachwuchs- und Spitzenjudoka im Trainingsprozess nachhaltig zu verbessern, sind wichtige Informationen über das Anforderungsprofil, das zugrunde liegende Leistungsstrukturmodell, die sportartspezifische Leistungsstruktur sowie die abgeleiteten leistungsdiagnostischen Verfahren unerlässlich. Mit diesen Informationen können Ziele für die Trainingssteuerung definiert, Trainingsprozesse geplant und durchgeführt, Trainingswirkungen kontrolliert und gegebenenfalls neu angepasst werden (Olivier, Marschall & Büsch, 2016). Speziell durch die sportartspezifische Analyse des Anforderungsprofils werden wesentliche Erkenntnisse über Belastungen und Beanspruchungen der Judoka gesammelt und können somit über gezielte Ableitungen für die Trainingspraxis zur körperlichen Leistungsentwicklung sowie zur Belastungsverträglichkeit der Athleten beitragen (Büsch et al., 2016). Im Rahmen der systematischen Erarbeitung eines sportartspezifischen Anforderungsprofils empfehlen Kraemer et al. (2012) die Analyse, erstens, der metabolischen Anforderungen (z. B. dominierende Energiebereitstellungsprozesse), zweitens, der muskulären Anforderungen (z. B. primär eingesetzte Muskelgruppen und -aktionsformen), drittens, der sportartspezifischen Verletzungsrisiken (z.B. Verletzungsprävalenz und -lokalisierung). Zu diesem Zweck werden aus der fachwissenschaftlichen Literatur objektiv erhobene Belastungsparameter (z. B. Zeiten, Strecken, Geschwindigkeiten) und individuelle Beanspruchungsgrößen (z. B. Herzfrequenz, Laktatkinetik, Anstrengungsempfinden) zu Wettkampf und Training herausgearbeitet und analysiert (Hohmann et al., 2010). In Anlehnung an Kraemer et al. (2012) bestand die Zielstellung des vorliegenden Übersichtsbeitrags in der Erarbeitung eines konditionellen

Anforderungsprofils für die Sportart Judo. Die Ergebnisse des Artikels können dazu beitragen, die sportartspezifische Leistungsdiagnostik zu verbessern und Trainingsprogramme zielgerichtet und effektiv zu gestalten. Dies trägt wiederum zur Verbesserung der Leistungsfähigkeit und der Belastungsverträglichkeit der Judoka im Nachwuchleistungs- und Spitzensport bei.

Anforderungsanalyse in der Sportart Judo

Kraft, Schnelligkeit und Ausdauer stellen bedeutsame sportmotorische Fähigkeiten für die wettkampfspezifische Leistung in vielen Sportarten dar. Jede Sportart verfügt jedoch über eine eigene Charakteristik dieser drei zentralen biomotorischen Fähigkeiten (Bompa & Buzzichelli, 2015; Harre & Leopold, 1986a; 1986b). Judoka benötigen eine ausgewogene Kombination dieser Fähigkeiten mit leichter Dominanz zugunsten der Krafftfähigkeiten (Abbildung 1). Neben Kraft, Ausdauer und Schnelligkeit ist eine gut ausgebildete Beweglichkeit eine weitere wichtige Determinante für die Erbringung judospezifischer Leistungen (Bompa & Buzzichelli, 2015). Die einzelnen sportmotorischen Fähigkeiten sollten jedoch nicht nur eindimensional, sondern auch in Kombination und unter Berücksichtigung von Interaktionen betrachtet werden. In Zweikampfsportarten (Judo) ergibt die Kombination aus Schnellkraft, Schnelligkeit, Koordination und Beweglichkeit die sogenannte Agilität (Bompa & Buzzichelli, 2015), die für Angriffsvorbereitung und -ausführung sowie für Verteidigungshandlungen elementar ist. In Anlehnung an Kraemer et al. (2012) werden im Folgenden die Ausdauer- und insbesondere die Krafftfähigkeiten für die Erarbeitung des konditionellen Anforderungsprofils im Judo betrachtet.

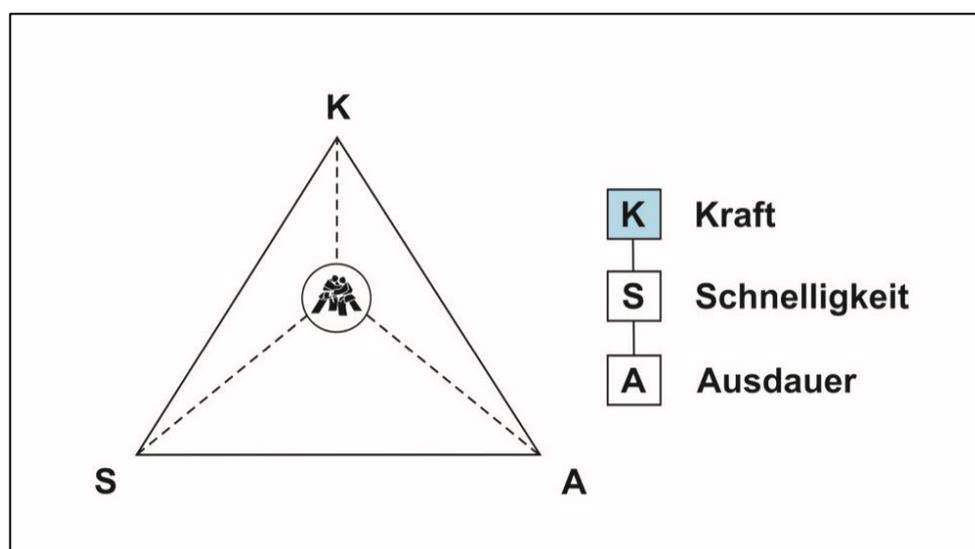


Abbildung 1: Sportmotorische Fähigkeiten in der Zweikampfsportart Judo (in Anlehnung an Bompa & Buzzichelli, 2015; Harre & Leopold, 1986a/b).

Metabolische Anforderungen in der Sportart Judo

Unter Berücksichtigung der regulären Wettkampfzeit von 4 Minuten sowie der spezifischen Belastungscharakteristik kann davon ausgegangen werden, dass die anaeroben Energiebereitstellungsprozesse einen wichtigen Beitrag im Wettkampfverlauf leisten. Untersuchungen belegen, dass nach Judowettkämpfen Blutlaktatwerte von bis zu 19,2 mmol/l auftreten (Franchini, Artioli & Brito, 2013). Die Ergebnisse deuten auf dominant anaerob-laktazide Energiebereitstellungsprozesse hin, wobei die metabolische Beanspruchung in direkter Abhängigkeit zum Gegner, zur Aktionsdichte sowie dem Kampfverhalten stehen. Genaue Aussagen zur sportartspezifischen metabolischen Anforderung könnten unter Verwendung einer mobilen Spiroergometrie getroffen werden, die jedoch im Judo aufgrund der direkten Gegnereinwirkung (z. B. Griffkampf, Wurf, Verteidigung, Bodenkampf) bestenfalls eingeschränkt eingesetzt werden kann. Vor diesem Hintergrund untersuchten Franchini und Kollegen (2011c) den von Sterkowicz (1995) entwickelten „Special Judo Fitness Test“ (SJFT), um mit Hilfe von Atemgasanalysen Aufschluss über die Verteilung einzelner Energiebereitstellungsprozesse an der Gesamtenergiebereitstellung bei wiederholten judospezifischen Wurfaktionen zu erhalten. Nach Sterkowicz (1995) besteht das Ziel des SJFT darin, die judospezifische Leistungsfähigkeit zu bestimmen und trainingsbedingte Veränderungen eines Judoka zu bewerten. Während des SJFT absolvieren die Athleten drei Ausbelastungsintervalle (A = 15 Sekunden, B und C = 30 Sekunden) mit zehn Sekunden Pause zwischen den Belastungsintervallen. In jedem Belastungsintervall wirft der Ausführende mit der Wurftechnik *Ippon-seoi-nage* zwei Partner (A, B) so oft wie möglich. Die Partner stehen 6 m voneinander entfernt (Abbildung 2). Die Zeitstruktur und Intensität orientieren sich dabei an den durchschnittlichen Belastungs- und Pausenintervallen eines realen Judokampfes.

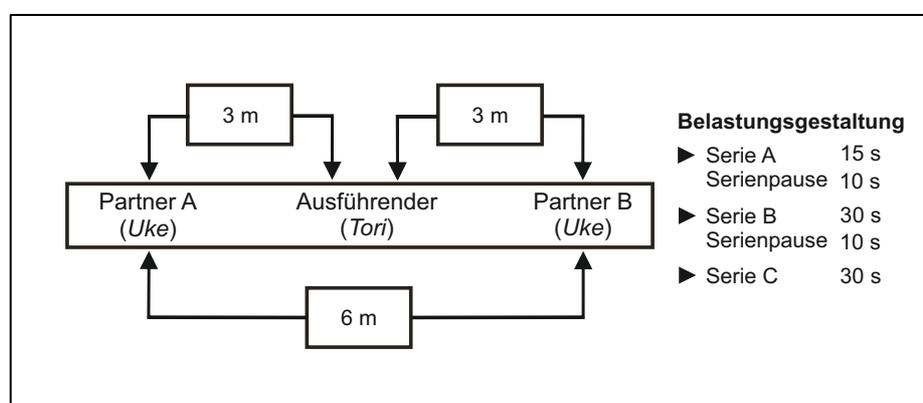


Abbildung 2: Schematische Darstellung des Special Judo Fitness Tests (nach Sterkowicz, 1995).

Für den SJFT konnte ein Anteil des an- aerob-alktaziden Stoffwechsels von ca. 42 %, des anaerob-laktaziden von ca. 30 % und des aeroben von ca. 28 % an der Gesamtenergiebereitstellung ermittelt werden. Dabei ist zu beachten, dass der dominierende Anteil des an- aerob-alktaziden Energiebereitstellungsprozesses auf die explosiven Wurfaktionen und die anaerob-laktaziden Energiebereitstellungsprozesse zuvorderst auf die kurze Gesamttestdauer von 95 Sekunden zurückzuführen sind. Anhand der Ergebnisse kann festgehalten werden, dass eine gut entwickelte anaerob-alktazide und -laktazide Ausdauer zu einem Leistungsvorteil während maximal schnellkräftiger Wurfaktionen sowie in wiederholten hoch beanspruchenden Phasen führen. In Bezug auf die Diagnostik der spezifischen anaeroben Leistungsfähigkeit eines Judoka berichten Chaabene et al. (2018), dass der SJFT geeignet ist, um Trainingsmaßnahmen zu kontrollieren und entsprechend anzupassen. Agostinho et al. (2018) geben praktikable Klassifikationsnormen (Tabelle 1) für Parameter wie Anzahl maximaler Wurfausführungen und maximale Herzfrequenzraten an. Die Kennwerte aus sportartunspezifischen aeroben und anaeroben Ober- und Unterkörpertests besitzen lediglich einen geringen prädiktiven Wert (Lopes-Silva et al., 2018), um SJFT-Variablen vorauszusagen.

Tabelle 2: Exemplarische Darstellung der Klassifikationsnormen des Special Judo Fitness Tests für weibliche und männliche Juniorenjudoka (nach Agostinho et al., 2018).

Geschlecht	Niveau	Anzahl der Würfe	Herzfrequenz nach Testabbruch	Herzfrequenz 1 Minute nach Testabbruch	Index
Männlich	Ausgezeichnet	≥ 31	≤ 162	≤ 127	≤ 10,40
	Gut	30	163 - 174	128 - 144	10,41 - 11,29
	Norman	26 - 29	175 - 188	145 - 168	11,30 - 13,52
	Schlecht	23 - 25	189 - 198	169 - 184	13,53 - 14,18
	Sehr schlecht	≤ 22	≥ 199	≥ 185	≥ 14,19
Weiblich	Ausgezeichnet	≥ 30	≤ 168	≤ 148	≤ 11,48
	Gut	28 - 29	169 - 179	149 - 157	11,49 - 12,00
	Norman	25 - 27	180 - 190	158 - 176	12,01 - 14,70
	Schlecht	22 - 24	191 - 196	177 - 180	14,71 - 17,45
	Sehr schlecht	≤ 21	≥ 197	≥ 181	≥ 17,46

Legende: Index = (Herzfrequenz nach + Herzfrequenz 1 Minuten nach Belastungsabbruch)/Anzahl der Würfe); SPM = Schläge pro Minute.

Muskuläre Anforderungen in der Sportart Judo

Beanspruchte Muskelgruppen

Im Judo werden wettkampffentscheiden- de Wertungen (*Waza-ari, Ippon*) in erster Linie durch Wurftechniken erzielt (Heinisch et al., 2017). Die erfolgreiche Ausführung einer Wurftechnik wird durch die koordinierte Aktivität vieler Muskelgruppen realisiert, die schnellkräftig in Form kinetischer Ketten aktiviert werden (Kibler, Press & Sciascia, 2006; Ullrich et al., 2015). Untersuchungen von Blais, Trilles und Lacouture (2007) zeigen, dass die prozentualen Anteile der Drehmomente bei der Anriss- mit Eindrehbewegung (*Morote-seoi-nage*) vor allem durch die

unteren Extremitäten (Kniegelenk 25%, Hüftgelenk 30 %) sowie den Rumpf (26 %) realisiert werden und weniger durch die oberen Extremitäten (Schulter-, Ellenbogen- und Handgelenk 12%). Die Ergebnisse weisen darauf hin, dass die Sportart Judo eine Ganzkörpersportart ist und insbesondere die Verbesserung der muskulären Leistungsfähigkeit in den unteren Extremitäten und der Rumpfmuskulatur eine wichtige Basis für die Wurfausführung von beidbeinigen Eindrehtechniken darstellt.

An dieser Stelle ist zu erwähnen, dass lediglich zu den beidbeinigen Eindrehtechniken Untersuchungen vorliegen, die jedoch hinsichtlich des Effektivitätsanteils (Wertungspunkte pro Angriffstechnik) einen hohen Stellenwert im Vergleich zu anderen relevanten Wurftechnikgruppen einnehmen (Heinisch et al., 2017). Drid et al. (2015) untersuchten die muskuläre Leistungsfähigkeit von männlichen Halbschwergewichtsjudoka mit unterschiedlichem Expertiseniveau bei der Durchführung der Testübungen Kreuzheben (Einer- Wiederholungsmaximum) und Tiefkniebeuge (maximale Anzahl ohne Zusatzlast). Es zeigte sich, dass die Halbschwergewichtsjudoka mit internationalem Leistungsniveau signifikant höhere Kennwerte beim Kreuzheben und bei der Tiefkniebeuge gegenüber Halbschwergewichtsjudoka mit nationalem Niveau erreichten. Weiterhin beobachteten Detanico et al. (2015) akute Ermüdungseffekte bei simulierten Wettkämpfen von männlichen Judoka mit regionalem und nationalem Leistungsniveau (Alter: 21 Jahre). Hierfür absolvierten die Probanden 3 Kämpfe à 5 Minuten mit einer passiven Kampfpause von 15 Minuten. Als Kennwert wurde die Sprunghöhe beim Vertikalsprung mit Ausholbewegung vor und nach jedem Kampf bestimmt. Die Ergebnisse zeigen, dass sich die Sprunghöhe nach dem dritten Kampf im Vergleich zum Ausgangswert signifikant reduzierte. Die Befunde deuten darauf hin, dass aufeinanderfolgende Judokämpfe die Muskelkraft der unteren Extremitäten negativ beeinflussen. Im Umkehrschluss könnte eine gut ausgeprägte Muskelkraft der unteren Extremitäten zu einer konstant hohen wettkampfspezifischen Leistung bei aufeinanderfolgenden Kämpfen führen.

Neben den unteren Extremitäten spielt der Rumpf bei judospezifischen Bewegungen, z. B. Anriss- mit Eindrehbewegung, eine zentrale Rolle, um den Transfer von Kräften und Drehmomenten von den unteren Extremitäten über den stabilen Rumpf zu den oberen Extremitäten zu ermöglichen (Blais et al., 2007). Die proximale Stabilität des Rumpfes ist dabei eine wichtige Voraussetzung für die distale Mobilität der Extremitäten bei sportlichem Bewegungsvollzug (Kibler, Press & Sciascia, 2006). In einer Studie von Helm et al. (2018c) wurden die Zusammenhänge zwischen maximal isokinetischen Rumpfrotationen und judospezifischen

Anrissparametern, z. B. mechanische Arbeit, dynamische Maximalkraft, untersucht. Hierfür wurden die maximalen isokinetischen Drehmomente der Rumpfflexoren, -extensoren und -rotatoren an einem isokinetischen Dynamometer sowie Leistungsparameter während der Anrissbewegung im Stand und Anriss- mit Eindrehbewegung an einem judospezifischen Ergometersystem (JERGo®-System) gemessen. Im Ergebnis zeigt eine Regressionsanalyse für die Anriss- mit Eindrehbewegung, dass vor allem ein Training der Rumpffrotatoren zu höheren judospezifischen Kennwerten führen kann ($F^2 = 69\%$). Weiterhin beobachteten Barbado et al. (2016) höhere maximale isokinetische Drehmomente der Rumpffextensoren für Judoka mit internationalem gegenüber nationalem Expertiseniveau. In der Gesamtbetrachtung kann davon ausgegangen werden, dass eine gut entwickelte Rumpfmuskulatur, insbesondere der Rumpffrotatoren, bei explosiven Ganzkörperbewegungen einen leistungsdeterminierenden Faktor im Judo darstellt.

Die oberen Extremitäten nehmen nicht nur während der Anrissbewegung und Wurfausführung, sondern auch beim Griffkampf eine wichtige Funktion wahr. Beispielsweise übertragen Hub- und Zugarm die Kräfte und Drehmomente direkt auf den Gegner, um das „Gleichgewicht zu brechen“ und die Wurfrichtung zu bestimmen (Lehmann & Ulbricht, 2007). Heinisch et al. (2012) berichteten, dass erfolgreiche männliche Judoka in nahezu allen Situationen unmittelbar vor dem Angriff über eine überlegene Griffkonstellation verfügen. Dabei zeigte sich die Dominanz der *Kumi-kata* darin, dass der Angreifer beide Arme (Hub- und Zugarm) positioniert, der Gegner jedoch lediglich einen Arm wirksam einsetzen kann. Besonders in der direkten Griffauseinandersetzung gehen Franchini et al. (2011b) davon aus, dass die Kraftausdauer der Oberkörpermuskulatur und insbesondere der Unterarmmuskulatur einen relevanten leistungsbestimmenden Faktor darstellen könnte. Es kann angenommen werden, dass ein gut ausgebildetes Muskelkorsett, insbesondere der Rotatorenmanschette, Arm- extensoren/-flexoren, Handflexoren sowie der Brustmuskulatur, die judospezifische Leistung positiv beeinflussen kann.

Dominierende Muskelaktionsformen

Im Judo ist das Kampfverhalten durch schnellkräftige und hochintensive intermittierende Belastungsphasen mit Direktangriffen, Angriffsvorbereitungen (Schrittmuster, Wurf-/Körperfinten) und einem intensiven Griffkampf gekennzeichnet (Franchini et al., 2014; Heinisch et al., 2017). Dabei dominieren dynamische Muskelaktionen. Es gibt jedoch auch wiederkehrende statisch-kraftausdauernde und statisch-maximalkräftige Aktionen, die unter schwierigen

Bedingungen, wie beispielsweise beim Blocken des Angreifers im Wurfansatz (Heinisch et al., 2017) oder bei der Immobilisation des Gegners während des Bodenkampfes durch Festhalten, Hebel- und Würgetechniken, zum Tragen kommen (Franchini et al., 2011a).

Untersuchungen zeigen, dass die finale Effektivität und Effizienz einer explosiven Wurftechnik (*Morote-seoi-nage*) in direkter Beziehung zur erfolgreich durchgeführten Anrissbewegung mit nachfolgender „Gleichgewichtsbrechung“ des Gegners steht (Gutierrez, Prieto & Cancela, 2009; Imamura et al., 2006; Büsch et al., 2012). Aufgrund der Massenträgheit des Gegners ist es aus kinetischer Sicht entscheidend, dass der Angreifer während der Anrissbewegung einen steilen Kraftanstieg und ein hohes Kraftmaximum generiert (Drid et al., 2015; Callister et al., 1991). Es ist bekannt, dass männliche Spitzenjudoka (Alter: 23 Jahre) gegenüber Nachwuchsjudoka (Alter: 16 Jahre) mehrheitlich höhere dynamische Kennwerte, insbesondere in der mechanischen Arbeit bei Anrissbewegungen im Stand, erreichen (Helm et al., 2018a). Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass gut entwickelte judospezifische Anrissleistungen wichtige Leistungsdeterminanten darstellen und somit einen positiven Einfluss auf die Effektivität und Effizienz einer dynamisch-explosiven Wurftechnik besitzen können.

In Bezug auf die *Kumi-Kata* konnten Franchini et al. (2005) bisher keine signifikanten Unterschiede zwischen Spitzen- und Nachwuchssportlern in der maximal isometrischen Handkraft beobachten. Die Autoren führten die Ergebnisse auf die methodische Vorgehensweise zurück, die eine Folge des Unterschieds zwischen dem Handgrifftest und der Qualität der *Kumi-Kata* im Kampf sein könnte (Franchini et al., 2005). Zudem könnte die fehlende Zuordnung zwischen Hub- und Zugarm eine weitere Limitation in den Ergebnissen darstellen. Untersuchungen von Claessens et al. (1984) zeigen beispielsweise, dass belgische Spitzenjudoka wesentlich höhere Kennwerte in der maximal isometrischen Handkraft (rechte Hand: 65 ± 9 kgf, linke Hand: 60 ± 9 kgf) im Vergleich zu den Spitzenjudoka (rechte Hand: 51 ± 10 kgf, linke Hand: 49 ± 10 kgf) in der dargestellten Studie von Franchini et al. (2005) besitzen. Es ist anzunehmen, dass eine Verbesserung der isometrischen Handgriffkraft dazu führt, ein internationales Niveau zu erreichen. Studien von Gutiérrez-Sánchez et al. (2011) deuteten jedoch darauf hin, dass die maximal-isometrische Handkraft keinen extrem relevanten Einfluss auf die erreichte Podiumsplatzierung bei männlichen Juniorenjudoka besitzt. Weiterhin beobachteten Franchini et al. (2011b), dass männliche brasilianische Spitzen- gegenüber Nachwuchsjudoka eine signifikant höhere maximale Anzahl an Wiederholungen bei Klimmzügen an einem

Judoanzugärmel erzielen. An dieser Stelle sei zu erwähnen, dass der Kampf um die *Kumi-Kata* nicht nur statisch, da zwar dauerhaft festgehalten wird, aber auch durch die Kampfbewegungen ständig nachgegriffen wird bzw. wenn der Gegner sich losreißen will, der Griff verstärkt wird. Daraus lässt sich ableiten, dass trotz der nicht eindeutigen Ergebnisse gut ausgebildete Handflexoren, Armbeuger, Armadduktoren und Arminnenrotatoren, z. B. der *M. latissimus dorsi* bei sowohl maximal isometrischer als auch dynamischer, kraftausdauernder Muskelaktivierung dazu beitragen können, die erarbeitete *Kumi-kata* gegen Verteidigungsversuche des Gegners länger halten zu können.

Diesbezüglich spielt das Prinzip des spezifischen Trainingsreizes bei der richtigen Wahl der Trainingsinhalte für ausgewählte Muskelgruppen eine entscheidende Rolle. Demzufolge sollten die Belastungsgrößen, z. B. Bewegungsgeschwindigkeit, Gelenkwinkel, Muskelaktionsform so gewählt werden, dass diese den spezifischen Bewegungen im späteren Bewegungsvollzug im Wettkampf weitestgehend ähneln (Behm, 1995; Behm & Sale, 1993). In diesem Kontext untersuchten Dinn und Behm (2007) die Effekte eines achtwöchigen dynamischen gegenüber einem statischen Schnellkrafttraining der oberen Extremitäten von Freizeitsportlern. Dabei konnten signifikante Verbesserungen in der Muskelaktivierung für die dynamische und statische Gruppe festgestellt werden, wohingegen signifikante Steigerungen der Aktions- und Reaktionsschnelligkeit lediglich in der dynamischen Schnellkrafttrainingsgruppe beobachtet werden konnten. Daraus lässt sich für die Sportart Judo ableiten, dass die Muskelaktionsformen im Schnellkrafttraining primär dynamisch durchgeführt werden sollten, um möglichst große Transfereffekte auf Angriffsvorbereitungen und -ausführungen sowie Verteidigungshandlungen zu ermöglichen.

Zusammenfassend sind in Tabelle 2 sportmotorische Tests und apparative Messverfahren im Rahmen einer komplexen Leistungsdiagnostik zur Erfassung der Kraft, Schnelligkeit und Ausdauer in der Zweikampfsportart Judo dargestellt. Zudem empfiehlt es sich, Beweglichkeitstests für die Schulter-, Hüft- und Sprunggelenke in den Prozess der Trainingssteuerung zu integrieren. Diese Testbatterie sollte regelmäßig im Jahresverlauf durchgeführt werden und anhand der entsprechenden Ergebnisse als Grundlage für etwaige Anpassungen im Trainingsprozess herangezogen werden.

Tabelle 3: Exemplarische Darstellung diagnostischer Maßnahmen hinsichtlich der sportmotorischen Fähigkeiten (d. h. Kraft, Schnelligkeit, Ausdauer) in der Zweikampfsportart Judo.

Messverfahren	Kraft			Schnelligkeit	Ausdauer	
	Maximalkraft	Kraftausdauer	Schnellkraft		Aerob	Anaerob
Sportmotorische Tests	Kreuzheben	Bankdrücken	CMJ	Seile Hangeln	Feldstufentest	SJFT
	Kniebeuge	Liegend-Anreißen	SJ	Linearsprint	Coopertest	UFT
	Bankdrücken	Klimmziehen				
	Liegend-Anreißen	Seile Hangeln				
	Klimmziehen					
	Standreißen					
	Standumsetzen					
Apparative Messverfahren	Rumpfrotation		JERGo® AnS		Spiroergometrie Laufband	
	Rumpfextension		JERGo® AnE		Laktatdiagnostik Laufband	
	Rumpfflexion					
	Handkraft (ISO)					

Legende: Index = (Herzfrequenz nach + Herzfrequenz 1 Minuten nach Belastungsabbruch)/Anzahl der Würfe); SPM = Schläge pro Minute, CMJ = Vertikalsprung mit Ausholbewegung (engl. „*countermovement jump*“), SJ = Kautersprung (engl. „*squat jump*“, AnS = Anrissbewegung im Stand, AnE = Anriss- mit Eindrehbewegung, SJFT = Special Judo Fitness Test, UFT = *Uchi-komi* Fitness Test, ISO = isometrisch.

Sportartspezifische Verletzungsrisiken

In der Sportart Judo kann es aufgrund der großen Belastungsumfänge und maximaler Beanspruchungen sowie der direkten Kräfteinflüsse des Gegners, im Training und Wettkampf zu akuten Verletzungen und chronischen Überlastungsschäden kommen. In der Literatur (Müller et al., 2017) wird zwischen Trainingsumfang und Verletzungsrisiko, z. B. Rücken- schmerzen, ein U-förmiger Zusammenhang angenommen. Das bedeutet, dass sowohl geringe, aber auch extrem hohe Trainingsumfänge zu einem erhöhten Verletzungsrisiko führen können. Insbesondere eine judospezifische Trainingseinheit mit dem Fokus Anwendung der technisch-taktischen Fähigkeiten während wettkampfnaher Übungskämpfe (*Randori*) mit zwei Stunden Dauer erreicht die Grenzen der Belastungsverträglichkeit des Stütz- und Bewegungsapparats.

Kim et al. (2015) untersuchten über vier Jahre hinweg sportartspezifische Verletzungen von weiblichen und männlichen koreanischen Spitzenjudoka. Unabhängig vom Geschlecht zeigen die Ergebnisse eine Inzidenz von ca. 4 Verletzungen pro Sportler und Jahr, wobei fast die Hälfte der Verletzungen der Kategorie Grad I (1-3 Behandlungstage) entsprechen. Weiterhin offenbaren weibliche Judoka signifikant mehr Grad-III-Verletzungen (> 8 Behandlungstage) gegenüber männlichen Judoka. Zudem wird festgestellt, dass weibliche Schwergewichtler signifikant mehr Grad-III-Verletzungen als weibliche Leichtgewichtler aufweisen. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass weibliche Judoka, insbesondere Schwergewichtjudoka, anfälliger für schwere Verletzungen sind als Leichtgewichtjudoka. Ein potenzieller Erklärungsansatz könnte im weiblichen Körperbau zu finden sein, der im Vergleich zum männlichen Körperbau Unterschiede in der Knochendichte und der Elastizität von Bändern aufweist (Nehrer, 2013). In Bezug auf die Reduzierung des Verletzungsrisikos bei weiblichen Judoka erscheinen

präventive Maßnahmen zur Kniegelenk- und Rumpfstabilisation angezeigt (Raschner et al., 2012).

Hinsichtlich der Verteilung von Verletzungen im Wettkampf und im Training berichten Pocecco et al. (2013), dass ein Verletzungsrisiko von rund 70 % beim Training im Vergleich zum Wettkampf (30 %) besteht. Dabei treten laut Pocecco et al. (2013) die häufigsten Verletzungen an Händen und Fingern (bis zu 30 %), Knie (bis zu 28 %) und Schultern (bis zu 22 %) auf. Nach Akoto et al. (2018) zählen im Judo vor allem vordere Kreuzbandrisse zu den folgenschwersten Verletzungstypen hinsichtlich der Ausfallzeit im Training. So fallen 32 % der Athleten 6 bis 9 Monate aus. In diesem Kontext berichten Prill et al. (2019) über signifikant größere Seitenunterscheide in den maximal-isokinetischen Drehmomentparametern der unteren Extremitäten bei der einbeinigen BeinSTEMME für Judoka mit einer vorderen Kreuzbandrekonstruktion (5Jahre Post-OP) gegenüber orthopädisch gesunden Judoka. Demzufolge sollten sich die Trainingsinhalte während der Rehabilitationsphase sowie die Diagnostik zur Bewertung der Wiederaufnahme von sportartspezifischen Bewegungen nach Kreuzbandverletzungen verstärkt auf die Maximalkraft der unteren Extremitäten fokussieren.

Mehrjähriges Trainieren und Kämpfen im Judo kann zu chronischen Überlastungsschäden führen. Hierbei sind die Fingergelenke, der untere Rücken und die Ohren betroffen (Pocecco et al., 2013). Ein gut ausgebildetes Muskelkorsett kann jedoch den Belastungen im judospezifischen Training und Wettkampf entgegenwirken und Verletzungen vorbeugen.

Handlungsempfehlungen für die Praxis

Der sportliche Erfolg lässt sich in der Zweikampfsportart Judo, ebenso wie in allen anderen „situativen Sportarten“, aufgrund der physischen und technisch-taktischen Anforderungen nicht zuverlässig prognostizieren, aber durch einen zielgerichteten Trainingsprozess auf Grundlage der wettkampfspezifischen Leistungsstruktur, des Anforderungsprofils und geeigneter leistungsdiagnostischer Verfahren vorbereiten. Unter Berücksichtigung der Empfehlungen von Kraemer et al. (2012) wurde literaturbasiert eine konditionelle Anforderungsanalyse für die Sportart Judo hinsichtlich der metabolischen und biomechanischen Anforderungen sowie der sportartspezifischen Verletzungsrisiken erarbeitet. Zusammengefasst zeigt sich, dass vor allem die Aufrechterhaltung der anaeroben-laktaziden Energiebereitstellung einen leistungsdeterminierenden Faktor im Judo darstellt, der mit wettkampfscheidenden explosiven Wurfaktionen zusammenhängt. Demgegenüber kann eine gut ausgebildete aerobe

Energiebereitstellung vor allem den Regenerationsprozess bei Wettkampfunterbrechungen und zwischen den Kämpfen innerhalb eines kompletten Wettkampftags unterstützen. Ein judospezifisches Training der anaeroben sowie der aeroben Stoffwechselmechanismen ist deshalb im Trainingsprozess zu berücksichtigen. In diesem Zusammenhang berichten Franchini et al. (2014), dass sich die Trainingsmittel *Uchi-komi* und *Nage-komi* eignen, um judospezifische anaerobe und aerobe Energiebereitstellungsprozesse zu entwickeln. Dabei kann die Dominanz des Stoffwechsels durch das Belastungs-Pausen-Verhältnis, Gesamttrainingsdauer, Anzahl, Dauer der Serien, verwendete Technik usw. gezielt geregelt werden. Unter anderem lassen sich anaerobe Stoffwechselprozesse durch kurzandauernde, hoch beanspruchende und intermittierende Protokolle, z. B. 5 x 30 Sekunden Belastung mit 30 Sekunden Belastungspause verbessern. Aerobe Stoffwechselprozesse können demgegenüber eher durch kontinuierliche, körperlich geringer beanspruchende Technikintervalle mit einer Wurfaktion und 10 bis 15 Sekunden Pause zwischen den Ausführungen entwickelt werden (Franchini et al., 2014). Dabei ist zu beachten, dass Eindrehtechniken mit einer akzentuierten Rumpfrotation und Knieflexion, z. B. *Morote-seoi-nage*, höhere körperliche Beanspruchungen verursachen als Frontaltechniken, z. B. *O-uchi-gari*. Besonders das Trainingsmittel *Randori* verlangt dem verantwortlichen Trainer aufgrund der direkten Gegnereinwirkung ein hohes Maß an aufmerksamer Kontrolle ab, damit die Ziele hinsichtlich Energiebereitstellungsprozessen in der entsprechenden Trainingsphase nicht verfehlt werden. In diesem Kontext empfehlen Franchini et al. (2014), dass sich kurzandauernde *Randori* mit hoch-intensiven Belastungsphasen und langer Serienpause eignen, um anaerobe Stoffwechselprozesse zu verbessern. Im Gegensatz dazu sollte die Entwicklung des aeroben Stoffwechsels beim *Randori* durch lange niedrig-intensive Belastungsphasen mit kurzer Serienpause gekennzeichnet sein.

Zusätzlich zu einem judospezifischen Training der metabolischen Voraussetzungen kann ein allgemeines aerobes Ausdauertraining, z. B. ein extensiver Dauerlauf, in den Trainingsprozess integriert werden, um die Regenerationsfähigkeit bei Wettkampfunterbrechungen und eine aktive Erholung zwischen den Wettkämpfen innerhalb eines Wettkampftages zu verbessern. Untersuchungen von Radovanovic et al. (2009) zeigen, dass ein regelmäßiges aerobes Ausdauertraining zusätzlich zum Technik- und Krafttraining einen positiven Einfluss auf die aerobe Leistungsfähigkeit eines Judoka besitzt, ohne die anaerobe Leistungsfähigkeit negativ zu beeinflussen. Dabei sollte die Sequenzierung des Trainings berücksichtigt werden, um

negative Wechselwirkungen in den trainingsinduzierten Anpassungsmechanismen, z.B. zwischen Kraft und Ausdauer, zu vermeiden (Schumann & Ronnestad, 2019).

Hinsichtlich der Verbesserung der judospezifischen Anrisskraft bei beidbeinigen Eindrehtechniken empfiehlt es sich, den ganzen Körper und insbesondere die unteren Extremitäten sowie die Rumpfmotoren unter explosiver Muskelaktivierung zu trainieren. Im Gegensatz dazu sollten die oberen Extremitäten, d.h. Brust, Schulter, Arme, die bei der Anrissbewegung, Wurfausführung und während des Griffkampfes eine entscheidende Bedeutung haben, sowohl unter explosiver, z. B. bei Anrissbewegungen, als auch unter kraftausdauernder Muskelaktivierung, z.B. beim Griffkampf, trainiert werden. Vor dem Hintergrund, dass im Judo Angriffs- und Verteidigungshandlungen schnellen dynamischen Aktionen zugrunde liegen, sind im Krafttraining vor allem dynamische und maximal schnellkräftige Muskelaktionsformen zur Verbesserung der Anriss- und Wurfbewegungen zu empfehlen. Diese Übungen können als Teilwiederholung oder über die gesamte Bewegungsamplitude ausgeführt werden (Harris et al., 2019).

Weiterhin sollten neben Standardkraftübungen, z. B. Bankdrücken, Kniebeuge etc., auch komplexe Schnellkraftübungen, z.B. Standreißen, Standumsetzen etc. sowie Reaktivkraftübungen, z.B. Nieder-Hochsprünge, in das Krafttraining integriert werden, um die Zusammenarbeit der beteiligten Muskelgruppen bzw. der Muskelschlingen zu verbessern (Harris et al., 2019; Tittel & Seidel, 2016). Darüber sind auch spezifische Kraftübungen, wie beispielsweise Anreißen mit Eindrehbewegungen an elastischen Gummibändern (umgangssprachlich „*korea bands*“ genannt) und/oder an sportartspezifischen Messplätzen (JERGo®-System) zu empfehlen. In diesem Zusammenhang zeigen Untersuchungen von Helm et al. (2018b), dass ein Anrisstraining mit JERGo® gegenüber einem traditionellen Anrisstraining am Partner zu signifikant größeren Zuwachsraten in der Explosivkraft und Arbeit bei Judoka mit nationalem Leistungsniveau führt. Mit Fokus auf eine verbesserte Griffkraft bietet es sich an, vor allem die Handflexoren, Armbeuger, -adduktoren und -innenrotatoren, z. B. den *M. latissimus dorsi*, gezielt zu trainieren. Dabei sind dynamische den statischen Kraftübungen sowie Kraftausdauer den Maximalkraftmethoden vorzuziehen, um die *Kumi-Kata* gegen Verteidigungsversuche des Gegners länger halten zu können. In diesem Kontext zeigen Untersuchungen von Heinisch et al. (2016), dass ein vierwöchiges progressives Griffkraftausdauertraining mit dynamischer Muskelaktion (z. B. 20 kg Hantelscheiben greifen) von hochtrainierten Nachwuchssportlern mit internationalem Leistungsniveau zu signifikanten Verbesserungen der maximal exzentrischen Handkraft führt. Unter Berücksichtigung der beschriebenen komplexen

Anforderungen und der langen Wettkampfphase empfiehlt es sich, die fundamentalen, sportmotorischen Fähigkeiten, d. h. Kraft, Schnelligkeit, Ausdauer sowie Technik und Beweglichkeit, über das komplette Jahr zu entwickeln (Bompa & Buzzichelli, 2015). Die systematische leistungsbedingte Anpassung der Belastungsgrößen wie Belastungs- und Trainingsdichte oder der Belastungsprogression sind in diesem Zusammenhang zu berücksichtigen. Zudem spielt die jeweilige Gewichtsklasse bei der Wahl der Krafttrainingsmethode eine entscheidende Rolle. So sollten Leicht- und Mittelgewichtsjudoka ein Maximalkrafttraining mit dem Ziel einer verbesserten willkürlichen Aktivierungsfähigkeit (neuromuskuläres Koordinationstraining) oder ein Schnellkrafttraining mit dem Ziel einer Verbesserung der Muskelleistung dem Hypertrophietraining vorziehen, um keine zusätzliche Körpermasse aufzubauen.

Die am gesamten Stütz- und Bewegungsapparat auftretenden Verletzungen können aus verletzungspräventiver Perspektive durch ein gut ausgebildetes Ganzkörpermuskelskorsett reduziert werden, womit auch Trainings- und Wettkampfbelastungen mit geringerer Beanspruchung realisiert werden können. Unterstützend können sich dabei präventive Maßnahmen, wie beispielsweise Kniegelenk- und Rumpfstabilisation, insbesondere bei weiblichen Schwergewichtsjudoka, auswirken.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass dieser Überblicksbeitrag eine Grundlage für die Diagnostik und Training in der Sportart Judo darstellt. Zukünftig sind weitere evidenzbasierte Analysen in der Zweikampfsportart Judo notwendig, um das Leistungsstrukturmodell und die Anforderungsanalyse weiterzuentwickeln und um die Wirkungen von Trainingsinterventionen besser abschätzen zu können. Dieser Prozess wird aufgrund der technischen Weiterentwicklung von Messverfahren, neuen wissenschaftlichen Erkenntnissen zur Individualisierung des Trainings und möglichen Regeländerungen kontinuierlich weitergeführt.

Danksagung

Für die Unterstützung bei der Anfertigung des Manuskripts danken die Autoren Pavlo Sonnemann und Lothar Heine (ehem. Leitender Trainingswissenschaftler am Olympiastützpunkt Brandenburg).

Literaturverzeichnis

Agostinho, M. F., Olivio Junior, J. A., Stankovic, N., Escobar-Molina, R. & Franchini, E. (2018). Comparison of special judo fitness test and dynamic and isometric judo chin-up test' development for cadet and junior athletes. *Journal of Exercise Rehabilitation* 14 (2), 244–252.

- Akoto, R., Lambert, C. Balke, M., Bouillon, B. Frosch, K. H. & Höher, J. (2018). Epidemiology of injuries in judo: a cross-sectional survey of severe injuries based on time loss and reduction in sporting level. *British Journal of Sports Medicine* 52 (17), 1109–1115.
- Barbado, D., Lopez-Valenciano, A., Juan-Recio, C., Montero-Carretero, C., van Dieen, J. H. & Vera-Garcia, F. J. (2016). Trunk stability, trunk strength and sport performance level in judo. *POLS ONE* 11(9).
- Behm, D. (1995). Neuromuscular implications and applications of resistance training. *Journal of Strength and Conditioning Research* 9 (4), 264–274.
- Behm, D. & Sale, D. (1993). Velocity specificity of resistance training. *Sports Medicine* 15 (6), 374-388.
- Blais, L., Trilles, F. & Lacouture, P. (2007). Three-dimensional joint dynamics and energy expenditure during the execution of a judo throwing technique (Morote Seoi Nage). *Journal of Sports Sciences* 25 (11), 1211–1220.
- Bompa, T. & Buzzichelli, C. (2015). *Periodization Training for Sports* (3. Aufl.). Human Kinetics.
- Büsch, D., Heinisch, H. D., Bussweiler, J., Gawin, W. & Oswald, R. (2012). Einführung in das Themenheft zur Wettkampfanalyse in den Zweikampf- und Spielsportarten. *Zeitschrift für Angewandte Trainingswissenschaft* 19 (1), 9–12.
- Büsch, D., Heinisch, H. D. & Lüdemann, R. (2016). Von Leistungsstrukturmodellen über Anforderungsprofile und Trainingsstudien zur Leistungssteuerung. In D. Büsch, D. Heinisch & R. Lüdemann (Hrsg.), *Leistungsfaktoren in Spiel- und Zweikampfsportarten* (Schriftreihe für Angewandte Trainingswissenschaft, 5, S. 7–11). Aachen: Meyer & Meyer.
- Callister, R., Callister, R. J., Staron, R. S., Fleck, S. J., Tresch, P. & Dudley, G. A. (1991). Physiological characteristics of elite judo athletes. *International Journal of Sports and Medicine* 12 (2), 196–203.
- Chaabene, H., Negra, Y., Bouguezzi, R., Capranica, L., Franchini, E., Prieske, O. & Granacher, U. (2018). Tests for the assessment of sports-specific performance in olympic combat sports: A systematic review with practical recommendations. *Frontiers in Physiology* 9. doi: 10.3389/fphys.2018.00386.
- Claessens, A. L. M., Beunen, G. P., Simons, J. M., Wellens, R. I., Gelfold, D., Nuyts, M. M. (1984). Body structure, somatotype, and motor fitness of top class Belgian judosists. In: J. A. Day (Ed.), *The 1984 Olympic Scientific Congress Proceedings: Perspectives in Kinanthropometry*. Human Kinetics: Champaign.
- Detanico, D., Dal Pupo, J., Franchini, E. & Dos Santos, S. G. (2015). Effects of successive judo matches on fatigue and muscle damage markers. *Journal of Strength and Conditioning Research* 29 (4), 1010–1016.
- Dinn, N. & Behm, D. (2007). A comparison of ballistic-movement and ballistic-intent training of muscle strength and activation. *International Journal of Sports Physiology and Performance* 2 (4), 386–399.
- Drid, P., Casals, C., Mekić, A., Radjo, I., Stojanovic, M. & Ostojic, S. M. (2015). Fitness and anthropometric profiles of international vs. national judo medalists in half-heavyweight category. *Journal of Strength and Conditioning Research* 29 (8), 2115–2121.
- Franchini, E., Artioli, G. G. & Brito, C. J. (2013). Judo combat: time-motion analysis and physiology. *International Journal of Performance Analysis in Sport* 13 (3), 624–641.
- Franchini, E., Brito, C. J., Fukuda, D. H. & Artioli, G. G. (2014). The physiology of judo-specific training modalities. *Journal of Strength and Conditioning Research* 28 (5), 1474–1481.
- Franchini, E., Del Vecchio, F. B., Matsushigue, K. A. & Artioli, G. G. (2011a). Physiological profiles of elite judo athletes. *Sports Medicine* 41 (2), 147–166.
- Franchini, E., Miarka, B., Matheus, L. & Del Vecchio, F. B. (2011b). Endurance in judogi grip strength tests: Comparison between elite and non-elite judo players. *Archives of Judo* 7 (1), 1–4.

- Franchini, E., Sterkowicz, S., Szmatlan-Gabrys, U., Gabrys, T. & Garnys, M. (2011c). Energy system contribution to the special judo fitness test. *International Journal of Sports Physiology and Performance* 6 (3), 334–343.
- Franchini, E., Takito, M. Y., Kiss, M. A. & Sterkowicz, S. (2005). Physical fitness and anthropometrical differences between elite and non-elite judo players. *Biology of Sport* 22 (4), 315–328.
- Gutierrez, A., Prieto, I. & Cancela, J. M. (2009). Most frequent errors in judo uki goshi technique and the existing relations among them analysed through T-patterns. *Journal of Sports Science and Medicine* 9 (CSSI3), 36–46.
- Gutiérrez-Sánchez, A. G., Domínguez, A. S., Pérez-Turpin, J. A., Cortell-Tormo, J. M. & Llorca, C. S. (2011). Importance of hand-grip strength as an indicator for predicting the results of competitions of young judokas. *Archives of Judo* 7 (3), 167–172.
- Harris, D. M., Foulds, S. & Latella, C. (2019). Evidence-Based Training Recommendations for elite judoka. *Strength and Conditioning Journal*. Ahead of Print. Doi: 10.1519/SSC.0000000000000426.
- Harre, D. & Leopold, W. (1986a). Kraftausdauer und Kraftausdauertraining. *Theorie und Praxis der Körperkultur* 35 (4), 282–292.
- Harre, D. & Leopold, W. (1986b). Kraftausdauer und Kraftausdauertraining. *Theorie und Praxis der Körperkultur* 35 (5), 355–359.
- Heinisch, H. D. & Lehmann, G. (2007). Struktur der Zielgerichtetheit der sportartspezifischen Trainingsmittel im Judo. *Leistungssport* 37 (5, 6–14.)
- Heinisch, H. D., Oswald, R., Ultsch, D., Bazynski, M., Birod, M. & Büsch, D. (2012). Analyse der Olympischen Spiele 2012 im Judo. *Zeitschrift für Angewandte Trainingswissenschaft* 19 (2), 121–150.
- Heinisch, H. D., Knoll, K., Büsch, D., Schulze, R., Leonhardt, S & Schulze, J. (2016). Effektivitätsstudie zur akzentuierten Entwicklung der Griffkraft im Judo. In D. Büsch, H.-D. Heinisch & R. Lüdemann (Hrsg.), *Leistungsfaktoren in den Spiel- und Kampfsportarten* (Schriftreihe für Angewandte Trainingswissenschaft, 5, S. 24–40). Aachen: Meyer & Meyer.
- Heinisch, H. D., Oswald, R., Ultsch, D., Bazynski, M., Leonhardt, S. & Büsch, D. (2017). Analyse der Olympischen Spiele 2016 im Judo und Entwicklungstendenzen im Olympiazzyklus 2012–2016. In: J. Wick, I. Seidel, D. Büsch, *Olympiaanalyse Rio 2016: Olympiazzyklusanalysen und Auswertungen der Olympischen Spiele 2016*. Aachen: Meyer & Meyer.
- Helm, N., Prieske, O., Meuhlbauer, T., Krüger, T., Chaabene, H. & Granacher, U. (2018a). Validation of a new judo-specific ergometer system in male elite and sub-elite athletes. *Journal of Sports Science and Medicine* 17 (3), 465–474.
- Helm, N., Prieske, O., Muehlbauer, T., Krüger, T. & Granacher, U. (2018b): Effekte eines judospezifischen Messplatztrainings auf kinetische und elektromyographische Parameter des Anreißen bei Wurfeingangsbebewegungen von Judoka. *Sportverletzung Sportschaden* 32 (2), 134–142.
- Helm, N., Prieske, O., Muehlbauer, T., Retzlaff, M., Krüger, T. & Granacher, U. (2018c): Assoziationen zwischen der Rumpfkraft und judospezifischen Leistungen von Judoka. *Sportverletzung Sportschaden*, Epub ahead of print.
- Hohmann, A., Lames, M. & Letzelter, M. (2010). *Einführung in die Trainingswissenschaft* (5. Aufl.). Wiebelsheim: Limpert.
- Imamura, R. T., Hreljac, A., Escamilla, R. T. & Edwards, W. B. (2006). A three-dimensional analysis of the center of mass for three different judo throwing techniques. *Journal of Sports Science and Medicine* 5 (CSSI), 122–131.

- Kibler, W. B., Press, J. & Sciascia, A. (2006). The role of core stability in athletic function. *Sports Medicine* 36 (3), 189–198.
- Kim, K. S., Park, K. J., Lee, J. & Kanf, B. Y. (2015). Injuries in national olympic level judo athletes: An epidemiological study. *British Journal of Sports Medicine* 49 (17), 1144-1150.
- Kraemer, W. J., Comstock, B. A., Clark, J. E. & Dunn-Lewis, C. (2012). Athlete needs analysis. In *NSCA's guide to program designs*, 1–21.
- Lehmann, G. & Ulbricht, J. (2007). *Judo. Klassische und modern Wurftechniken*. Aachen: Meyer & Meyer.
- Lopes-Silva, J. P., Panissa, V. L. G., Julio, U. F. & Franchini, E. (2018). Influence of physical fitness on Special Judo Fitness Test performance: a multiple linear regression analysis. *Journal of Strength and Conditioning Research*, Epub. doi: 10.1519/JSC.0000000000002948.
- Müller, S., Cassel, M., Stoll, J., Müller, J. & Mayer, F. (2017). Rückenschmerzen bei Athleten - wirkt Sport protektiv? *Sportphysio* 5 (2), 57–65.
- Nehrer, S. (2013). Die Frau im Sport: Genderspezifische Probleme in der Sportorthopädie. *Manuelle Medizin* 51 (1), 21–26.
- Olivier, N., Marschall, F. & Büsch, D. (2016). *Grundlagen der Trainingswissenschaft und -lehre* (2. Aufl.). Schorn-dorf: Hofmann.
- Poecoco, E., Ruedl, G., Stankovic, N., Sterkowicz, S., Del Vecchio, F. B., Gutiérrez-Garcia, C., Rousseau, R., Wolf, M., Kopp, M., Miarka, B., Menz, V., Krüsmann, P., Calmet, M., Malliaropoulos, N., & Burtscher, M. (2013). Injuries in judo: a systematic literature review including suggestions for prevention. *British Journal of Sports Medicine* 47 (18), 1139–1143.
- Prill, R., Michel, S. Schulz, R. & Coriolano, H. A. (2019). Body composition and strength parameters in elite judo athletes 5 years after anterior cruciate ligament reconstruction. *International Journal of Sports Medicine* 40 (1), 38–2.
- Radovanovic, D., Bratic, M., Nurkic, M., Cvetkovic, T., Ignjatovic, A. & Aleksandrovic, M. (2009). Oxidative stress biomarker response to concurrent strength and endurance training. *General Physiology and Biophysics* 28 (Special Issue), 205–211.
- Raschner, C., Platzer, H. P., Patterson, C., Werner, I., Huber, R. & Hildebrandt, C. (2012). The relationship between ACL injuries and physical fitness in young competitive ski racers: a 10-years longitudinal study. *British Journal of Sports Medicine* 46 (15), 1065–1071.
- Schumann, M., & Ronnestad (Eds.). (2019). *Concurrent aerobic and strength training. Scientific basics and practical applications*. Cham, Schweiz: Springer.
- Sterkowicz S. (1995). Special judo fitness test. *Antropomotoryka* 12-13: 29–44 (in Polish, Abstract in English).
- Tittel, K., & Seidel, E. (2016). *Beschreibende und funktionelle Anatomie des Menschen* (16 Aufl.). München: Urban & Fischer.
- Ullrich, B., Pelzer, T., Oliveira, S. & Pfeiffer, M. (2015). Anpassungseffekte linearen und täglich-nichtlinearen Krafttrainings während zwei Kurzzeit-Mesozyklen. Eine Untersuchung mit Elite-Nachwuchsjudoka Teil 3 der Beitragsreihe Krafttraining-Periodisierungsmodelle auf dem Prüfstand. *Leistungssport* 45 (6), 36–42.

Publikation II (in englischer Sprache)

VALIDATION OF A NEW JUSO-SPECIFIC ERGOMETER SYSTEM IN MALE ELITE AND SUB-ELITE ATHLETES

Norman Helm^{1,2}, Olaf Prieske², Thomas Muehlbauer^{2,3}, Tom Krüger², Helmi Chaabene² & Urs Granacher²

¹ Olympic Testing and Training Center Brandenburg, Potsdam, Germany

² Division of Training and Movement Sciences, University of Potsdam, Potsdam, Germany

³ Division of Movement and Training Science/Biomechanics of Sport, University of Duisburg-Essen, Essen, Germany

Helm, N., Prieske, O., Muehlbauer, T., Krüger, T., Chaabene, H. & Granacher, U. (2018). Validation of A New Judo-Specific Ergometer System in Male Elite and Sub-Elite Athletes. *Journal of Sport Science and Medicine* 17 (3), 465-475.

Abstract

Our experimental approach included two studies to determine discriminative validity and test-retest reliability (study 1) as well as ecological validity (study 2) of a judo ergometer system while performing judo-specific movements. Sixteen elite (age: 23 ± 3 years) and 11 sub-elite (age: 16 ± 1 years) athletes participated in study 1 and 14 male sub-elite judo athletes participated in study 2.

Discriminative validity and test-retest reliability of sport-specific parameters (mechanical work, maximal force) were assessed during pulling movements with and without *tsukuri* (*kuzushi*). Ecological validity of muscle activity was determined by performing pulling movements using the ergometer without *tsukuri* and during the same movements against an opponent. In both conditions, electromyographic activity of trunk (e.g., m. erector spinae) and upper limb muscles (e.g., m. biceps brachii) were assessed separately for the lifting and pulling arm.

Elite athletes showed mostly better mechanical work, maximal force, and power ($0.12 \leq d \leq 1.80$) compared with sub-elite athletes. The receiver operating characteristic analysis revealed acceptable validity of the JERGo[®] system to discriminate athletes of different performance levels predominantly during *kuzushi* without *tsukuri* (area under the curve = 0.27 - 0.90). Moreover, small-to-medium discriminative validity was found to detect meaningful performance changes for mechanical work and maximal force. The JERGo[®] system showed small-to-high relative (ICC = 0.37 - 0.92) and absolute reliability (SEM = 10.8 - 18.8 %). Finally, our analyses revealed acceptable correlations ($r = 0.41 - 0.88$) between muscle activity during *kuzushi* performed with the JERGo[®] system compared with a judo opponent.

Our findings indicate that the JERGo[®] system is a valid and reliable test instrument for the assessment and training of judo-specific pulling kinetics particularly during *kuzushi* movement without *tsukuri*.

Introduction

A systematic performance analysis of the judo competitions during the 2016 Summer Olympic Games in Rio de Janeiro revealed a more offensive combat behavior and a high action density as well as an increased effectiveness of individual techniques (Heinisch et al., 2017). In this regard, it has been shown that defeated judo players displayed less proficient throwing techniques compared with the winners. This finding was previously substantiated by a deficient judo-specific pulling movement during the onset of the throwing technique in defeated judo players who were not able to sufficiently perturb balance of their opponent (*uke*) (Heinisch et al., 2012). Of note, the preparatory phase (i.e., *kuzushi*) of a judo maneuver has been deemed critical to perform a successful judo throwing technique (e.g., *morote-seoi-nage*, *taiotoshi*) (Blais et al., 2007a; Gutierrez et al., 2009; Imamura et al., 2006). More specifically, *kuzushi* represents the first and critical phase of a throwing technique with the goal to perturb an opponent's balance (Gomes et al., 2017). In this regard, *kuzushi* is a typical movement that is performed several times during judo-specific training to increase the effectiveness of judo throwing techniques in competition (Franchini et al., 2013; 2014).

In terms of *kuzushi* performance, high levels of muscle strength and particularly muscle power are important determinants for the successful performance of throwing techniques (Callister et al., 1991; Drid et al., 2015). Furthermore, powerful *kuzushi* movements have the potential to limit *uke*'s time to initiate a defensive maneuver and to counteract balance-threatening situations (Imamura et al., 2007; Imamura et al., 2006). Indeed, studies revealed that maximal force and isokinetic torque production of upper limb muscles (e.g., elbow flexors and extensors) were significantly associated with judo-specific performance measures and/or success during judo competitions (Callister et al., 1991; Drid et al., 2015). However, there are only a few tools and devices available for the standardized assessment of sport-specific kinetics during *kuzushi* movements.

In this regard, Blais and colleagues (Blais et al., 2007b) introduced a judo-specific apparatus to assess *kuzushi* performance during dynamic change of position (*tsukuri*). Ecological validity was examined using force sensors for the lifting and pulling arm. Significantly different pulling forces were found between the two test exercises (judo-specific training machine vs. *uke*). The same authors explained this finding with differences in the resistive load when working with the apparatus compared to the opponent. Of note, the judo-specific apparatus in the studies

of Blais et al. (2006; 2007a; 2007b) is a stationary device and only pulling masses can be executed during judo-throwing techniques (e.g., *morote-seoi-nage*).

A new judo ergometer system (JERGo[®], Institut für Forschung und Entwicklung von Sportgeräten, Berlin, Germany) has been introduced as an alternative approach for the assessment of judo-specific kinetics. The JERGo[®] system immediately provides independent knowledge of result (kinetic parameter) and performance (force displacement characteristics) during *kuzushi* with and without *tsukuri* for the pulling and the lifting arm, respectively. Further, the JERGo[®] system is a mobile system and easy-to-administer and install in regular judo gyms (*dojos*). Moreover, the apparatus' resistance can be individually adjusted according to each athlete's weight category. Thus, *kuzushi* performance with and without *tsukuri* cannot only be tested but also trained using the JERGo[®] system (Helm et al., 2018).

An important pre-requisite for the application of the JERGo[®] system during testing and training is that it provides valid and reliable data regarding the performance level (discriminative validity). Thus, two studies using the JERGo[®] system were designed to determine discriminative validity and test-retest reliability as well as ecological validity of judo-specific performance measures in male elite and sub-elite judo athletes. With reference to the study of Blais et al. (2007b) and because of the technical possibility to adjust the loads in accordance with the athletes' weight category, we expected acceptable discriminative validity and test-retest reliability as well as ecological validity of judo-specific pulling kinetics using the JERGo[®] system.

Methods

Participants

The main participant's characteristics are summarized in Table 1. In both experiments (study 1 and 2), at least two athletes from each weight category (-60 kg, -66 kg, -73 kg, -81 kg, -90 kg, -100 kg, +100 kg) were tested. Local ethical permission was provided and both studies were conducted in accordance with the latest version of the Declaration of Helsinki.

Table 1. Characteristics of studies participants and differences in the anthropometric and training characteristics between male elite and sub-elite judo athletes.

	Study 1		<i>p</i> -value (<i>d</i>)	Study 2
	Elite athletes (<i>n</i> = 16)	Sub-elite athletes (<i>n</i> = 11)		Sub-elite athletes (<i>n</i> = 14)
Performance level	international	national		national
Age (years)	23.4 ± 3.0	15.9 ± 1.1	< 0.001 (3.08)	17.9 ± 0.7
Body mass (kg)	90.0 ± 21.9	73.6 ± 12.6	0.035 (.87)	79.6 ± 15.2
Body height (m)	1.79 ± .08	1.7 ± .08	0.881 (.06)	1.79 ± 0.1
Training experience (years)	20.8 ± .9	8.5 ± 2.4	< 0.001 (6.77)	10.6 ± 1.7
Training volume per week (hours)	21.0 ± 1.4	15.4 ± 1.1	< 0.001 (4.14)	16.6 ± 2.0

Data was shown as mean \pm standard deviation (mean \pm SD). d = effect size.

Procedures

Our experimental approach included two studies to determine discriminative validity and test-retest reliability (study 1) as well as ecological validity (study 2) of a judo ergometer (JERGo[®]) system while performing judo-specific movements. Both experiments used a standardized general warm-up comprising 60 seconds rope-skipping and a judo-specific warm-up consisting of 10 submaximal and 3 maximal *kuzushi* movements with and without *tsukuri* using the JERGo[®] system and uke. A 3 seconds rest was provided between trials and 5 minutes were considered between each test condition. Discriminative validity and test-retest reliability of sport-specific parameters (mechanical work, maximal force, power) were assessed during 10 maximal *kuzushi* movements with (Figure 1a) and without (Figure 1b) *tsukuri* using the JERGo[®] system. The first and the last trial were removed and the best out of 8 trials (2nd to 9th) was used for further analysis. To examine test-retest reliability, measurements were repeated within a one-week interval (five-to-seven days).

Ecological validity of trunk and upper limb muscle activity was determined during 6 maximal *kuzushi* movements without *tsukuri* using either the JERGo[®] system (Figure 2a) or uke (Figure 2b). The first trial was removed and the average of 5 trials was used for further analysis. The testing of the two conditions (study 1: *kuzushi* with or without *tsukuri*, study 2: JERGo[®] system or uke) were carried out in randomized order. Rest between trials was 3 seconds and rest between two test conditions amounted to 5 minutes. All athletes were measured while performing the standardized judo technique *morote-seoi-nage*.

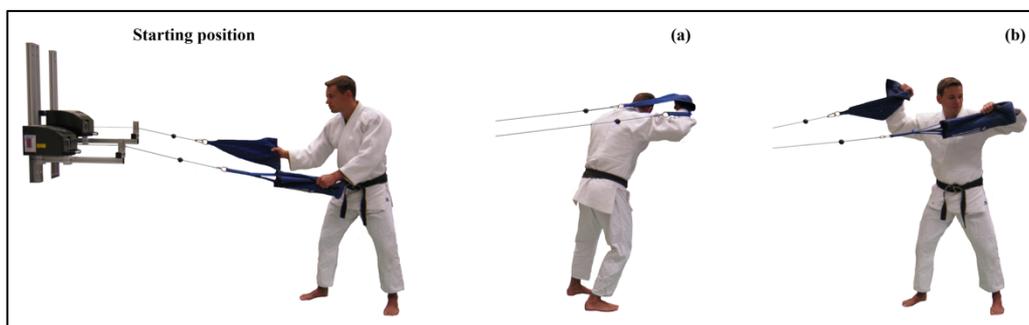


Figure 1. Setup for the assessment of (a) *kuzushi* with *tsukuri* and (b) without *tsukuri* at the judo ergometer (JERGo[®]) system.

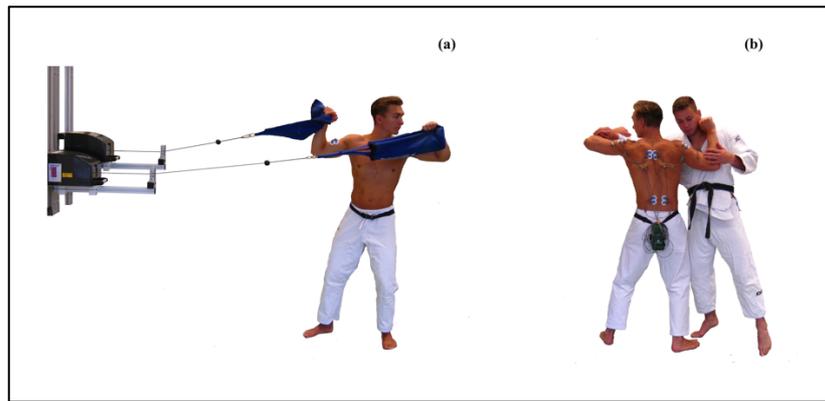


Figure 2. Electromyographic analysis of *kuzushi* without *tsukuri* using (a) the judo ergometer (JERGo[®]) system and (b) *uke*. Activity of the m. deltoideus, the m. biceps brachii, the m. erector spinae, and the m. trapezius were separately recorded for the lifting and the pulling arm.

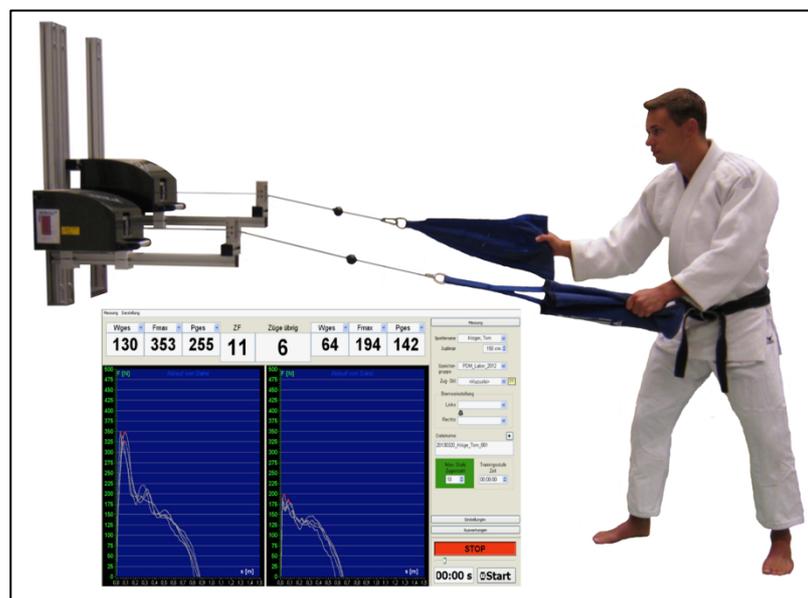


Figure 3. Judo ergometer (JERGo[®]) system with real time display for judo-specific performances (i.e., mechanical work, maximal force, power) and force displacement characteristics for the pulling (left display) and the lifting (right display) arm during repeated *kuzushi* movements.

Testing with the JERGo[®] system

The testing apparatus consists of a wall bracket, two mobile JERGo[®] systems (lifting and pulling arm) and a combat judo mat of four square meters (Figure 3). The rotor of the eddy current brake is connected to a winding drum via a shaft. The pulling cable is rolled up on the shaft and contains judo-specific grips (see Figure 3). The shaft is rigidly connected to the rotor of the eddy current brake and thus the force transmission takes place in only one direction of rotation. During a pulling movement, forces are transmitted through a free wheel of the shaft onto the rotor of the eddy current brake. For the JERGo[®] system, lifting and pulling arm grips were manufactured according to a judo kimono (Adidas company, see Figure 3). This allows

the athletes to perform a judo-specific sleeve-reverse grip. The JERGo[®] software (JERGo2000 V 5.1) was developed using LabView 8.6. Data transfer from the sensor is controlled by a microcontroller (AT Mega 128). In addition, the controller adopts the pulse width control for the eddy current brake and the communication with the PC (via USB). Data (e.g., athlete, testing place, testing date) and results were recorded using a custom-made software. Before the JERGo[®] system is ready for testing, a calibration is carried out for zero-point transfer. The individual adjustment of the eddy current brakes (height of lifting and pulling arm, brake resistance) is interlocked by the athletes' weight category and body height as well as the preferred judo technique. Judo-specific kinetics (mechanical work [the amount of energy transferred by a force], maximal force [peak force of the time-force curve], power [the rate of doing mechanical work]) as well as force displacement characteristics for the pulling and lifting arm were analyzed and displayed on a laptop. Relative values (normalized to body mass) were used to determine discriminative validity and absolute values were used to calculate test-retest reliability. Figure 3 shows the JERGo[®] system with an online recording screenshot for *kuzushi* without *tsukuri*. Resistance of the two eddy current brakes was regulated according to each athlete's weight category using seven brake levels (-60kg = 500 N, -66 kg = 600 N, -73 kg = 700 N, -81 kg = 800 N, -90 kg = 900 N, -100 kg = 1,000 N, +100 kg = 1,000 N). In addition, a grading of the brake load was conducted at pull-out length (waypoint [WP] 1: 100 % [≥ 0 cm], WP2: 80 % [≥ 20 cm], WP3: 50 % [≥ 40 cm], return [RT]: 50 %). One-hundred percent resistance at WP1 was defined by the respective weight category (i.e., -100 kg = 1,000 N and -60 kg = 500 N at WP1). The optimal resistance by weight category and at pull-out length was determined in pilot studies with the male German judo national squad. The height of the eddy current brake was adjusted for the lifting hand at athletes' shoulder and for the pulling arm at athletes' elbow.

Testing with uke

Each participating athlete was allowed to select his preferred *uke* according to *tori's* weight category and body height. When executing *kuzushi* without *tsukuri*, *uke* did not actively resist and promote the pulling movement in regular judo-specific posture. In other words, *uke* was passive.

Assessment of muscle activity

During *kuzushi* without *tsukuri* (Figures 2a-b), electromyographic (EMG) activity of the m. deltoideus (pars acromialis), the m. biceps brachii, the m. erector spinae (pars lumbalis), and the m. trapezius (pars transversa) was measured using circular bipolar surface electrodes (Ambu®, type: Blue Sensor P-00-S/50, Ag/AgCl, diameter: 13 mm, center-to-center distance: 25 mm, Ballerup, Denmark). Electrodes were positioned on the muscle bellies according to the European recommendations for surface electromyography (Hermens et al., 1999). The EMG signals were amplified and telemetrically recorded (TeleMyo 2400 G2, Noraxon®, Scottsdale, AZ, USA) at a sampling frequency of 1,500 Hz. Subsequently, signals were saved and further processed using MyoResearch XP Master Edition-Software (Version 1.08.17, Noraxon®, Scottsdale, AZ, USA). EMG signals were not normalized because testing was conducted during one test session in a within but not between-subject design. For later offline analysis, electrical heart muscle activity artifacts were removed from the trunk muscle signals (Prieske et al., 2013). Afterward, EMG signals were smoothed using a digital bandpass (high-pass: 10 Hz, low-pass: 750 Hz) and full wave rectified filter. During the performance with the JERGo® system as well as with uke, EMG data was synchronized using a 2D accelerometer (Noraxon®, Scottsdale, AZ, USA) attached to the wrist of the pulling arm. A moving root mean square filter was applied to process the acceleration signal with a time constant of 50 ms. Onset of muscle activity was set at 20 % of the maximal acceleration signal. For further analysis, the mean amplitude voltage (MAV) was taken separately for the lifting and pulling arm for time intervals of 0 - 30 ms, 0 - 50 ms, 0 - 100 ms, and 0 - 200 ms. These time intervals provide information on muscle activation patterns during high velocity (explosive-type) movements (Prieske et al., 2014).

Statistical analysis

Data were unimodally distributed and thus presented as mean values and standard deviations (*SD*). Data were tested for normal distribution using the Shapiro-Wilk test. Discriminative validity of the JERGo® system was established from analysis of variance (ANOVA) to compare performances of elite and sub-elite groups. Effect size (*d*) was determined and rated as follow: "small" $d < 0.50$, "moderate" $0.50 \leq d < 0.80$, and "large" $d \geq 0.80$ (Cohen, 1988). Additionally, the receiver operator characteristic (ROC) curve analysis was conducted. According to Deyo and Center (1986), an area under the ROC curve (AUC) > 0.70 is deemed to indicate "good" discriminative validity of the JERGo® system. Relative and absolute reliability were assessed

using the intraclass correlation coefficient (ICC) and the standard error of measurement (SEM) expressed as coefficient of variation (CV), respectively. According to Fleiss (1986), ICC > 0.75 are classified as "excellent", "fair-to-good" if between 0.40 and 0.75, and "poor" if < 0.40. Of note, CV values of $\leq 15\%$ are classified as satisfactory (Stokes, 1985). Practical relevance of the JERGo[®] system was assessed by comparing the smallest worthwhile change (SWC) and the SEM. The SWC was assumed by multiplying the between-subjects SD by 0.2 (SWC0.2) indicating the typical small effect, 0.6 (SWC0.6) a moderate effect, and 1.2 (SWC1.2) a large effect (Hopkins et al., 2009). The ability of the test to detect a change was rated as "good", "OK", or "marginal" when the SEM was below, similar, or higher than the SWC, respectively (Liow and Hopkins, 2003). The minimal detectable change (MDC95%) of the JERGo[®] system was determined as $MDC95\% = SEM \times 1.96 \times \sqrt{2}$ (Haley and Fragala-Pinkham, 2006). Ecological validity was quantitatively assessed with the Pearson correlation coefficient (r). The magnitude of effects was qualitatively rated as "small" $r < 0.7$, "moderate" $0.7 \leq r < 0.9$, and "large" $r \geq 0.9$ (Vincent and Weir, 2012). Further, Bland-Altman plots were provided to identify the magnitude of agreement between the two conditions (i.e., *kuzushi* without *tsukuri* at the JERGo[®] system and with *uke*). Here, the differences in muscle activities between conditions were plotted against the mean of the respective measurements (Bland and Altman, 1986). It was previously recommended that 95 % of the data points should lie within the mean $\pm 1.96 SD$ (limits of agreement [LOA]) of the differences between conditions (Bland and Altman, 1986). Lastly, a repeated measures ANOVA was used to compare muscle activity during *kuzushi* without *tsukuri* performed with the judo ergometer (JERGo[®]) system and with *uke*. The statistical significance level was set at $p < 0.05$. All analyses were performed using the Statistical Package for Social Sciences (IBM[®] SPSS[®] Statistics 23).

Results

Discriminative validity of judo-specific kinetics

Table 2 shows absolute and relative judo-specific pulling kinetics for elite and sub-elite athletes. For *kuzushi* without *tsukuri*, elite compared to sub-elite athletes achieved significant and "large" judo-specific pulling kinetics in mechanical work ($p < 0.05$; $1.09 \leq d \leq 1.80$) and in power ($p \leq 0.05$; $0.88 \leq d \leq 0.93$). However, non-significant between-group differences were observed for maximal force ($p > 0.05$; $0.50 \leq d \leq 0.52$). The discriminative validity showed "excellent" AUC values for mechanical work ($0.77 \leq AUC \leq 0.90$) and power ($AUC = 0.71$), and "poor to fair" for maximal force ($0.27 \leq AUC \leq 0.66$).

During *kuzushi* with *tsukuri*, elite compared to sub-elite athletes showed non-significant but "moderate-to-large" effects for mechanical work ($p > 0.05$; $0.65 \leq d \leq 0.90$), "small" for maximal force ($p > 0.05$; $0.24 \leq d \leq 0.45$), and "small-to-large" for power ($p > 0.05$; $0.12 \leq d \leq 0.84$). The respective AUC values indicated "fair-to-excellent" values in mechanical work ($0.67 \leq \text{AUC} \leq 0.73$) and in power ($0.45 \leq \text{AUC} \leq 0.71$), as well as "fair" in maximal force ($0.53 \leq \text{AUC} \leq 0.59$).

Table 2. Discriminative validity for the assessment of judo-specific performances between male elite and sub-elite judo athletes.

	All (n = 27)	Elite (n = 16)	Sub-elite (n = 11)	p-value (d)	AUC
Kuzushi without tsukuri					
W_{PA} (Nm)	188.9 ± 69.5	238.2 ± 46.4	130.7 ± 40.5	0.001 (1.80)	0.90
nW_{PA} (Nm/kg)	2.3 ± 0.7	2.6 ± 0.4	1.8 ± 0.5		
W_{LA} (Nm)	136.5 ± 48.9	165.6 ± 31.7	102.1 ± 43.6	0.013 (1.09)	0.77
nW_{LA} (Nm/kg)	1.6 ± 0.5	1.8 ± 0.4	1.4 ± 0.5		
F_{peakPA} (N)	402.5 ± 126.2	453.2 ± 122.1	342.7 ± 107.0	0.198 (0.52)	0.66
nF_{peakPA} (N/kg)	4.8 ± 1.3	5.2 ± 1.4	4.5 ± 1.3		
F_{peakLA} (N)	283.3 ± 69.6	298.4 ± 68.6	265.5 ± 69.7	0.181 (0.50)	0.27
nF_{peakLA} (N/kg)	3.4 ± 0.8	3.2 ± 0.7	3.6 ± 0.9		
P_{PA} (W)	314.2 ± 105.3	420.9 ± 49.1	245.5 ± 72.7	0.050 (0.88)	0.71
nP_{PA} (W/kg)	3.6 ± 1.0	3.9 ± 1.0	3.1 ± 0.8		
P_{LA} (W)	163.9 ± 97.9	246.0 ± 66.3	138.1 ± 82.3	0.041 (0.93)	0.71
nP_{LA} (W/kg)	2.4 ± 0.7	2.7 ± 0.6	2.1 ± 0.7		
Kuzushi with tsukuri					
W_{PA} (Nm)	134.9 ± 53.5	164.5 ± 50.0	99.9 ± 33.1	0.129 (0.65)	0.67
nW_{PA} (Nm/kg)	(1.6 ± 0.6)	(1.8 ± 0.7)	(1.4 ± 0.5)		
W_{LA} (Nm)	107.7 ± 46.0	128.7 ± 42.6	82.9 ± 37.8	0.065 (0.90)	0.73
nW_{LA} (Nm/kg)	(1.4 ± 0.6)	(1.6 ± 0.6)	(1.1 ± 0.5)		
F_{peakPA} (N)	368.3 ± 136.1	423.7 ± 146.6	302.8 ± 90.2	0.598 (0.24)	0.53
nF_{peakPA} (N/kg)	(4.5 ± 1.7)	(4.7 ± 2.0)	(4.3 ± 1.2)		
F_{peakLA} (N)	236.5 ± 90.2	261.4 ± 74.0	207.1 ± 102.0	0.447 (0.45)	0.59
nF_{peakLA} (N/kg)	(2.9 ± 1.3)	(3.2 ± 1.6)	(2.6 ± 0.9)		
P_{PA} (W)	141.8 ± 62.2	177.3 ± 48.5	140.9 ± 62.6	0.743 (0.12)	0.45
nP_{PA} (W/kg)	(1.7 ± 0.8)	(1.7 ± 0.9)	(1.8 ± 0.7)		
P_{LA} (W)	134.3 ± 71.3	193.4 ± 72.3	95.8 ± 50.4	0.086 (0.84)	0.71
nP_{LA} (W/kg)	(1.6 ± 0.8)	(1.8 ± 0.8)	(1.2 ± 0.6)		

Absolute and body mass normalized data was shown as mean ± standard deviation (mean ± SD). Differences between elite and sub-elite athletes were calculated using body mass normalized data for the first assessment. d = effect size, AUC = area under the receiver operating characteristics curve, W = mechanical work, F_{peak} = maximal force, P = power, PA = pulling arm, LA = lifting arm, n = Body mass normalized data.

Test-retest reliability of judo-specific pulling kinetics

Table 3 presents ICC, SEM, and SWC values for test-retest reliability of both test conditions and arms. Results indicated "excellent" ICC values in mechanical work ($0.76 \leq \text{ICC} \leq 0.92$) and "poor-to-excellent" ICC values in maximal force ($0.37 \leq \text{ICC} \leq 0.80$). However, our test-retest analysis indicated "poor" to "fair to good" reliability for power ($0.19 \leq \text{ICC} \leq 0.51$). In addition, SEM in the form of CV values ranged from 10.8 to 18.8 % for mechanical work and maximal force, and from 24.2 to 47.1 % for power, irrespective of the examined arm and test condition. Further, the capacity to detect changes was predominately good for SWC0.6 and

SWC1.2, irrespective of the analyzed arm and test condition. However, a marginal capacity to detect changes was found for SWC0.2. Finally, the MDC95% values ranged from 42.9 to 62.1 Nm for mechanical work, from 129.3 to 164.9 N for maximal force, and from 160.7 to 234.3 W for power, irrespective of the examined arm and test condition.

Table 3. Test-retest reliability for the assessment of judo-specific performances in male elite and sub-elite judo athletes.

	ICC (95% CI)	SEM	SEM (%)	SWC _{0.2}	SWC _{0.6}	SWC _{1.2}	MDC _{95%}
Kuzushi without tsukuri							
W _{PA} (Nm)	0.87** (0.70 - 0.95)	22.2	10.8	13.5	40.6	81.2	61.5
W _{LA} (Nm)	0.76** (0.49 - 0.90)	22.4	14.7	8.7	26.0	52.0	62.1
F _{peakPA} (N)	0.75** (0.47 - 0.89)	59.5	13.7	25.0	75.1	150.3	164.9
F _{peakLA} (N)	0.37* (-0.07 - 0.69)	48.9	16.6	12.5	37.6	75.1	135.6
P _{PA} (W)	0.51* (0.10 - 0.77)	77.2	24.2	21.6	64.8	129.6	213.9
P _{LA} (W)	0.19 (-0.27 - 0.58)	84.5	42.6	20.1	60.3	120.5	234.3
Kuzushi with tsukuri							
W _{PA} (Nm)	0.76** (0.49 - 0.90)	20.3	14.8	8.7	26.1	52.1	56.2
W _{LA} (Nm)	0.92** (0.80 - 0.97)	15.5	12.7	10.4	31.3	62.6	42.9
F _{peakPA} (N)	0.78** (0.52 - 0.91)	59.1	16.1	24.9	74.6	149.3	163.9
F _{peakLA} (N)	0.80** (0.56 - 0.92)	46.7	18.8	23.2	69.6	139.2	129.3
P _{PA} (W)	0.32 (-0.13 - 0.66)	58.0	37.4	12.8	38.3	76.6	160.7
P _{LA} (W)	0.32 (-0.13 - 0.66)	63.8	47.1	14.6	43.9	87.7	176.9

ICC = intraclass correlation coefficient, CI = confidence interval, SEM = standard error of measurement, SWC = smallest worthwhile change, MDC95% = minimal detectable change, W = work, F_{peak} = maximal force, P = power, PA = pulling arm, LA = lifting arm, * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$.

Ecological validity of muscle activity during a judo-specific pulling movement

Results for ecological validity of muscle activities during *kuzushi* movements without *tsukuri* using the JERGo[®] system compared to uke are illustrated in Table 4 and 5. The analysis revealed significant "moderate" r values for the m. erector spinae ($0.79 \leq r \leq 0.88$), significant "small-to-moderate" correlations for the m. deltoideus and m. biceps brachii ($0.60 \leq r \leq 0.82$), irrespective of the examined arm. Concerning the m. trapezius, the results yielded significant "moderate" r values for the pulling arm ($0.70 \leq r \leq 0.71$) and non-significant "small" correlations for the lifting arm ($0.41 \leq r \leq 0.53$).

Further, significant differences ($p < 0.05$) were found for the pulling arm for the m. deltoideus for all time intervals (0 - 30 ms, 0 - 50 ms, 0 - 100 ms, 0 - 200 ms), biceps brachii (0 - 50 ms, 0 - 100 ms, 0 - 200 ms) and m. trapezius (0 - 30 ms, 0 - 50 ms). Concerning the lifting arm, significant differences ($p < 0.05$) were observed for the m. deltoideus for all time intervals (0 - 30 ms, 0 - 50 ms, 0 - 100 ms, 0 - 200 ms) and for the m. erector spinae (0 - 30 ms, 0 - 50 ms, 0 - 100 ms) (Table 5).

Irrespective of the analyzed muscle, arm, and time interval, Bland-Altman analyses indicated zero to two out of 14 data points ($\leq 14.3\%$) lying outside of the LOAs. An example of a Bland-

Altman plot for the time interval 0 - 100 ms of the pulling arm (m. biceps brachii) is presented in Figure 4. Large systematic errors (~100 μV) were identified in all time intervals for the m. trapezius of the lifting arm. Erroneous data were also observed for longer time intervals (0 - 100 ms, 0 - 200 ms) of the lifting arm (m. biceps brachii, m. deltoideus, Table 4). In addition, lower variances with respect to the LOAs were obtained for the short (0 - 30, 0 - 50 ms) compared to the long (0 - 100 ms, 0 - 200 ms) time intervals.

Table 4. Ecological validity of muscle activity during *kuzushi* without *tsukuri* performed with the judo ergometer (JERGo[®]) system and with *uke*.

		Pulling arm		Lifting arm	
		<i>r</i>	LOA	<i>r</i>	LOA
M. deltoideus	0 - 30 ms	0.60*	-154.0 ± 141.7	0.79**	-46.5 ± 59.2
	0 - 50 ms	0.61*	2.4 ± 107.4	0.68**	-61.5 ± 81.5
	0 - 100 ms	0.69*	-148.0 ± 134.6	0.62*	-101.7 ± 129.7
	0 - 200 ms	0.62*	-124.9 ± 163.5	0.69**	-134.5 ± 174.6
M. biceps brachii	0 - 30 ms	0.76*	23.5 ± 62.1	0.75**	91.5 ± 199.2
	0 - 50 ms	0.75**	53.7 ± 82.6	0.79**	122.0 ± 213.5
	0 - 100 ms	0.60*	118.5 ± 141.7	0.82**	96.6 ± 234.5
	0 - 200 ms	0.70**	186.3 ± 146.9	0.81**	64.7 ± 238.7
M. erector spinae	0 - 30 ms	0.85**	13.6 ± 76.2	0.88**	-40.9 ± 40.1
	0 - 50 ms	0.85**	6.4 ± 78.6	0.87**	171.3 ± 123.1
	0 - 100 ms	0.85**	8.1 ± 72.9	0.86**	-35.8 ± 40.8
	0 - 200 ms	0.82**	35.1 ± 79.9	0.79**	-2.4 ± 39.6
M. trapezius	0 - 30 ms	0.71**	-142.0 ± 201.5	0.45	50.7 ± 153.4
	0 - 50 ms	0.71**	-131.6 ± 219.0	0.41	30.1 ± 196.3
	0 - 100 ms	0.70**	-116.8 ± 225.9	0.41	-40.7 ± 230.3
	0 - 200 ms	0.70**	-133.0 ± 431.6	0.53	-99.2 ± 230.0

r = Pearson correlation coefficient, LOA = limits of agreement, **p* < 0.05, ***p* < 0.01.

Table 5. Muscle activity (mean average voltage) during *kuzushi* without *tsukuri* performed with the judo ergometer (JERGo[®]) system and with *uke*.

		Pulling arm			Lifting arm		
		JERGo [®] [μV]	<i>Uke</i> [μV]	<i>p</i> -value (<i>d</i>)	JERGo [®] [μV]	<i>Uke</i> [μV]	<i>p</i> -value (<i>d</i>)
M. deltoideus	0 - 30 ms	121.4 ± 92.2	275.4 ± 170.0	0.001 (1.13)	72.1 ± 76.6	118.6 ± 93.2	0.011 (0.55)
	0 - 50 ms	151.4 ± 111.0	306.0 ± 173.9	0.001 (1.06)	87.5 ± 82.5	149.0 ± 106.8	0.014 (0.64)
	0 - 100 ms	221.3 ± 159.2	369.3 ± 170.0	0.001 (0.90)	136.1 ± 98.8	237.9 ± 159.4	0.012 (0.77)
	0 - 200 ms	321.6 ± 192.8	446.6 ± 165.1	0.013 (0.70)	234.2 ± 151.2	368.6 ± 231.6	0.013 (0.69)
M. biceps brachii	0 - 30 ms	123.9 ± 90.6	100.4 ± 81.3	0.180 (0.27)	325.5 ± 283.9	234.0 ± 174.6	0.109 (0.39)
	0 - 50 ms	169.0 ± 119.3	115.3 ± 83.6	0.030 (0.52)	399.2 ± 324.0	287.2 ± 204.8	0.071 (0.41)
	0 - 100 ms	272.4 ± 170.4	153.9 ± 95.0	0.008 (0.86)	538.9 ± 379.9	442.2 ± 256.0	0.147 (0.30)
	0 - 200 ms	383.9 ± 198.8	197.6 ± 149.3	< 0.001 (1.06)	697.2 ± 391.3	632.5 ± 308.2	0.329 (0.18)
M. erector spinae	0 - 30 ms	319.2 ± 119.7	305.6 ± 140.3	0.517 (0.10)	105.9 ± 57.0	146.8 ± 79.0	0.002 (0.59)
	0 - 50 ms	322.7 ± 120.7	316.3 ± 142.1	0.764 (0.05)	108.9 ± 58.6	151.4 ± 79.7	0.002 (0.61)
	0 - 100 ms	329.8 ± 121.9	321.7 ± 134.4	0.686 (0.06)	116.7 ± 61.8	152.5 ± 77.5	0.006 (0.51)
	0 - 200 ms	345.7 ± 130.1	310.6 ± 127.1	0.125 (0.27)	122.0 ± 56.0	124.4 ± 61.6	0.827 (0.04)
M. trapezius	0 - 30 ms	335.9 ± 200.0	477.9 ± 276.4	0.021 (0.59)	244.9 ± 153.1	194.2 ± 124.8	0.238 (0.36)
	0 - 50 ms	375.8 ± 223.0	507.4 ± 297.7	0.042 (0.50)	297.4 ± 186.0	267.3 ± 158.4	0.576 (0.17)
	0 - 100 ms	438.4 ± 229.8	555.2 ± 301.5	0.075 (0.44)	370.4 ± 198.1	411.1 ± 208.7	0.520 (0.20)
	0 - 200 ms	539.3 ± 231.7	589.0 ± 250.9	0.358 (0.21)	449.3 ± 201.9	548.5 ± 248.5	0.131 (0.43)

Data was shown as mean ± standard deviation (mean ± *SD*).

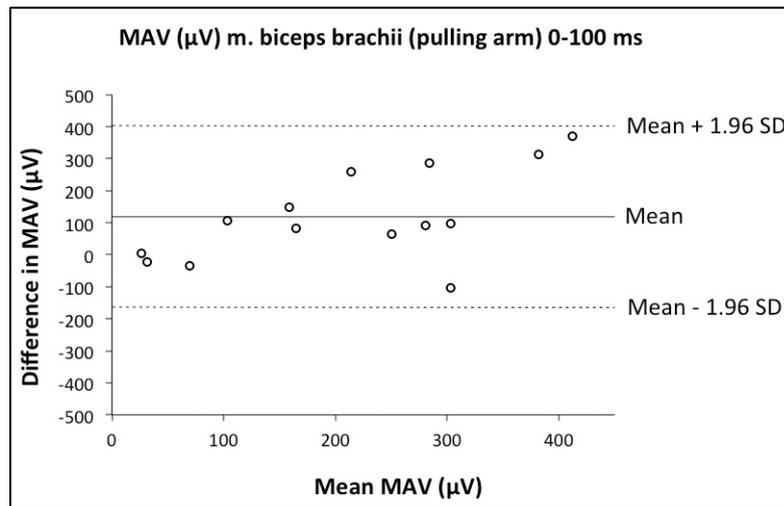


Figure 4. Bland-Altman Plot comparing the mean average voltage (MAV) of the m. biceps brachii during *kuzushi* without *tsukuri* using the JERGo[®] system and *uke* ($n = 14$). The individual differences of MAV between the judo ergometer (JERGo[®]) system and *uke* measurements, respectively, are plotted against the associated mean values. Solid lines indicate the average of the differences. Dotted lines indicated the limits of agreement corresponding to the mean ± 1.96 SD.

Discussion

We examined differences (discriminative validity) and test-retest reliability in judo-specific pulling kinetics between elite and sub-elite judo athletes during *kuzushi* movements with and without *tsukuri*. With reference to the relevant literature (Franchini et al., 2005; Kim et al., 2011; Pocecco et al., 2012), we expected "excellent" correlations between repeated measurements. Additionally, better judo-specific pulling kinetics were hypothesized in both exercise conditions in elite compared to sub-elite athletes. Further, we examined ecological validity of trunk and upper limb muscle activity during *kuzushi* movements without *tsukuri* using the JERGo[®] system compared to the same task with *uke*. With reference to the literature (Blais et al., 2007b), we expected acceptable correlations in muscle activity between the two test conditions. The main findings of the present studies were that (i) elite athletes revealed mostly higher judo-specific pulling kinetics (mechanical work, maximal force, power) during *kuzushi* movements especially without *tsukuri* compared with sub-elite athletes; (ii) judo-specific pulling kinetics (mechanical work, maximal force) showed predominantly "excellent" test-retest reliability for both exercise conditions; (iii) the JERGo[®] system is able to detect "moderate" and "large" performance changes; (iv) muscle activities during the performance of *kuzushi* movements without *tsukuri* using the JERGo[®] system compared with *uke* indicated acceptable relative ecological validity.

Discriminative validity of judo-specific kinetics

In terms of the examination of differences (discriminative validity) in judo-specific pulling kinetics between male elite and sub-elite judo athletes during *kuzushi* movements with and without *tsukuri*, our study revealed medium-to-large-sized higher judo-specific kinetics (mechanical work, maximal force, power) for elite compared to sub-elite athletes especially in *kuzushi* movements without *tsukuri*. It appears that there is a connection between high judo-specific performance (elite athletes) and JERGo[®]-specific performance. In other words, elite athletes outperform sub-elite athletes on the JERGo[®] system during *kuzushi* movements especially during the standardized *kuzushi* without *tsukuri*. Thus, the JERGo[®] system allows to effectively distinguish between elite and sub-elite athletes based on judo-specific pulling data.

In a previous study, Pocecco et al. (2012) reported performance according to expertise levels in judo athletes. The authors observed significantly higher maximal (incremental test on an arm crank ergometer: $d = 4.30$) and mean (incremental test on a bicycle ergometer: $d = 3.62$) power outputs in senior (age: 25 ± 5 years) compared to youth (age: 15 ± 1 years) judo athletes. Further, Kim et al. (2011) reported significantly higher maximal power outputs in the 30-second Wingate test in elite athletes (Korean judo national team) with a mean age of 24 ± 3 years compared to sub-elite athletes of different age (university varsity team, mean age: 20 ± 1 years; junior varsity team, mean age: 16 ± 1 years). In addition, Franchini et al. (2005) observed significantly higher mean ($d = 0.47$) and maximal ($d = 0.52$) power outputs in the 30-second Wingate test in high performance athletes (medal winners at national and/or international competitions) compared with judo athletes who did not succeed at national and/or international competitions. Furthermore, high-performance athletes achieved a higher number of throws ($d = 1.25$) in a judo-specific fitness test compared to the less successful ones. The judo-specific fitness test consists of three time intervals (A = 15 s, B and C = 30 s) of judo activity interspersed with 10 s rest intervals. During the judo-specific fitness test, *tori* throws two *uke*'s, six meters from each other using the judo technique *ippon-seoi-nage*. The reported performance differences between elite/high performance and sub-elite athletes can be explained by the fact that elite athletes compared to sub-elite athletes exhibit more training years as well as realize larger training volumes and intensities (Franchini et al., 2005; Kim et al., 2011) and/or provide a favorable genetic phenotype (Cieszczyk et al., 2010; Hermine et al., 2015; Itaka et al., 2016). These differences may induce and/or predispose to specific adaptations that allow for higher performance outputs in components of physical fitness and in sport-

specific performance (Hermine et al., 2015). In terms of *kuzushi* movement with *tsukuri*, however, small-to-large-sized but non-significant higher pulling performances were observed in elite compared to sub-elite athletes. In this regard, it has to be noted that the throwing technique was standardized (i.e., *morote-seoi-nage*) throughout the study. However, *morote-seoi-nage* was not the preferred throwing technique in all of the participants. Of note, discriminative validity of a test describes the ability to assess performers of different ability (e.g., pulling force) as rated by another measure/attribute (e.g., training/expertise level) (Chaabene et al., 2018). Thus, lower discriminative validity for *kuzushi* movement with *tsukuri* may be attributed to heterogeneous proficiency levels of the participants in the throwing technique used during testing.

Test-retest reliability of judo-specific pulling kinetics

The results of test-retest reliability revealed consistent findings in mechanical work and maximal force between repeated measurements during *kuzushi* movements with and without *tsukuri*. In terms of absolute (SEM as CV, LOA) and relative (ICC) reliability, judo-specific pulling kinetics (mechanical work, maximal force) during both exercise conditions were replicable with the exception of power output. For this parameter, "poor" ICC (> 0.51) and high SEM as CV values ($> 15\%$) were documented across the two testing days. This implies that the JERGo[®] system can be used for the assessment of training-induced changes with respect to the parameters mechanical work and maximal force. However, it appears that power output cannot be used to reliably detect training-specific adaptations of *kuzushi* movements. In addition, the JERGo[®] system is able to detect "moderate" and "large" performance changes in mechanical work and maximal force during *kuzushi* without and with *tsukuri*.

Ecological validity of muscle activity during a judo-specific pulling movement

In terms of the estimation of the ecological validity of muscle activity detected during *kuzushi* movements without *tsukuri* using the JERGo[®] system compared with uke, our study revealed "small-to-moderate" r values and non-significant differences ($p > 0.05$) in muscle activity predominantly during long time intervals (0 - 100 ms, 0 - 200 ms). In addition, LOA values revealed only a few data points outside the LOAs. Our findings in terms of ecological validity were partly in line with the literature (Blais et al., 2007b). For instance, Blais et al. (2007b), examined ecological validity of a judo-specific training apparatus during *kuzushi* movements with *tsukuri* (*morote-seoi-nage*) compared to uke and found significantly different pulling forces between the two exercise conditions (judo-specific training apparatus vs. *uke*). The authors explained the observed differences with discrepancies in resistance during movement execution at the

training apparatus compared to the exercise with *uke* (Blais et al., 2007b). Our findings in terms of "small" to "moderate" r values for muscle activities can be explained by several reasons. First, the eddy current brake of the JERGo[®] system may not have optimally simulated resistance of *uke*, even though the system allows to individually regulate resistance of *uke* compared to *tori*.

Second, *uke* had the instruction to allow the movement at normal body tension passively and without support. It can be argued that *uke*-related resistance is particularly high at the beginning of the movement due to inertia of mass and continuously decreases thereafter with *uke*'s balance instability and ultimate loss of balance. In contrast, the individually adjusted JERGo[®] brake load adapts less dynamically during the entire pulling movement (WP1: 100 % [≤ 0 cm], WP2: 80 % [≥ 20 cm], WP3: 50 % [≥ 40 cm], RL: 50 %) and may thus offer larger resistance. Accordingly, acceleration may differ during the *kuzushi* with *tsukuri* using the JERGo[®] system compared to *uke*. In fact, significantly lower acceleration values for the time interval of 0-200 ms ($p < 0.05$, $1.32 \leq d \leq 1.94$) were found for the JERGo[®] system (ax: 0.534 g, ay: 0.460 g) compared to *uke* (ax: 0.889 g, ay: 0.861 g) (data not shown). Of note, acceleration of objects is the result of force production which is associated with muscular activity (Bigland- Ritchie, 1981; Laursen et al., 1998). Thus, lower r values for muscle activities could be explained by differences in kinetics during the *kuzushi* with *tsukuri* using the JERGo[®] system compared to *uke*.

Third, high LOA values in muscle activity may also be due to the JERGo[®] system being stationary compared to *uke*. During *kuzushi* without *tsukuri* using an opponent, *uke* changes his position during balance perturbation relative to *tori* (Imamura et al., 2006). In contrast, the eddy current brake of the JERGo[®] system remains in place during *kuzushi* without *tsukuri*. As a result, a direct abutment is generated during *kuzushi* without *tsukuri* using *uke* compared to the JERGo[®] system, which has a direct influence on the resulting force vectors (Fig. 1a-b). This explanation is supported by the study of Rahemi et al. (2014) who showed that force direction and/or magnitude were significantly affected by the activation pattern of the respective muscles.

With respect to the LOA values, long time intervals (0 - 100 ms, 0 - 200 ms) indicated a larger dispersion compared to short time intervals (0 - 30 ms, 0 - 50 ms). The systematic error between muscle activity levels during *kuzushi* movements using the JERGo[®] system compared

to *uke* was also large, especially for the lifting arm during the long time intervals. The observed poor reliability in long compared to short time intervals might be explained by the fact that the probability of recording variations in the movement execution increases with the length of the analyzed time interval.

Limitations

First, we have to acknowledge the significant chronological age difference between elite and sub-elite athletes (study 1). In this regard, although two performance level groups in a similar sport setting were recruited, the established discriminative validity may not explicitly be attributed to the advanced training experience of the elite athletes. According to Chaabene et al. (2018), difference in one measure/attribute (e.g., training level) is a precondition to determine discriminative validity of a test and the respective outcome measures. However, the present findings may partly be a result of other non-controlled factors (e.g., age) as well. Future studies should compare groups of similar chronological age but different training expertise (e.g., elite vs. sub-elite) to substantiate the present findings on discriminative validity of the new judo ergometer system. Second, it is noteworthy that the mechanical limit of the JERGo[®] system does not exceed the maximal resistance of 1,000 N. Thus, the same mechanical resistance was used for the assessments of athletes belonging to the weight categories -100 kg and +100 kg. This may likely underload +100 kg athletes during testing.

Conclusion

Findings from this study revealed that the judo-specific ergometer allows detecting performance differences in judo-specific *kuzushi* kinetics (mechanical work, maximal force, power) especially during *kuzushi* without *tsukuri* between elite and sub-elite athletes. In addition, the results showed reliable measures for the JERGo[®] system, particularly for the parameters mechanical work and maximal force. Furthermore, we observed acceptable correlations, particularly for short time intervals at the beginning of the *kuzushi* movement for muscle activities during *kuzushi* without *tsukuri* using the JERGo[®] system compared with *uke*. Even though muscle activities during *kuzushi* without *tsukuri* using the JERGo[®] system were not identical compared to those with *uke*, similar neuromuscular activation patterns were observed for both exercise conditions. From a practitioner's point of view and with reference to our data, the JERGo[®] system can be used for testing and training of judo-specific pulling kinetics (mechanical work, maximal force) during *kuzushi* movements. For the JERGo[®] system, this is achieved

through the individual application of resistance loads according to the athletes' weight category. Thus, comparable loads can be simulated when working with the JERGo[®] system compared to *uke*. Finally, the JERGo[®] system allows the direct presentation of judo-specific performance data during the *kuzushi* movement (kinetic parameters, displacement characteristics). Both, the standardized movement and immediate feedback during training (knowledge of performance and results) clearly propagate the application of the JERGo[®] system during training to facilitate learning processes. Taken together, findings from this study indicate that the JERGo[®] system can be implemented in the training process to optimize *kuzushi* movements particularly without *tsukuri*.

Acknowledgements

The preparation of the two studies (AZ 071611/12-13 and AZ 071610/13- 14) was supported by the German Federal Institute of Sport Science (Bonn, Germany). The authors would like to specifically thank Y. Bönisch, M. Schendel, A. Kirchner, Prof. Dr. D. Büsch, Dr. H.-D. Heinisch, and L. Heine for their support in the recruitment of athletes. In addition, the authors would like to thank the Institut für Forschung und Entwicklung von Sportgeräten (FES) Berlin, Germany for assistance with the application of the JERGo[®] system. The experiments comply with the current laws of the country in which they were performed. The authors have no conflict of interest to declare.

References

- Bigland-Ritchie, B. (1981). EMG/force relations and fatigue of human voluntary contractions. *Exercise and Sport Sciences Reviews* 9, 75–117.
- Blais, L. & Trilles, F. (2006). The progress achieved by judokas after strength training with a judo-specific machine. *Journal of Sports Science and Medicine* 5, 132–135.
- Blais, L., Trilles, F. & Lacouture, P. (2007a). Three-dimensional joint dynamics and energy expenditure during the execution of a judo throwing technique (Morote Seoï Nage). *Journal of Sports Sciences* 25 (11), 1211–1220.
- Blais, L., Trilles, F. & Lacouture, P. (2007b). Validation of a specific machine to the strength training of judokas. *Journal of Strength and Conditioning Research* 21 (2), 409–412.
- Bland, J. M. & Altman, D. G. (1986). Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *Lancet* 1 (8476), 307–310.
- Callister, R., Callister, R. J., Staron, R. S., Fleck, S. J., Tesch, P. & Dudley, G. A. (1991). Physiological characteristics of elite judo athletes. *International Journal of Sports Medicine* 12 (2), 196–203.
- Chaabene, H., Negra, Y., Bouguezzi, R., Capranica, L., Franchini, E., Prieske, O., Hbacha, H. & Granacher, U. (2018). Tests for the assessment of sport-specific performance in olympic combat sports: A systematic review with practical recommendations. *Frontiers in Physiology* 9, 386.

- Cieszczyk, P., Maciejewska, A., Sawczuk, M., Ficek, K., Eider, J. & Jascaniene, N. (2010). The angiotensin converting enzyme gene I/D polymorphism in elite Polish and Lithuanian judo players. *Biology of Sport* 27 (2), 119–122.
- Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences. 2nd edition*. Hillsdale, Erlbaum.
- Deyo, R. A. & Centor, R. M. (1986). Assessing the responsiveness of functional scales to clinical change: An analogy to diagnostic test performance. *Journal of Chronic Diseases* 39 (11), 897–906.
- Drid, P., Casals, C., Mekic, A., Radjo, I., Stojanovic, M. & Ostojic, S. M. (2015). Fitness and anthropometric profiles of international vs. national judo medalists in half-heavyweight category. *Journal of Strength and Conditioning Research* 29 (8), 2115–2121.
- Fleiss, J.L. (1986) *Reliability of measurement. The design and analysis of clinical experiments*. New York, Wiley.
- Franchini, E., Artioli, G. G. & Brito, C. J. (2013). Judo combat: time- motion analysis and physiology. *International Journal of Performance Analysis in Sport* 13 (3), 624–641.
- Franchini, E., Brito, C. J., Fukuda, D. H. & Artioli, G. G. (2014). The physiology of judo-specific training modalities. *Journal of Strength and Conditioning Research* 28 (5), 1474–1481.
- Franchini, E., Takito, M. Y., Kiss, M. A., & Sterkowicz, S. (2005). Physical fitness and anthropometrical differences between elite and non-elite judo players. *Biology of Sport* 22 (4), 315–328.
- Gomes, F. R., Bastos, F. H., Meira, C. M. Jr., Neiva, J. F. & Tani, G. (2017). Effects of distinct practice conditions on the learning of the o soto gari throwing technique of judo. *Journal of Sports Science* 35 (6), 572–578.
- Gutierrez, A., Prieto, I. & Cancela, J. M. (2009). Most frequent errors in judo uki goshi technique and the existing relations among them analysed through T-patterns. *Journal of Sports Science and Medicine* 8 (CSSI3), 36–46.
- Haley, S. M. & Fragala-Pinkham, M. A. (2006). Interpreting change scores of tests and measures used in physical therapy. *Physical Therapy* 86 (5), 735–743.
- Heinisch, H. D., Oswald, R., Ultsch, D., Bazynski, M., Leonhardt, S. & Büsch, D. (2017). Analyse der Olympischen Spiele 2016 im Judo und Entwicklungstendenzen im Olympiazzyklus 2012-2016. In J. Wick, I. Seidel & D. Büsch (Hrsg.), *Olympiaanalyse Rio 2016: Olympiazzyklusanalysen und Auswertungen der Olympischen Spiele 2016* (S. 294–312). Aachen: Meyer & Meyer.
- Heinisch, H. D., Oswald, R., Ultsch, D., Bazynski, N., Birod, M. & Büsch, D. (2012). Analyse der Olympischen Spiele 2012 im Judo. *Zeitschrift für Angewandte Trainingswissenschaft* 19 (2), 121–150.
- Helm, N., Prieske, O., Muehlbauer, T., Krüger, T. & Granacher, U. (2018). [Effects of judo-specific resistance training on kinetic and electromyographic parameters of pulling exercises in judo athletes]. *Sportverletzung Sportschaden* 32 (2), 134–142.
- Hermens, H. J., Merletti, R. & Freriks, B. (1999). SENIAM: *European recommendations for surface electromyography results of the SENIAM project*. 2nd edition. Enschede, Roessingh Research and Development.
- Hermine, O., Dine, G., Genty, V., Marquet, L. A., Fumagalli, G., Tafflet, M., Guillem, F., van Lierde, F., Rousseaux-Blanchi, M. P., Palierno, C., Lapostolle, J. C., Cervetti, J. P., Frey, A., Jouven, X., Noirez, P. & Toussaint, J. F. (2015). Eighty percent of French sport winners in Olympic, World and Europeans competitions have mutations in the hemochromatosis HFE gene. *Biochimie* 119, 1–5.
- Hopkins, W. G., Marshall, S. W., Batterham, A. M. & Hanin, J. (2009). Progressive statistics for studies in sports medicine and exercise science. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 41 (1), 3–13.

- Imamura, R., Iteya, M., Hreljac, A. & Escamilla, R. (2007) A kinematic comparison of the judo throw harai-goshi during competitive and non-competitive conditions. *Journal of Sports Science and Medicine* 6 (CSSI-2), 15–22.
- Imamura, R. T., Hreljac, A., Escamilla, R. F. & Edwards, W. B. (2006). A three-dimensional analysis of the center of mass for three different judo throwing techniques. *Journal of Sports Science and Medicine* 5 (CSSI), 122–131.
- Itaka, T., Agemizu, K., Aruga, S. & Machida, S. (2016). G allele of the IGF2 Apal polymorphism is associated with judo status. *Journal of Strength and Conditioning Research* 30 (7), 2043–2048.
- Kim, J., Cho, H. C., Jung, H. S. & Yoon, J. D. (2011). Influence of performance level on anaerobic power and body composition in elite male judoists. *Journal of Strength and Conditioning Research* 25 (5), 1346–1354.
- Laursen, B., Jensen, B. R., Nemeth, G. & Sjogaard, G. (1998). A model predicting individual shoulder muscle forces based on relationship between electromyographic and 3D external forces in static position. *Journal of Biomechanics* 31 (8), 731–739.
- Liow, D. K. & Hopkins, W. G. (2003). Velocity specificity of weight training for kayak sprint performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 35 (7), 1232–1237.
- Poecco, E., Gatterer, H., Ruedl, G. & Burtscher, M. (2012). Specific exercise testing in judo athletes. *Archives of Budo* 8 (3), 133–139.
- Prieske, O., Muehlbauer, T., Mueller, S., Krueger, T., Kibele, A., Behm, D. G. & Granacher, U. (2013). Effects of surface instability on neuromuscular performance during drop jumps and landings. *European Journal of Applied Physiology* 113 (12), 2943–2951.
- Prieske, O., Wick, D. & Granacher, U. (2014). Intrasession and intersession reliability in maximal and explosive isometric torque production of the elbow flexors. *Journal of Strength and Conditioning Research* 28 (6), 1771–1777.
- Rahemi, H., Nigam, N. & Wakeling, J. M. (2014). Regionalizing muscle activity causes changes to the magnitude and direction of the force from whole muscles—a modeling study. *Frontiers in Physiology* 5, 298.
- Stokes, M. (1985). Reliability and repeatability of methods for measuring muscle in physiotherapy. *Physiotherapy Theory and Practice* 1 (2), 71–76.
- Vincent, W. J. & Weir, J. P. (2012). *Statistics in kinesiology*, 4th edition. Champaign, Human Kinetics.

Publikation III

ASSOZIATIONEN ZWISCHEN DER RUMPFKRAFT UND JUDOSPEZIFISCHEN AN- RISS-LEISTUNGEN VON JUDOKA

Norman Helm^{1,2}, Olaf Prieske², Thomas Muehlbauer^{2,3}, Tom Krüger², Matthias Retzlaff² & Urs Granacher²

¹ Olympiastützpunkt Brandenburg, Potsdam

² Universität Potsdam, Forschungsschwerpunkt Kognitionswissenschaften, Professur für Trainings- und Bewegungswissenschaft, Potsdam

³ Universität Duisburg-Essen, Professur für Bewegungs- und Trainingswissenschaft/ Biomechanik des Sports, Duisburg-Essen

Helm, N., Prieske, O., Muehlbauer, T., Krüger, T., Retzlaff, M. & Granacher, U. (2018). Assoziationen zwischen der Rumpfkraft und judospezifischen Anriss-Leistungen von Judoka. *Sportverletzung Sportschaden*, doi: 10.1055/a-0677-9608, Epub ahead of print.

Zusammenfassung

Eine gut ausgeprägte Rumpfstabilität ist eine wichtige Voraussetzung für die Mobilität der oberen und unteren Extremitäten während des sportlichen Bewegungsvollzugs. Vor diesem Hintergrund könnte die Rumpfkraft ein leistungsbestimmender Faktor bei der Ausführung judospezifischer Bewegungen darstellen. Das Ziel der vorliegenden Studie war es, statistische Zusammenhänge zwischen der Rumpfkraft und kinetischen Parametern bei Anriss-Bewegungen von Judoka zu untersuchen.

An der Untersuchung nahmen 21 leistungsorientierte Judoka mit einem mittleren Alter von 22 ± 4 Jahre und einem Trainingsumfang von 15 ± 4 Stunden pro Woche teil. Das maximale isokinetische Drehmoment (PIT) der Rumpfflexoren (PIT_{Flex}), -extensoren (PIT_{Ex}) und -rotatoren (PIT_{Rot}) wurde unter Verwendung eines isokinetischen Dynamometers (IsoMed 2000) erfasst. Zusätzlich wurden kinetische Parameter (mechanische Arbeit [W], dynamisch-realisierte Maximalkraft [F_{max}]) bei Anriss-Bewegung im Stand und bei Anriss- mit Eindrehbewegung (d. h. *Morote-seoi-nage*) mithilfe eines judospezifischen Mess- und Informationssystems (JERGo[®]) erhoben.

Die statistische Analyse zeigte signifikante Korrelationen ($0,62 \leq r \leq 0,72$) zwischen den maximalen isokinetischen Drehmomenten (PIT_{Flex} , PIT_{Ex} , PIT_{Rot}) und der Anriss- Bewegung im Stand (W). Zudem konnten signifikante Zusammenhänge ($0,59 \leq r \leq 0,65$) zwischen den isokinetischen Tests (PIT_{Ex} , PIT_{Rot}) und F_{max} auf der Hubarmseite bei der Anriss-Bewegung im Stand gefunden werden. Für die Anriss- mit Eindrehbewegung ergaben sich signifikante Korrelationen ($0,47 \leq r \leq 0,88$) zwischen den isokinetischen Tests (PIT_{Flex} , PIT_{Ex} , PIT_{Rot}) und Leistungskennwerten der judospezifischen Bewegung (W und F_{max}), unabhängig von der untersuchten Armseite. Es wurden vergleichbare Korrelationskoeffizienten zwischen PIT der Rumpfflexoren, -extensoren und -rotatoren und judospezifischen Leistungskennwerten festgestellt. Weiterhin identifizierte die Regressionsanalyse den Kennwert PIT bei Rumpfextension als besten Prädiktor für die mechanische Arbeit bei Anriss-Bewegung im Stand (46,9 %). Bei der Anriss- mit Eindrehbewegung konnte PIT der Rumpfrotatoren auf die Hubarmseite als bester Prädiktor für die mechanische Arbeit (69,4 %) ermittelt werden.

Die Ergebnisse zeigen, dass die Rumpfkraft, insbesondere bei der Rumpfrotationsbewegung, mit Variablen der judospezifischen Leistungskennwerte bei der Anriss- mit Eindrehbewegung assoziiert ist. Dies impliziert, dass vor allem durch rumpfrotationskräftigende Übungen

Einfluss auf die Anriss- mit Eindrehbewegung (d. h. *Morote-seoi-nage*) genommen werden könnte.

Abstract

Good trunk stability is an important prerequisite for the mobility of the upper and lower limbs during sport-specific movements. Therefore, trunk muscle strength may represent an important performance determinant for judo-specific movements. This study aimed at evaluating statistical correlations between trunk muscle strength and kinetic parameters during judo-specific pulling movements in judo players.

Twenty-one male sub-elite judo players aged 22 ± 4 years with a mean training volume of 15 ± 4 hours per week participated in this study. Peak isokinetic torque (PIT) of the trunk flexors (PIT_{Flex}), extensors (PIT_{Ex}) and rotators (PIT_{Rot}) was tested using an isokinetic dynamometer (IsoMed 2000). In addition, two kinetic parameters (mechanical work [W], maximal force [F_{max}]) were analysed using the judo-specific measurement and information system JERGo®. For this purpose, athletes were asked to do their judo-specific pulling movements while standing and with a dynamic change of position (i. e., *Moroete seoi-nage*).

Regarding pulling movements while standing, significant correlations ($0.62 \leq r \leq 0.72$) were found between isokinetic tests (PIT_{Flex}, PIT_{Ex}, PIT_{Rot}) and mechanical work during judo-specific movement. Further, significant correlations ($0.59 \leq r \leq 0.65$) were detected between isokinetic tests (PIT_{Ex}, PIT_{Rot}) and judo-specific pulling movements (F_{max}). Regarding pulling movements with a change of position, significant correlations ($0.47 \leq r \leq 0.88$) were observed between isokinetics (PIT_{Flex}, PIT_{Ex}, PIT_{Rot}) and the kinetic pulling parameters (W, F_{max}), irrespective of the examined arm. No significant differences in magnitude of correlation coefficients were found between PIT of the trunk flexors, extensors, and rotators and judo-specific movements. Further, the regression analysis indicated that PIT of the trunk extensors is the single best predictor for mechanical work during pulling movements while standing (46.9 %). Trunk rotator PIT is the single best predictor for mechanical work during pulling movements with change of position (69.4 %).

Findings from this study indicate that trunk muscle strength, particularly trunk rotator PIT is associated with kinetic pulling variables during pulling movements with a change of position. This implies that the development of trunk rotator strength could have an impact on pulling movements with change of position (i. e., *Moroete-seoi-nage*) in judo athletes.

Einleitung

Im Judo benötigen Spitzenathleten aufgrund des sportartspezifischen Anforderungsprofils mit intermittierenden maximal-schnellkräftigen Beanspruchungsphasen u. a. ein gut ausgeprägtes physisches Leistungsniveau, um Wettkampferfolge zu erreichen (Franchini et al., 2014; Ullrich et al., 2015). Ein leistungsbestimmender Faktor ist die erfolgreich durchgeführte Anriss-Bewegung, die im direkten Zusammenhang mit der Effektivität der finalen Wurftechnik steht (Büsche et al., 2012; Imamura et al., 2006; Gutiérrez et al., 2009). Aus kinetischer Sicht ist es aufgrund der Massenträgheit des Gegners entscheidend, dass der Angreifer während der Anriss-Bewegung einen steilen Kraftanstieg und ein hohes Kraftmaximum realisiert (Callister et al., 1991; Drid et al., 2015). In diesem Zusammenhang ist bekannt, dass ein judospezifisches Anriss-Training am Mess- und Informationssystem JERGo[®] gegenüber einem traditionellen Anriss-Training am Partner zu größeren Zuwachsraten in der Explosivkraft, der mechanischen Arbeit und den Schulter- und Rumpfmuskelaktivitäten führt (Helm et al., 2018). Heinisch et al. (2012) gehen davon aus, dass neben der Anriss-Kraft u. a. auch die Rumpfkraft von großer Bedeutung für die Sportart Judo ist, um eine wettkampfscheidende Wertung zu erzielen bzw. Angriffe des Gegners durch Blocken zu verteidigen. In der Literatur wird der Rumpf als ein muskuläres Korsett beschrieben, das ventral durch die Abdominal-Muskulatur, dorsal durch die paraspinale und gluteale Muskulatur, kranial durch das Zwerchfell und kaudal durch den Beckenboden und die Hüftmuskulatur begrenzt ist (Akuthota et al., 2008; Büsch et al., 2016). Die Rumpfstabilität und die Rumpfkraft stellen für die Ausführung der Anriss-Bewegung und des Judowurfes eine zentrale Rolle dar, um den optimalen Transfer von Kräften und Drehmomenten von den unteren Extremitäten über den stabilen Rumpf auf die oberen Extremitäten zu ermöglichen (Kibler et al., 2006; Prieske et al., 2016). In diesem Zusammenhang postulieren Kibler et al. (2006), dass die proximale Stabilität des Rumpfes eine wichtige Voraussetzung für die distale Mobilität der Extremitäten bei sportlichen Bewegungen darstellt.

Allerdings berichten Prieske et al. (2016) in einem systematischen Literaturüberblick mit Meta-Analyse über nur kleine Zusammenhänge (Korrelationen nach Pearson [r]: $-0,05 \leq r \leq 0,18$) zwischen der Rumpfkraft und sportbezogenen Aktivitäten, wie beispielsweise bei Sprüngen. Die Autoren weisen jedoch darauf hin, dass die Rumpfkraft in den meisten der inkludierten Studien statisch und nicht dynamisch gemessen wurde. In Bezug auf die Diagnostik sollte jedoch der sportartspezifische Bewegungsvollzug berücksichtigt werden, der insbesondere im Judo hochdynamischen Aktionen unterliegt (Prieske et al., 2016).

Die Bedeutung des Rumpfes für sportspezifische Leistungen im Judo zeigt sich in einer Studie von Blais et al. (2007), in der Bewegungsanteile der Hauptgelenke und -segmente bei Wurfeingangsbewegungen durch 3-dimensionalen Bewegungsanalysen unter Verwendung eines judospezifischen Ergometers, Kraftsensoren und synchronisierten Infrarotkameras untersucht wurden. Es zeigte sich, dass bei der Gleichgewichtsbrechung durch eine Anriss-Bewegung im Stand (AnS) der Bewegungsvollzug vor allem durch die unteren Extremitäten (Kniegelenk: ~26 %, Hüftgelenk: ~30 %) sowie den Rumpf (~27 %) realisiert wurde und nicht, wie angenommen, durch die oberen Extremitäten (Schulter-, Ellenbogen- und Handgelenk: ~11 %). Weiterhin konnte bei Betrachtung der einzelnen Wurfphasen festgestellt werden, dass der Rumpf während des Wurfansatzes (~30 %) einen höheren Bewegungsanteil im Vergleich zur Gleichgewichtsbrechung (~27 %) aufweist (Blais et al., 2007).

Daher bestand das Ziel der vorliegenden Studie darin, Assoziationen zwischen maximalen isokinetischen Rumpfkraftparametern und kinetischen Parametern bei AnS und bei der Anrissmit Eindrehbewegung (AnE) zu untersuchen. Unter Berücksichtigung der oben genannten Literatur (Heinisch et al., 2012; Kibler et al., 2006; Prieske et al., 2016; Blais et al., 2007) wurde angenommen, dass signifikante Zusammenhänge zwischen Rumpfkraft und judospezifischer Anriss-Bewegung, insbesondere beim AnE, zu beobachten sind.

Methodik

Probanden

An der Studie nahmen 21 männliche leistungsorientierte Judoka des U21- (n = 11) und des Männer-Bundesligakaders (n = 10) vom Olympiastützpunkt Brandenburg teil. Die Merkmale der Studienteilnehmer sind in Tabelle 1 dargestellt. Aus jeder Gewichtsklasse wurden mindestens 2 Sportler rekrutiert. Die teilnehmenden Judoka besaßen laut dem japanischen Graduierungssystem ein Graduierungsniveau des schwarzen Gürtels. Der durchschnittliche Trainingsumfang von $14,6 \pm 3,5$ Stunden pro Woche wurde mithilfe einer durch das IAT Leipzig programmierten Online-Datenbank zur individuellen Entwicklungsdokumentation des Landes Brandenburg ermittelt (Hoffmann et al., 2016) und umfasste judospezifisches und judounspezifisches Training. Die Studie wurde gemäß den ethischen Anforderungen der Deklaration von Helsinki geplant und durchgeführt. Das schriftliche Einverständnis lag bei Studienbeginn von allen Teilnehmern vor.

Tabelle 1: Merkmale der Studienteilnehmer.

Charakteristika	Studienteilnehmer (n = 21)
Anthropometrie	
Alter (Jahre)	21,5 ± 3,7
Körpermasse (kg)	83,3 ± 15,1
Körperhöhe (cm)	177,9 ± 7,5
Rumpfbewegungen	
PIT _{Flex} (Nm)	214,5 ± 69,3
PIT _{Ex} (Nm)	367,0 ± 114,4
Hubarm PIT _{Rot} (Nm)	224,1 ± 63,9
Zugarm PIT _{Rot} (Nm)	228,4 ± 61,0
Anrissbewegung im Stand	
Hubarm F _{max} (N)	312,7 ± 57,6
Hubarm W (Nm)	119,3 ± 37,5
Zugarm F _{max} (N)	419,0 ± 81,1
Zugarm W (Nm)	180,3 ± 55,9
Anriss- mit Eindrehbewegung	
Hubarm F _{max} (N)	224,6 ± 87,6
Hubarm W (Nm)	94,4 ± 56,8
Zugarm F _{max} (N)	375,4 ± 121,5
Zugarm W (Nm)	150,5 ± 71,8

Dargestellt sind Mittelwerte und Standardabweichungen. PIT = maximales isokinetisches Drehmoment, Flex = Rumpfflexion, Ex = Rumpfextension, Rot = Rumpfrotation, F_{max} = dynamisch-realisierte Maximalkraft, W = mechanische Arbeit.

Studienablauf

Unter Anwendung eines Querschnittstudien Designs wurden während der Wettkampfphase im April 2014 Zusammenhänge zwischen isokinetischen Rumpfkraftparametern und kinetischen Parametern bei Anriss-Bewegungen untersucht. Die Untersuchungen wurden nach einem standardisierten Protokoll im trainings- und bewegungswissenschaftlichen Labor der Universität Potsdam durchgeführt (Abb. 1). Zur Vorbereitung auf die Messungen absolvierten die Probanden eine Erwärmungsphase von 5 Minuten Radfahren bei 120 Watt, gefolgt von einer zweiten Erwärmungsphase von 10 AnS und AnE mit Partner. Danach erfolgte eine spezifische Erwärmung am IsoMed 2000 (D&R Ferstl GmbH, Hemau, Deutschland) von 5 submaximalen sowie 3 maximalen Bewegungen bei Rumpfflexion (Abb. 2a), -extension (Abb. 2b), -rotation zur Hubarmseite (Abb. 2c) und -rotation zur Zugarmseite (Abb. 2 d). Nach einer 2-minütigen Pause erfolgten für jede der 4 Bewegungsausführungen 5 Wertungsversuche, wobei die Rumpfflexion und -extension sowie Rumpfrotation zur Hubarmseite und Zugarmseite jeweils kombiniert durchgeführt wurden. Für die Auswertung wurde jeweils das maximale isokinetische Drehmoment herangezogen. Nach einer 5-minütigen Pause folgte eine spezifische Erwärmung von 5 submaximalen sowie 3 maximalen AnS (Abb. 3a) und AnE (Abb. 3b) an einem Judoergometer-System (JERGo[®], FES[®], Berlin, Deutschland). Nach einer 2-minütigen Pause erfolgten zur Erfassung der judospezifischen Leistungskennwerte für jede der beiden Testübungen 5 Wertungsversuche. Die Messungen am IsoMed 2000 und am JERGo[®]-

System sowie die jeweiligen Bewegungsausführungen wurden in randomisierter Reihenfolge durchgeführt.

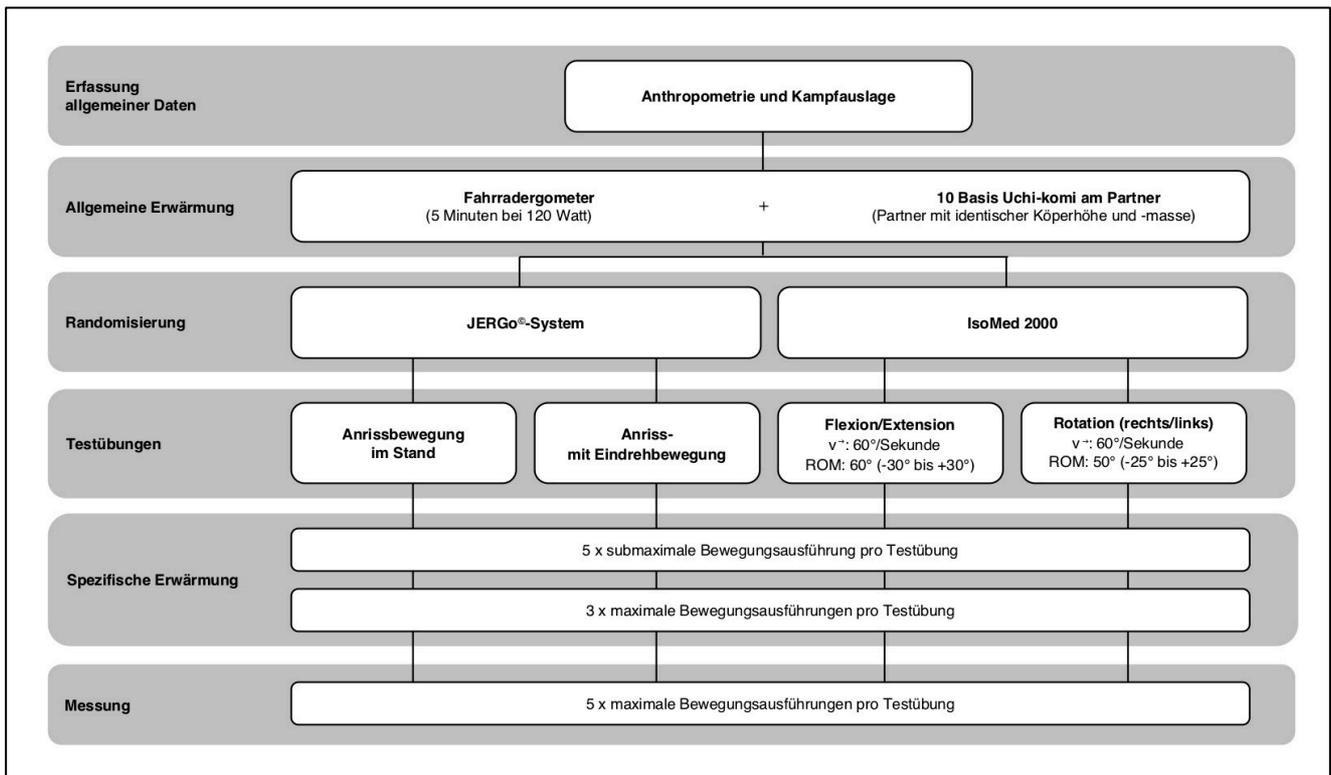


Abbildung 1: Schematische Darstellung des Untersuchungsablaufs. ROM = Bewegungsamplitude (engl. „Range of Motion“; $v \rightarrow$ = Winkelgeschwindigkeit).

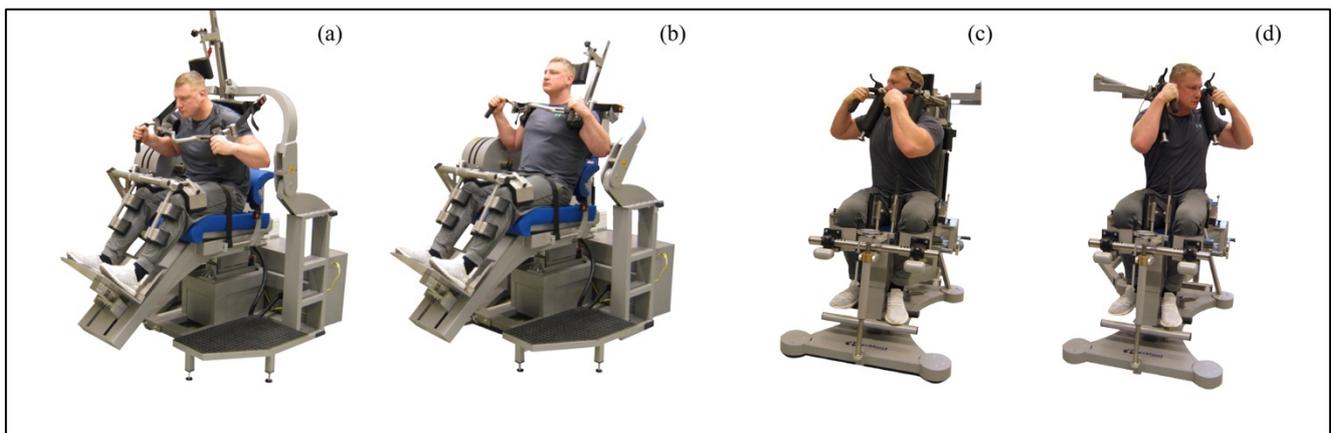


Abbildung 2: Testperson im externen Backmodul des IsoMed 2000 bei Rumpfflexion (a), Rumpfextension (b) und im IsoMed 2000 während der Rumpfrotation zur Hub- (c) und Zugarmseite (d).

Erfassung isokinetischer Drehmomente

Zur Analyse von maximalen isokinetischen Drehmomentparametern diente das isokinetische Mess- und Trainingssystem IsoMed 2000 mit dem externen Backmodul. Die Untersuchung der Test-Retest-Reliabilität des IsoMed 2000 zeigte exzellente Zusammenhänge

(Intraklassen-Korrelationskoeffizient [ICC]: $0,85 \leq ICC \leq 0,96$) bei Ausführung der Rumpfflexion, -extension und -rotation (Roth et al., 2017). Für die Messung der Drehmomentparameter bei Rumpfflexion und -extension wurden die Athleten individuell auf dem externen Backmodul des isokinetischen Geräts mit einem Kniewinkel von 140° positioniert. Die am System befestigten Vorrichtungen und Gurte fixierten Oberkörper, Hüfte, Ober- und Unterschenkel. Die Messung der Drehmomentparameter während der Rumpfrotation zur Hub- und Zugarmseite erfolgte am IsoMed 2000 mit einem Hüft- und Kniewinkel von jeweils 90° . Die Athleten wurden individuell auf einen starren Stuhl des Systems mit einem Hüft- und Kniewinkel von jeweils 90° eingesetzt und an Oberkörper, Hüfte und Unterschenkel befestigt. Der Bewegungsbereich betrug $+30^\circ$ Rumpfflexion bis -30° Rumpfextension und $+25^\circ$ Rumpfrotation zur Zugarmseite und -25° zur Hubarmseite. Die Winkelgeschwindigkeit wurde auf $60^\circ/s$ bei konzentrischer Muskelaktionsform festgelegt. Als abhängige Variable wurde das maximale Drehmoment (engl. *peak isokinetic torque* [PIT]) für die 4 Bewegungsausführungen (d. h. Rumpfflexion [PIT_{Flex}], -extension [PIT_{Ex}], -rotation [PIT_{Rot}] Hub-/Zugarmseite) bestimmt. In die Auswertung gelangte der Bestwert aus 5 Wertungsversuchen. Zudem erfolgte vor der Messung der Rumpfflexion und -extension eine Schwerkraftkompensation, wobei die Athleten die Bewegungsausführung während der Rumpfflexion und -extension passiv und ohne Unterstützung absolvierten. Das System erfasste das Eigengewicht des Probanden gegen die Schwerkraft und subtrahierte diesen Wert von dem absolut erbrachten isokinetischen Drehmoment.

Erfassung kinetischer Parameter bei Anriss-Bewegungen

Zur Erfassung judospezifischer Leistungskennwerte bei Anriss-Bewegungen wurde das JERGo[®]-System eingesetzt. Die Prüfung der Test-Retest-Reliabilität des JERGo[®]-Systems zeigte für die judospezifischen Parameter dynamisch-realisierte Maximalkraft (F_{\max}) und mechanische Arbeit (W) bei Spitzen- und Nachwuchsjudoka während AnS und AnE Zusammenhänge (r) von 0,35 - 0,90 (Mühlbauer et al., 2014). Die Athleten absolvierten jeweils 5 maximale Versuche der standardisierten AnS und AnE (*Morote-seoi-nage*). Die Pause zwischen den Zügen betrug 3 Sekunden. Als abhängige Variablen wurden die judospezifischen Leistungskennwerte F_{\max} und W getrennt nach Hub-/Zugarm sowie Testübung (AnS, AnE) bestimmt. In die Auswertung gelangte der jeweilige Bestwert aus 5 Versuchen. Die Widerstands- und Höheneinstellung des JERGo[®]-Systems erfolgte für jeden Athleten individuell anhand der Gewichtsklasse und Körperhöhe. Bei der Anriss-Bewegung und Wurfausführung nehmen Hub- und Zugarm eine wichtige Rolle ein, um die Wurftechnik erfolgreich ausführen zu

können. Während der Anriss- und Wurfausführung bringt der Hubarm den Gegner in eine labile Gleichgewichtssituation und übernimmt die Kontrolle des Gegners. Der Zugarm ist für die Gleichgewichtsbrechung verantwortlich und bestimmt die Wurfrichtung (Lehmann & Ulbricht, 2007). Je nach Expertise-Niveau kann ein erfolgreicher Judoka mit dem gleichen Griff sowohl rechts als auch links eindrehen, wobei die bevorzugte Eindrehrichtung die Zugarmseite darstellt.



Abbildung 2: Testperson im externen Backmodul des IsoMed 2000 bei Rumpfflexion (a), Rumpfextension (b) und im IsoMed 2000 während der Rumpfrotation zur Hub- (c) und Zugarmseite (d).

Statistische Analyse

Die deskriptive Analyse aller Parameter erfolgte über die Darstellung von Gruppenmittelwerten und Standardabweichungen. Der Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest diente zur Überprüfung der Daten auf Normalverteilung. Die Bestimmung des Zusammenhangs der maximalen isokinetischen Drehmomentparameter am IsoMed 2000 mit den judospezifischen Leistungskennwerten bei Anriss-Bewegungen am JERGo[®]-System wurde mittels Produkt-Moment-Korrelation nach Pearson (r) festgelegt. Laut Vincent und Weir (2012) liegt ein kleiner Zusammenhang bei $r < 0,7$, ein mittlerer Zusammenhang zwischen $0,7 \leq r < 0,9$ und ein großer Zusammenhang bei $r \leq 0,9$ vor. Die Assoziationen zwischen den beiden Testmaßnahmen (IsoMed 2000 vs. JERGo[®]-System) wurden durch r , das Signifikanzniveau (p -Wert) und das Bestimmtheitsmaß (R^2) beschrieben. Darüber hinaus wurde auf Differenzen in den mittleren r -Werten der 3 Rumpfbewegungen (d. h. Flexion, Extension, Rotation zur Hub-/Zugarmseite) geprüft. Hierfür diente folgende Formel: $z = (r_{z1} - r_{z2}) / \sqrt{1/(n_1 - 3) + 1/(n_2 - 3)}$. Zudem konnten lineare Regressionsanalysen berechnet werden, um den Zusammenhang zwischen den leistungsbeeinflussenden Prädiktoren (PIT_{Flex} , PIT_{Ex} , PIT_{Rot}) und den judospezifischen Parametern (F_{max} , W) zu bestimmen. Die Bildung der Gesamtabweichung bestimmte sich durch R^2

und den jeweiligen p -Wert. Weiterhin wurden der Regressionskoeffizient (B), der Standardfehler (SE), die standardisierte Schätzung (β -Koeffizient) und der t -Wert bestimmt. Das Signifikanzniveau wurde auf $p < 0,05$ festgelegt. Die statistische Datenanalyse erfolgte mit dem Programmpaket SPSS der Version 23.0 (SPSS Inc., Chicago, Illinois, USA).

Ergebnisse

In Tabelle 1 wurden die durchschnittlichen, maximal isokinetischen Drehmomente und kinetischen Anriss-Parameter für die jeweiligen Bewegungsausführungen zusammengefasst.

Anrissbewegung im Stand

Die Korrelationsanalyse ergab signifikante Zusammenhänge ($p < 0,05$; $0,62 \leq r \leq 0,72$) zwischen den maximalen isokinetischen Drehmomenten (PIT_{Flex} , PIT_{Ex} , PIT_{Rot} [Hub-/Zugarmseite]) und den Leistungskennwerten bei der AnS (W [Hub-/Zugarm]) (Tab. 2). Zudem offenbarten sich für die isokinetischen Tests (PIT_{Ex} , PIT_{Rot} [Hubarmseite]) und AnS (F_{max} [Hubarmseite]) signifikante Korrelationen ($p < 0,05$; $0,59 \leq r \leq 0,65$). Nicht signifikante Zusammenhänge konnten zwischen PIT_{Flex} und dem judospezifischen Kennwert F_{max} des Hubarms ($p > 0,05$; $r = 0,41$) sowie für die isokinetischen Tests (PIT_{Flex} , PIT_{Ex} , PIT_{Rot} [Zugarmseite]) und den judospezifischen Parameter F_{max} des Zugarms ($p > 0,05$; $0,21 \leq r \leq 0,28$) festgestellt werden. Keine signifikanten Unterschiede ($p > 0,05$) konnten zwischen den mittleren r -Werten für PIT_{Flex} , PIT_{Ex} und PIT_{Rot} und den judospezifischen Leistungskennwerten (F_{max} , W) beobachtet werden.

Die Regressionsanalyse zeigte PIT_{Ex} als besten Prädiktor für die judospezifischen Kennwerte W (46,9 % Varianzaufklärung) und F_{max} (36,7 %) auf der Hubarmseite (Tab. 3). Auf der Zugarmseite resultierte PIT_{Rot} (Hubarmseite) als bester Prädiktor für den judospezifischen Parameter F_{max} (42,5 %).

Anriss- mit Eindrehbewegung

Die Korrelationsanalyse ergab signifikante Zusammenhänge ($p < 0,05$; $0,71 \leq r \leq 0,88$) zwischen den maximalen isokinetischen Drehmomenten (PIT_{Flex} , PIT_{Ex} , PIT_{Rot} [Hub-/Zugarmseite]) und der AnE (W [Hub-/Zugarm]) (Tab. 2). Weiterhin offenbarten sich für die isokinetischen Tests (PIT_{Flex} , PIT_{Ex} , PIT_{Rot} [Hub-/Zugarmseite]) und den judospezifischen Leistungskennwert F_{max} (Hub-/Zugarm) signifikante Korrelationen ($p < 0,05$; $0,47 \leq r \leq 0,74$). Keine

signifikanten Differenzen ($p > 0,05$) konnten zwischen den mittleren r -Werten für PIT_{Flex} , PIT_{Ex} und PIT_{Rot} und den judospezifischen Leistungskennwerten (F_{max} , W) festgestellt werden.

Zudem zeigte sich die Regressionsanalyse PIT_{Rot} (Hubarmseite) als bester Prädiktor für den judospezifischen Kennwert W (69,4 %) auf der Hubarmseite (Tab. 3). Auf der Zugarmseite resultierten PIT_{Flex} für W (54,7 %) und PIT_{Rot} (Zugarmseite) für den judospezifischen Parameter F_{max} (38,4 %) als beste Prädiktoren.

Tabelle 2: Korrelation zwischen den maximalen isokinetischen Drehmomentparametern während der Rumpfflexion,-extension und -rotation und den kinetischen Anriss-Parametern während der Anriss-Bewegung im Stand und Anriss- mit Eindrehbewegung.

	PIT_{Flex} (Nm)	PIT_{Ex} (Nm)	Rumpfbewegungen		z (p -Wert)
			z (p -Wert)	PIT_{Rot} (Nm) Hubarm Zugarm	
Anriss-Bewegung im Stand					
Hubarm F_{max} (N)	0,41	0,65 ¹	-1,02 (0,308)	0,59 ¹	
Hubarm W (Nm)	0,62 ¹	0,72 ¹	-0,55 (0,582)	0,68 ¹	
Zugarm F_{max} (N)	0,21	0,28	-0,22 (0,826)		0,26 1,23 (0,219)
Zugarm W (Nm)	0,64 ¹	0,72 ¹	-0,45 (0,653)		0,72 ¹ -0,24 (0,819)
Anriss- mit Eindrehbewegung					
Hubarm F_{max} (N)	0,53 ²	0,72 ¹	-0,95 (0,342)	0,62 ²	
Hubarm W (Nm)	0,79 ¹	0,86 ¹	-0,67 (0,503)	0,73 ¹	
Zugarm F_{max} (N)	0,47 ²	0,56 ²	-0,37 (0,711)		0,72 ¹ -0,55 (0,582)
Zugarm W (Nm)	0,74 ¹	0,71 ¹	0,19 (0,849)		0,88 ¹ -0,34 (0,180)

Dargestellt ist der Korrelationskoeffizient nach Pearson (r), z (p -Wert) = Unterschied zwischen den mittleren r -Werten, PIT = maximales isokinetisches Drehmoment, $_{Flex}$ = Rumpfflexion, $_{Ex}$ = Rumpfextension, $_{Rot}$ = Rumpfro- tation, F_{max} = dynamisch-realisierte Maximalkraft, W = mechanische Arbeit, PIT der Rumpfro- tation wurde aus Plausibilitätsgründen lediglich mit dem gleichseitigen Anriss-Parameter korreliert, Unterschiede zwischen den mittleren r -Werten wurden zwischen PIT_{Flex} und PIT_{Ex} sowie zwischen PIT_{Rot} Hubarm und PIT_{Rot} Zugarm gerech- net, ¹ $p < 0,01$, ² $p < 0,05$.

Tabelle 3: Ergebnisse der linearen Regressionsanalyse zur Beziehung der maximalen isokinetischen Drehmo- mentparameter während der Rumpfflexion, -extension und -rotation sowie der kinetischen Anriss-Parameter während der Anriss-Bewegung im Stand und Anriss- mit Eindrehbewegung.

	Prädiktor	B	SE	Standardschätzer	t -Wert	p -Wert	R^2
Anriss-Bewegung im Stand							
Hubarm F_{max} (N)	PIT_{EX}	0,030	0,009	0,606	3,319	0,004	0,367
Hubarm W (Nm)	PIT_{EX}	0,022	0,005	0,684	4,092	0,001	0,469
Zugarm F_{max} (N)	PIT_{Rot} Zugarm	0,067	0,026	0,500	2,517	0,021	0,250
Zugarm W (Nm)	PIT_{Rot} Hubarm	0,057	0,015	0,652	3,744	0,001	0,425
Anriss- mit Eindrehbewegung							
Hubarm F_{max} (N)	PIT_{Rot} Zugarm	0,115	0,030	0,715	3,825	0,002	0,511
Hubarm W (Nm)	PIT_{Rot} Hubarm	0,077	0,014	0,833	5,641	0,001	0,694
Zugarm F_{max} (N)	PIT_{Rot} Zugarm	0,138	0,047	0,619	2,951	0,011	0,384
Zugarm W (Nm)	PIT_{Flex}	0,099	0,024	0,739	4,111	0,001	0,547

B = Regressionskoeffizient, SE = Standardfehler, R^2 = Bestimmtheitsmaß, PIT = maximales isokinetisches Dreh- moment, $_{Flex}$ = Rumpfflexion, $_{Ex}$ = Rumpfextension, $_{Rot}$ = Rumpfro- tation, F_{max} = dynamisch-realisierte Maximal- kraft, W = mechanische Arbeit.

Diskussion

Das Ziel der vorliegenden Studie bestand darin, Assoziationen zwischen maximalen isokinetischen Drehmomenten der Rumpfflexoren, -extensoren, -rotatoren und den judospezifischen Leistungskennwerten (F_{\max} , W) bei AnS und AnE zu untersuchen. Die wesentlichen Ergebnisse lassen sich folgendermaßen zusammenfassen: 1.) Für die AnS ergaben sich mehrheitlich signifikante Korrelationen zwischen den Drehmoment- und den Anriss-Parametern. 2.) Für AnE zeigten sich ausschließlich signifikante Zusammenhänge zwischen den Drehmoment- und den Anriss-Parametern. 3.) Unabhängig von der Anriss-Bewegung ergaben sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den Korrelationen. 4.) Die Regressionsanalyse offenbarte PIT_{Ex} für AnS sowie PIT_{Rot} für AnE als beste Prädiktoren.

Anriss-Bewegung im Stand

Es zeigten sich mehrheitlich signifikante Assoziationen ($p < 0,05$; $0,59 \leq r \leq 0,72$) zwischen den maximalen isokinetischen Drehmomenten und den judospezifischen Leistungskennwerten bei AnS. Die Ergebnisse bestätigen die aufgestellte Hypothese und stimmen teilweise mit der aktuellen Literaturlage Überein, die Zusammenhänge zwischen der Rumpfkraft und sportbezogenen Leistungen untersuchte (Prieske et al., 2016). Beispielsweise konnten Nesser et al. (2008) signifikante Korrelationen ($p < 0,05$; $0,37 \leq r \leq 0,45$) zwischen den Leistungen in einem submaximalen isometrischen Rumpfkrafttest und dem Einer-Wiederholungs-Maximum (1RM) im Bankdrücken bei männlichen College-Footballern beobachten. Im Gegensatz dazu konnten Hoppe et al. (2015) nicht signifikante Korrelationen ($p > 0,05$; Bestwert: $r = 0,60$) zwischen submaximalen dynamischen Rumpfkraftausdauer tests und dem Bankdrücken (1RM) bei männlichen Spitzenathleten im Rollhockey feststellen. Auch Sharrock et al. (2011) berichten über signifikante Beziehungen ($p < 0,05$; $-0,39 \leq r \leq -0,53$) zwischen der Leistung im submaximalen dynamischen Rumpfmuskelausdauer test und dem Medizinballwurf bei Nachwuchsathleten. Im Gegensatz zu unserer Studie wurden in den 3 zuvor genannten Studien (Nesser et al., 2008; Hoppe et al., 2015; Sharrock et al., 2011) Rumpfkraftausdauer tests durchgeführt, die lediglich submaximale Muskelaktionen umfassen und sich daher von den Bewegungsmustern und Charakteristika von maximal-schnellkräftigen Kraftproduktionen bei sportbezogenen Bewegungsausführungen unterscheiden. Auch bei der Durchführung von maximalen isokinetischen Rumpfkrafttests zeigte sich, dass die Rumpfmuskelkraft bezogen auf die sportliche Leistung nur in einem begrenzten Maße eine Rolle spielt. So fanden Clayton et al. (2011) signifikante Assoziationen ($p < 0,05$; $0,57 \leq r \leq 0,68$) zwischen maximalen

isokinetischen Drehmomentparametern und dem Überkopf-Medizinballwurf bei männlichen College-Baseballspielern. In diesem Zusammenhang gehen Prieske et al. (2016) davon aus, dass die sportliche Leistung eher durch eine zeitlich gut abgestimmte Aktivierung der synergistischen und antagonistischen Muskelgruppen beeinflusst wird und nicht, wie angenommen, durch eine maximale Rumpfkraftaktivierung während der Bewegungsaufgabe. Dennoch zeigt die vorliegende Studie, dass die maximal-schnellkräftige Rumpfmuskelkraft für sportbezogene Leistung im Judo eine gewisse Bedeutung darstellt. So konnten zwischen den Variablen der maximalen isokinetischen Drehmomente und den judospezifischen Anriss-Leistungen mehrheitlich signifikante Assoziationen ($p < 0,05$; $0,59 \leq r \leq 0,72$) bei AnS beobachtet werden.

In Bezug auf die Regressionsanalyse zeigten sich die höchstmöglichen Schätzungen zwischen PIT_{Ex} und den judospezifischen Parametern W (46,9 %) und F_{max} (36,7 %) auf der Hubarmseite. Es kann daher angenommen werden, dass bei AnS die judospezifischen Leistungskennwerte des Hubarms insbesondere im Zusammenhang mit PIT der Rumpffextensoren stehen. Diese Assoziation scheint plausibel, weil der Bewegungsvollzug bei der AnS mit einer Auftaktbewegung beginnt, indem der Ausführende die unteren Extremitäten leicht beugt und wieder streckt (Lehmann & Müller-Deck, 1986). Somit werden die Kräfte und Drehmomente von den unteren Extremitäten vor allem über die Rumpffextensoren zu den oberen Extremitäten, wie z. B. den Hubarm, übertragen.

Anriss- mit Eindrehbewegung

Zusätzlich untersuchte die vorliegende Studie Zusammenhänge zwischen den maximalen isokinetischen Drehmomenten und den judospezifischen Parametern bei AnE. Es konnten ausschließlich signifikante Korrelationskoeffizienten ($p < 0,05$; $0,47 \leq r \leq 0,88$) beobachtet werden. Die Ergebnisse sind im Einklang mit der eingangs formulierten Hypothese, aber widersprechen der generellen Literaturlage (Prieske et al., 2016; Nesser et al., 2008; Hoppe et al., 2015; Sharrock et al., 2011; Clayton et al., 2011). Die Befunde von Blais et al. (2007) unterstützten die Annahme, dass bei AnE vor allem die unteren Extremitäten und der Rumpf die höchsten Gelenkmomente und -kräfte realisieren. Ein Grund für die Diskrepanz zwischen den Befunden von Prieske et al. (2016), den Ergebnissen während AnE und den Teilen der Ergebnisse bei AnS, kann in der methodischen Vorgehensweise liegen. Während in der vorliegenden Studie zur Bewertung der sportbezogenen Leistung typische judospezifische Aktionen (AnS, AnE) untersucht worden sind, wurden in den von Prieske et al. (2016) analysierten Studien u. a. sportartunspezifische Krafttests der oberen Extremitäten durchgeführt (z. B. Bankdrücken,

Medizinballwurf). Die Ausführung der Anriss-Bewegung wird durch kinetische Ketten realisiert, die eine koordinierte Aktivierung von Körpersegmenten erfordern, um eine möglichst hohe Geschwindigkeit zum optimalen Zeitpunkt zu erzielen (Kibler et al., 2006). Zudem ist bekannt, dass Anriss-Bewegungen zur Gleichgewichtsbrechung des Gegners in jedem judospezifischen Training und Wettkampf durchgeführt werden (Franchini et al., 2014; Franchini et al., 2013). Dabei kommt es aufgrund der judospezifischen Wettkampfstruktur zu maximal-schnellkräftigen Beanspruchungsphasen der an der Anriss-Bewegung beteiligten Muskelgruppen (Franchini et al., 2014; Ullrich et al., 2015). Besonders bei nicht optimalen Bedingungen, wie beispielsweise beim Blocken des Gegners im Wurfansatz, ist u. a. die maximal-schnellkräftige Aktivierung der Bein- und Rumpfmuskulatur von großer Bedeutung, um eine wettkampfscheidende Wertung zu erzielen (Heinisch et al., 2012). Es kann daher vermutet werden, dass Judoka aufgrund der sportartspezifischen Charakteristik und der Funktion des Rumpfes höhere Kennwerte in der Rumpfmuskelkraft erreichen als Athleten aus anderen Sportarten, wo der Rumpf eine untergeordnete Rolle einnimmt. In diesem Zusammenhang fanden Kort und Hendriks (1992) signifikant höhere maximale isokinetische Drehmomentkennwerte während der Rumpfextension, -flexion und -rotation bei männlichen Spitzenjudoka im Vergleich zu Spitzenrennfahrern.

Die Regressionsanalyse zeigte die höchstmöglichen Schätzungen zwischen PIT_{Rot} (Hubarmseite) und dem judospezifischen Leistungskennwert W (69,4 %) auf der Hubarmseite. Mit anderen Worten, die judospezifischen Parameter des Hubarms stehen bei der AnE im Gegensatz zur AnS vor allem im Zusammenhang mit PIT der Rumpffrotatoren. Somit kann davon ausgegangen werden, dass sich die Bedeutung der eingesetzten Rumpfmuskulatur bei AnS gegenüber AnE unterscheidet. Im Vergleich zur AnS folgt bei der AnE nach der Rumpfextension ein Platzwechsel um ca. 180° sowie eine Rumpfflexion und vor allem in der Endphase eine Rumpfrotation (Lehmann & Müller-Deck, 1986). Somit werden die Kräfte und Drehmomente von den unteren Extremitäten über die Rumpfextensoren und vor allem über die -rotatoren auf die oberen Extremitäten und hierbei auf den Hubarm übertragen.

Die vorliegenden Ergebnisse deuten darauf hin, dass ein Rumpfkrafttraining zur Verbesserung kinetischer Anriss-Parameter während AnE führen könnte. Beispielsweise untersuchten Weston et al. (2015) die Effekte nach einem 12-wöchigen schwimmspezifischen submaximalen Rumpfkrafttraining auf die 50-m-Kraulzeit bei männlichen und weiblichen Juniorenschwimmern (Alter $15,7 \pm 1,2$ Jahre). Im Vergleich zur Kontrollgruppe zeigte die Interventionsgruppe

große positive Effekte ($-2,0\%$; 90% CI: $-3,8$ bis $0,2\%$) nach dem Rumpfkrafttraining, das zusätzlich zum bestehenden Wassertraining durchgeführt wurde. Weiterhin konnte bei der Interventionsgruppe eine optimierte Schulterextension in der Sagittalebene beobachtet werden, die einen ökonomischeren Bewegungsvollzug beim Schwimmen ermöglichen könnte. Im Gegensatz dazu berichteten jedoch Prieske et al. (2016) in einem systematischen Literaturüberblick mit Meta-Analyse von kleinen bis mittleren Effekten (standardisierte Mittelwertdifferenz $0 - 0,71$) nach einem Rumpfkrafttraining auf sportliche Aktivitäten (z. B. Sprünge) bei Athleten. Die Autoren (Prieske et al., 2016) begründeten die lediglich kleinen bis mittleren Trainingseffekte mit dem Prinzip des spezifischen Trainingsreizes. Mit anderen Worten, das Training muss den Anforderungen der jeweiligen sportartspezifischen Aktivität entsprechen, um höhere Wirkungen zu erzielen (Behm & Sale, 1993). In dieser Hinsicht umfassen sportliche Aktivitäten vorwiegend maximal-schnellkräftige Muskelaktivitäten. Die Rumpfkraftübungen der eingeschlossenen Athleten in der Meta-Analyse wurden jedoch ausschließlich unter submaximalen isometrischen Bedingungen und in horizontaler Position (z. B. Unterarmstütz) durchgeführt. Unter Berücksichtigung der Literatur (Prieske et al. 2016; Behm & Sale, 1993) und der vorliegenden Ergebnisse könnten Rumpfextensions- (z. B. Kreuzheben) und vor allem Rumpfrotationsübungen (z. B. maschinenbasierte Rumpfrotationsübung im Sitzen) unter dynamisch maximal-schnellkräftigender Muskelaktivierung zur Verbesserung kinetischer Anrissparameter insbesondere bei AnE führen.

Neben der Optimierung kinetischer Leistungsparameter bei Anriss-Bewegungen durch eine gut ausgebildete Rumpfmuskulatur könnten auch präventive Effekte für Verletzungen des Stütz- und Bewegungsapparates angenommen werden. In diesem Zusammenhang zeigte sich z. B. in einem systematischen Literaturüberblick mit Meta-Analyse von Cronström et al. (2016), dass u. a. eine ungenügende Rumpfkraft zu einem erhöhten Knieabduktionswinkel bei sportlichen Bewegungen führt. Dieser wurde wiederum als Risikofaktor für Verletzungen des vorderen Kreuzbandes und des Patellarspitzen-Syndroms identifiziert (Herrington, 2014; Yamazaki et al., 2010). Tatsächlich deuten die Studienergebnisse von Raschner et al. (2012) darauf hin, dass eine unzureichende Rumpfkraft einen entscheidenden Risikofaktor für Verletzungen des vorderen Kreuzbandes vor allem bei jugendlichen Skirennfahrern darstellt. Besonders in den Kontaktsportarten wie beispielsweise Judo kann ein präventives Rumpfkrafttraining aufgrund der direkten Krafteinflüsse des Gegners einen wichtigen Stellenwert zur Verletzungsprävention einnehmen. In einem systematischen Literaturüberblick berichten

Pocecco et al. (2013), dass das Ausüben von Judo zu chronischen Verletzungen, insbesondere am unteren Rücken führen kann. In diesem Zusammenhang zeigten Untersuchungen von Okada et al. (2007), dass bei japanischen Spitzenjudoka nicht spezifische lumbale Rückenschmerzen (nsLRS) und lumbale radiologische Anomalien (LRA) von 35,4 % bzw. 81,7 % auftreten. Weiterhin konnten niedrigere LRA bei Leichtgewichtlern gegenüber Mittel- und Schwergewichtlern beobachtet werden. Darüber hinaus offenbarten sich höhere Ko-Prävalenzen von LRA und nsLRS in den mittleren Gewichtsklassen.

Zusammenfassend lässt sich vermuten, dass ein Rumpfkrafttraining der Rumpfextensoren und vor allem der Rumpfratoren unter maximal-schnellkräftiger Muskelaktivierung zur Verbesserung kinetischer Anriss-Parameter insbesondere bei AnE und zur Verletzungsprävention z. B. der unteren Extremitäten beitragen könnte. Weitere Forschungsarbeiten sind jedoch notwendig, um diese Nachweise zu erbringen.

Limitationen der Studie

Das gewählte Studiendesign schränkt die Aussagekraft der vorliegenden Ergebnisse ein, weil Querschnitt- im Vergleich zu Längsschnittuntersuchungen keine Ursache-Wirkungsbeziehungen zulassen. Somit kann nur vermutet werden, dass eine Verbesserung der Rumpfkraft zu höheren Leistungskennwerten bei Anriss-Bewegungen führen könnte. Eine weitere Limitation der Studie stellt die Beschränkung der Datenerhebung auf Leistungskennwerte dar. Die Einbeziehung von präventiven Wirkungen auf Verletzungsparameter, wie beispielsweise der Knieabduktionswinkel, hätte die wissenschaftliche Qualität der Studie erhöhen können. In zukünftigen Studien sollten daher die Effekte eines Rumpfkrafttrainings auf judospezifische Kennwerte bei Anriss-Bewegungen und ausgewählte Verletzungsparameter untersucht werden.

Schlussfolgerung

Die Ergebnisse der vorliegenden Studie zeigen, dass die Rumpfkraft insbesondere bei der Rumpfrationsbewegung mit Variablen der judospezifischen Leistungskennwerte während AnE assoziiert ist. Aus diesem Grund kann davon ausgegangen werden, dass vor allem durch rumpfrationskräftigende Übungen unter maximal-schnellkräftiger Muskelaktivierung Einfluss auf judospezifische Kennwerte bei AnE genommen werden könnte. In nachfolgenden Untersuchungen sollten daher die Effekte eines derartigen Trainings auf judospezifische Kennwerte bei Anriss-Bewegungen überprüft werden.

Danksagung

Für die Unterstützung bei der Rekrutierung der Probanden danken die Autoren Yvonne Bö-nisch (ehem. Landesstützpunkt-Trainerin), Axel Kirchner (Lehrertrainer), Mario Schendel (Lehrertrainer), Matthias Retzlaff (Bachelor-Student) und Lothar Heine (ehem. leitender Trainingswissenschaftler am Olympiastützpunkt Brandenburg). Weiterhin möchten wir uns an dieser Stelle ganz besonders bei Robert Zimmermann bedanken (u. a. 7-maliger Deutscher Meister, Gewinner des IJF Grand Slam in Moskau 2013), der sich als Proband und für die Erstellung der Abbildungen bereit erklärt hat. Zudem sei zu erwähnen, dass diese Studie im Rahmen der Projektförderung durch das Bundesinstitut für Sportwissenschaft mit durchgeführt wurde (AZ 071613/14): Effekte eines ergänzenden Messplatztrainings am JERGo[®]-System auf judospezifische Leistungen.

Literaturverzeichnis

- Akuthota, V., Ferreiro, A., Moore, T. & Fredericson, M. (2008). Core stability exercise principles. *Current Sports Medicine Reports* 7 (1), 39–44.
- Behm, D. G. & Sale, D. G. (1993). Velocity specificity of resistance training. *Sports Medicine* 15 (6), 374–388.
- Blais, L., Trilles, F. & Lacouture, P. (2007). Three-dimensional joint dynamics and energy expenditure during the execution of a judo throwing technique (Morote Seoi Nage). *Journal of Sports Sciences* 25 (11), 1211–1220.
- Büsch, D., Heinisch, H. D., Bussweiler, J., Gawin, W. & Oswald, R. (2012). Einführung in das Themenheft zur Wettkampfanalyse in den Zweikampf- und Spilsportarten. *Zeitschrift für Angewandte Trainingswissenschaft* 19 (1), 9–12.
- Büsch, D., Meyer, G., Weigel, C., Kurrat, H. Braun, J. & Granacher, U. (2016). Bedeutung, Diagnostik und Training der lokalen Rumpfkraftausdauer im Handball. *Leistungssport* 46 (2), 30–35.
- Callister, R., Callister, R. J., Staron, R. S., Fleck, S. J., Tesch, P. & Dudley, G. A. (1991). Physiological characteristics of elite judo athletes. *International Journal of Sports Medicine* 12 (2): 196–203.
- Clayton, M. A., Trudo, C.E., Laubach, L. L., Lindermann, J. K., De Marco, G. M. & Barr, S. (2011). Relationships between isokinetic core strength and athletic performance tests in male collegiate Baseball players. *Journal of Exercise Physiology* 14 (5): 20–30.
- Cronström, A., Creaby, M. W., Nae, J. & Ageberg, E. (2016). Modifiable factors associated with knee abduction during weight-bearing activities: A systematic review and meta-analysis. *Sports Medicine* 46 (11): 1647–1662.
- Drid, P., Casals, C., Mekic, A., Radjo, I. Stojanovic, M. & Ostojic, S. M. (2015). Fitness and anthropometric profiles of international vs. national judo medalists in half-heavyweight category. *The Journal of Strength and Conditioning Research* 29 (8): 2115–2121.
- Franchini, E., Artioli, G. G. & Brito, C. J. (2013). Judo combat: time-motion analysis and physiology. *International Journal of Performance and Analysis in Sport* 13, 624–641.
- Franchini, E., Brito, C. J., Fukuda, D. H., Artioli, G. G. (2014). The physiology of judo specific training modalities. *Biology of Sport* 28 (5), 1474–1481.

- Gutiérrez, A., Prieto, I. & Cancela, J. M. (2009). Most frequent errors in judo uki goshi technique and the existing relations among them analysed through t-patterns. *Journal of Sports Science and Medicine* 8 (3), 36–46.
- Heinisch, H. D., Oswald, R., Ultsch, D., Bazynski, N., Birod, M. & Büsch, D. (2012). Analyse der Olympischen Spiele 2012 im Judo. *Zeitschrift für Angewandte Trainingswissenschaft* 19 (2), 121–150.
- Helm, N., Prieske, O., Muehlbauer, T., Krüger, T. & Granacher, U. (2018). Effekte eines judospezifischen Messplatztrainings auf kinetische und elektromyografische Parameter des Anreißen bei Wurfeingangsbewegungen von Judoka. *Sportverletzung Sportschaden* 32 (2), 134–142.
- Herrington, L. (2014). Knee valgus angle during single leg squat and landing in patellofemoral pain patients and controls. *Knee* 21 (2), 514–517.
- Hoffmann, A., Kaminsky, T., Neumann, T. & Adermann, C. (2016). Individuelle Entwicklungsdokumentation. Praktischer Nutzen und Einsatzmöglichkeiten. *Leistungssport* 46 (6), 29–32.
- Hoppe, M. W., Freiwald, J., Baumgart, C., Born, D. P., Reed, J. L. & Sperlich, B. (2015). Relationship between core strength and key variables of performance in elite rink hockey players. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness* 55 (3), 150–157.
- Imamura, R. T., Hreljac, A., Escamilla, R. F. & Edwards B. (2006). A three-dimensional analysis of the center of mass for three different judo throwing techniques. *Journal of Sports Science and Medicine* 5 (CSSI), 122–131.
- Kibler, W. B., Press, J. & Sciascia, A. (2006). The role of core stability in athletic function. *Sports Medicine* 36 (3), 189–198.
- Kort, H. D. & Hendriks, E. R. (1992). A comparison of selected isokinetic trunk strength parameters of elite male judo competitors and cyclists. *The Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy* 16 (2), 92–96.
- Lehmann, G. & Müller-Deck, H. (1986). *Judo. Ein Lehrbuch für Trainer, Übungsleiter und Aktive*. Berlin: Sportverlag Berlin.
- Lehmann, G. & Ulbricht, H. J. (2007). *Judo. Klassische und moderne Wurftechniken*. Aachen: Meyer & Meyer.
- Mühlbauer, T., Krüger, T., Schendel, M., Wollburg, D., Heinisch, H. D., Ultsch, D., Büsch, D. & Granacher, U. (2014). Anwendung eines judospezifischen Mess- und Informationssystems (JERGo©-System) für Diagnostik und Training. *Leistungssport* 44 (6), 21–26.
- Nesser, T. W., Huxel, K. C., Tincher, J. L., Okada, T. (2008). The relationship between core stability and performance in division I football players. *The Journal of Strength and Conditioning Research* 22 (6), 1750–1754.
- Okada, T., Nakazato, K., Iwa, K., Tanabe, M., Irie, K. & Nakajima, H. (2007). et al. Bodymass, nonspecific low back pain, and anatomical changes in the lumbar spine in judo athletes. *The Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy* 37 (11), 688–639.
- Poecco, E., Ruedl, G., Stankovic, N., Sterkowicz, S., Del Vecchio, B. F., Gutiérrez-García, C., Rousseau, R., Wolf, M., Kopp, M., Miarka, B., Menz, V., Krüsmann, P., Calmet, M., Malliaropoulos, N. & Burtcher, M. (2013). Injuries in judo: a systematic literature review including suggestions for prevention. *British Journal of Sports Medicine* 47 (18), 1139–1143.
- Prieske, O., Muehlbauer, T. & Granacher, U. (2016). The role of trunk strength for physical fitness and athletic performance in trained individuals: A systematic review and meta-analysis. *Sports Medicine* 46 (3), 401–419.
- Raschner, C., Platzer, H.P., Patterson, C., Werner, I. Huber, R. & Hildebrandt, C. (2012). The relationship between ACL injuries and physical fitness in young competitive ski racers: a 10-year longitudinal study. *British Journal of Sports Medicine* 46 (15), 1065–1071.

- Roth, R., Donath, L., Kurz, E., Zahner, L. & Faude, O. (2017). Absolute and relative reliability of isokinetic and isometric trunk strength testing using the IsoMed-2000 dynamometer. *Physical Therapy in Sport* 24, 26–31.
- Sharrock, C., Cropper, J., Mostad, J., Johnson, M. & Malone, T. (2011). A pilot study of core stability and athletic performance: is there a relationship? *International Journal of Sports Physical Therapy* 6 (2), 63–74.
- Ullrich, P., Pelzer, T., Oliveira, S. & Pfeiffer, M. (2015). Anpassungseffekte linearen und täglich nicht-linearen Krafttrainings während zwei Kurzzeit-Mesozyklen. Eine Untersuchung mit Elite-Nachwuchsjudoka. Teil 3 der Beitragsreihe. Krafttrainings-Periodisierungsmodelle auf dem Prüfstand. *Leistungssport* 45 (6), 36–42.
- Vincent, W.J. & Weir, J.P. (2012). *Statistics in kinesiology*, 4th edition. Champaign, Human Kinetics.
- Weston, M., Hibbs, A. E., Thompson, K. G. & Spers, I. R. (2015). Isolated core training improves sprint performance in national-level juniors swimmers. *International Journal of Sports Physiology and Performance* 10 (2), 204–210.
- Yamazaki, J., Muneta, T., Ju, Y. J., Sekiya, I. (2010). Differences in kinematics of single leg squatting between anterior cruciate ligament-injured patients and healthy controls. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy* 18 (1), 56–63.

Publikation IV

EFFEKTE EINES JUDOSPEZIFISCHEN MESSPLATZTRAINING AUF KINETISCHE UND ELEKTROMYOGRAFISCHE PARAMETER DES ANREISSENS BEI WURFEINGANGSBEWEGUNGEN VON JUDOKA

Norman Helm^{1,2}, Olaf Prieske², Thomas Muehlbauer^{2,3}, Tom Krüger² & Urs Granacher²

¹ Olympiastützpunkt Brandenburg, Potsdam,

² Universität Potsdam, Forschungsschwerpunkt Kognitionswissenschaften, Professur für Trainings- und Bewegungswissenschaft

³ Universität Duisburg-Essen, Professur für Bewegungs- und Trainingswissenschaft/
Biomechanik des Sports

Helm, N., Prieske, O., Muehlbauer, T., Krüger, T. & Granacher, U. (2018). Effekte eines Messplatztrainings am JERGo[®]-System auf kinetische und elektromyographische Parameter des Anreißens bei Wurfeingangsbewegungen von Judoka. *Sportverletzung Sportschaden* 32 (2), 134-142.

Zusammenfassung

Schnellkräftige Wurfeingangsbewegungen stellen im Judo entscheidende Voraussetzungen für den Wettkampferfolg dar, weshalb das Training der Anrissbewegung ein zentrales Element des judospezifischen Trainings darstellt. Das Ziel der Studie bestand darin, die Effekte eines Anrisstrainings mit einem Judoergometer-System (ATJ) gegenüber einem tradierten Anrisstraining mit Partner (ATP) auf kinetische und elektromyografische Parameter des Anreißens bei Wurfeingangsbewegungen von Judoka zu untersuchen.

Männliche leistungsorientierte Judoka ($N = 24$, Alter: 22 ± 4 Jahre; Trainingserfahrung: 15 ± 3 Jahre) wurden randomisiert in zwei Gruppen aufgeteilt. Im Crossover-Design absolvierte die erste Gruppe über vier Wochen ein ATJ gefolgt von vier Wochen ATP (je 3x/Woche). Die zweite Gruppe führte beide Trainingsvarianten in umgekehrter Reihenfolge durch. ATJ und ATP wurden zusätzlich zum bestehenden Training absolviert. Vor dem Training sowie nach vier und nach acht Wochen Training wurden Tests zur Erfassung kinetischer Parameter (dynamisch-realisierte Maximalkraft, Explosivkraft, mechanische Arbeit) und elektromyografischer (EMG) Schulter-/Rumpfmuskelaktivitäten (M. biceps brachii, M. deltoideus, M. trapezius, M. erector spinae) für die Hub- und Zugarmseite bei Wurfeingangsbewegungen am Judoergometer sowie sportartunspezifische Krafttests (d. h. Liegend-Anreißen, Klimmziehen) durchgeführt.

Die Ergebnisse der statistischen Analyse ergaben über den gesamten Interventionszeitraum (8 Wochen) für beide Trainingsgruppen signifikante Verbesserungen der kinetischen Parameter ($p < 0,05$; $0,83 \leq d \leq 1,77$) und EMG-Aktivitäten ($p < 0,05$; $1,07 \leq d \leq 2,25$). Darüber hinaus zeigten sich größere Zuwachsraten in der Explosivkraft, der mechanischen Arbeit und den Schulter-/Rumpfmuskelaktivitäten (M. deltoideus, M. erector spinae, M. trapezius) zugunsten von ATJ im Vergleich zu ATP ($p < 0,05$; $1,25 \leq d \leq 2,79$). Für die sportartunspezifischen Kraftwerte wurden keine signifikanten Veränderungen festgestellt.

Die vorliegenden Ergebnisse zeigen, dass ATJ gegenüber ATP größere Steigerungsraten von kinetischen und elektromyografischen Parametern des Anreißens bei Wurfeingangsbewegungen von Judoka bewirkt. Die trainingsbedingten Leistungssteigerungen scheinen zumindest teilweise auf neuronalen Anpassungen zu beruhen.

Abstract

In judo, rapid force production during pulling movements is an important component of athletic performance, which is why this capacity needs to be specifically exercised in judo. This study aimed at examining the effects of a judo-specific resistance training program using a judo ergometer system (PTJ) versus a traditional resistance training regime using a partner (PTP) on kinetics and muscle activity of judo-specific pulling exercises.

Twenty-four male judo athletes (age: 22 ± 4 years, training experience: 15 ± 3 years) were randomly assigned to two groups. In a crossover design, the first group completed a 4-week PTJ followed by four weeks of PTP (each with three sessions per week). The second group conducted PTP prior to PTJ. PTJ and PTP were completed in addition to regular training. Before, 4 weeks and 8 weeks after training, tests were conducted to assess judo-specific pulling kinetics (i. e., maximal force, rate of force development [RFD], mechanical work) and electromyographic (EMG) shoulder/trunk muscle activity (i. e., biceps brachii muscle, deltoid muscle, trapezius muscle, erector spinae muscle) during pulling movements using a judo ergometer as well as unspecific strength tests (i. e., bench-pull, pull-ups).

The statistical analysis revealed that in both groups ergometer pulling kinetics ($p < 0.05$, $0.83 \leq d \leq 1.77$) and EMG activity ($p < 0.05$; $1.07 \leq d \leq 2.25$) were significantly enhanced following 8 weeks of training. In addition, significantly larger gains in RFD, mechanical work, and EMG activity (i. e., deltoid muscle, erector spinae muscle, trapezius muscle) were found following PTJ compared to PTP ($p < 0.05$, $1.25 \leq d \leq 2.79$). No significant enhancements were observed with the unspecific strength tests.

Our findings indicate that PTJ is superior to PTP regarding training-induced improvements in force production and muscle activity during judo-specific pulling exercises. Performance enhancements may partly be attributed to neural adaptations. No transfer effects on unspecific strength tests were detected following PTJ and PTP.

Einleitung

Während der letzten Jahre hat in der Sportart Judo die Diagnostik der Anrisskraft und deren Training zunehmend Aufmerksamkeit von Trainern, Athleten und Wissenschaftlern erhalten. Eine sportartspezifische Analyse der Olympischen Spiele 2012 in London durch das Institut für Angewandte Trainingswissenschaft (IAT) Leipzig zeigte, dass deutsche Spitzenjudoka gegenüber der internationalen Weltspitze Defizite im wurftechnischen Bereich aufweisen (Heinisch et al., 2012). Diese Defizite sind u. a. durch eine mangelhafte Anrissbewegung im Wurfansatz in Form einer unzureichenden Gleichgewichtsbrechung gekennzeichnet (Heinisch et al., 2012). Insbesondere bei beid- und einbeinigen Eindrehtechniken steht die finale Effektivität und Effizienz der Wurftechnik in direkter Beziehung zur erfolgreichen Wurfeingangsbewegung (Büsch et al., 2012).

Aufgrund der Massenträgheit des Gegners (*Uke*) ist es aus kinetischer Sicht entscheidend, dass der Angreifer (*Tori*) während der Wurfeingangsbewegung einen schnellen Kraftanstieg und ein hohes Kraftmaximum realisiert. Unterstützt wird die Bedeutung einer optimalen Kraftproduktion während der Wurfeingangsbewegung für die Sportart Judo durch Studien, die dynamische Kraft- und Schnellkraftparameter von Judoka auf unterschiedlichem Leistungsniveau untersuchten (Callister et al., 1991; Mühlbauer et al., 2014; Drid et al., 2015). Untersuchungen zum Vergleich der Maximalkraft von Arm- und Schultermuskulatur (d. h. Ellenbogenflexoren/-extensoren, Schulteraußenrotatoren) unter isokinetischen Bedingungen sowie Einer-Wiederholungs-Maximalkrafttests (EWM) der oberen Extremitäten zwischen Athleten auf höherem und niederem Leistungsniveau (z. B. internationales vs. nationales Niveau), zeigten signifikant bessere Werte für die Athleten auf höherem Niveau (Callister et al., 1991; Drid et al., 2015). Darüber hinaus führten Mühlbauer et al. (2014) Wurfeingangsanalysen im Stand und mit Platzwechsel an einem speziellen Judoergometer- System (JERGo[®]-System; Institut für Forschung und Entwicklung von Sportarten [FES], Berlin, Deutschland) mit männlichen Spitzen- (A- und B-Kader; Alter: 23 ± 3 Jahre) und Nachwuchsjudoka (D-Kader; Alter: 16 ± 1 Jahre) durch. Spitzen- im Vergleich zu Nachwuchssportlern erreichten dabei mehrheitlich signifikant größere Werte in den Parametern dynamisch-realisierte Maximalkraft sowie mechanische Arbeit von Hub- und Zugarm. In diesem Zusammenhang zeigten Untersuchungen (Laurson et al., 1998; Hansen et al., 2016), dass größere Kräfte bzw. Drehmomente bei gleicher Gelenkwinkelstellung mit höheren Muskelaktivitäten (z. B. von Schulter- oder Rumpfmuskulatur) einhergehen können. Ein sportartspezifisches Krafttraining beim Vollzug von

Wurfeingangsbewegungen könnte demzufolge judospezifische Leistungen (z. B. effiziente Gleichgewichtsbrechung) und neuromuskuläre Aktivierungsstrategien während des Anreibens verbessern.

Vor diesem Hintergrund findet in der Trainingspraxis von Judoka neben einem allgemeinen Krafttraining auch ein spezifisches Krafttraining Anwendung, um die Wurfeingangsbewegung und das wurftechnische Niveau der Athleten zu entwickeln und zu optimieren (Blais & Trilles, 2006; Möller et al., 2011). So untersuchten zum Beispiel Blais und Trilles (2006) die Effekte eines zehnwöchigen Anrisstrainings mit einem judospezifischen Krafttrainingsgerät (2x/Woche) auf die Maximalkraft und Wurftechnik bei männlichen, angehenden Judo-Trainern (Alter: 23 ± 3 Jahre, schwarzer Gürtel, mindestens 2. Dan). Im Gegensatz zur Kontrollgruppe konnte die Trainingsgruppe nach der zehnwöchigen Interventionsphase signifikante Steigerungen der Maximalkraft am Krafttrainingsgerät und der Wurftechnik erzielen. Ein weiteres innovatives Gerät zur Diagnostik und zum Training judospezifischer Wurfeingangsbewegungen stellt das JERGo[®]-System dar. Kinetische Schnell- und Sofortinformationen des Anreibens können mit diesem Gerät objektiviert und durch ein spezifisches Anrisstraining optimiert werden (Mühlbauer et al., 2014; Möller et al., 2009). In früheren Untersuchungen konnte das JERGo[®]-System bereits als valide und reliabel bestätigt werden (Mühlbauer et al., 2014; Helm et al., 2017). Darüber hinaus zeigten Möller et al. (2011) in einer Trainingsstudie, dass ein vierwöchiges Techniktraining zusätzlich zu einem regulären Judotraining zu qualitativ verbesserten Kraft-Zeit-Verläufen am JERGo[®]-System (z. B. höhere Kraftspitzen und Bewegungsgeschwindigkeiten) gegenüber einer aktiven Kontrollgruppe (nur reguläres Judotraining) bei männlichen Spitzenjudoka führte. Unklar ist jedoch, ob ein kontinuierliches Anrisstraining mit dem JERGo[®]-System (ATJ) im Vergleich zu einem tradierten Anrisstraining mit Partner (ATP) eine Überlegenheit hinsichtlich der Steigerung von kinetischen (z. B. Maximalkraft, Explosivkraft) und elektromyografischen (EMG) Muskelaktivitätsparametern (z. B. der oberen Extremitäten) des Anreibens bei Wurfeingangsbewegungen sowie von sportartunspezifischen Kraftwerten (z. B. EWM Liegend-Anreißen) besitzt.

Daher bestand das Ziel der vorliegenden Studie darin, die Effekte von ATJ gegenüber ATP auf kinetische und EMG-Parameter des Anreibens und auf sportartunspezifische Krafttests bei leistungsorientierten Judoka zu überprüfen. Es wurde angenommen, dass ATJ gegenüber ATP aufgrund der objektiven Schnell- und Sofortinformation während des Trainings zu höheren Leistungssteigerungen von kinetischen (z. B. dynamisch-realisierte Maximalkraft,

Explosivkraft) und EMG-Parametern (z. B. M. deltoideus, M. trapezius) des Anreißens sowie den sportartunspezifischen Krafttests führt (Daugs, 2000; Krug & Müller, 2003).

Methodik

Probanden

Für die Studie wurden 24 männliche Judoka (Alter: $22,0 \pm 4,1$ Jahre; Masse: $78,2 \pm 9,3$ kg; Größe: $177,0 \pm 5,9$ cm; Trainingserfahrung: $14,8 \pm 2,6$ Jahre) des U18- ($n = 4$) und U21-Landeskaders ($n = 5$) sowie des Männer-Bundesligakaders ($n = 15$) am Olympiastützpunkt Brandenburg (Standort Potsdam) rekrutiert. Aus jeder Gewichtsklasse nahmen mindestens zwei Sportler an der Trainingsstudie teil. Laut dem japanischen Graduierungssystem besaßen die teilnehmenden Judoka zu Beginn der Studie ein Graduierungsniveau des schwarzen Gürtels (mindestens 1. Dan). Die Judoka wurden randomisiert auf zwei Trainingsgruppen aufgeteilt (Gruppe 1: $n = 12$, Gruppe 2: $n = 12$).

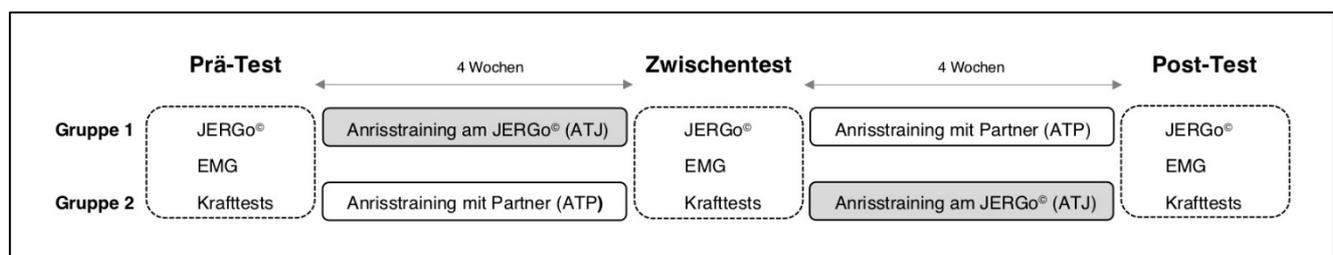


Abbildung 1: Darstellung der achtwöchigen Studienphase mit einem Crossover-Design. JERGo® = kinetische Parameter (F_{\max} , EXK, W), EMG = elektromyografische Parameter (M. deltoideus, M. biceps brachii, M. erector spinae, M. deltoideus), Krafttest = sportartunspezifische Krafttests (Liegend-Anreißern, Klimmziehen).

Studienablauf

Die Studie wurde in einem randomisierten Crossover-Design bestehend aus drei Test- und zwei Interventionsphasen (Abb. 1) durchgeführt, sodass jeder Teilnehmer sowohl ATJ als auch ATP absolvierte. Gruppe 1 führte dabei zuerst ATJ gefolgt von ATP durch. Gruppe 2 bewältigte zunächst ATP und dann ATJ. Aus ethischer Sicht sollte mit diesem Studiendesign gewährleistet werden, dass beide leistungssportlich orientierten Gruppen vom ATJ profitieren können. Darüber hinaus ermöglicht das Crossover-Design, dass jeder Teilnehmer als seine eigene Kontrollgruppe dient. Somit ist die Vergleichbarkeit von Gruppe 1 und 2 hinsichtlich konfundierender Variablen (Alter, Expertise-Niveau) gegeben. Zudem bietet das Design auch bei geringer Teilnehmerzahl sowie bei Dropouts die notwendige Power, um die statistische Absicherung des Interventionseffektes zu gewährleisten (Wellek & Blettner, 2012). Die drei Testphasen begannen jeweils mit einer allgemeinen (60 s Seil- springen) gefolgt von einer

judospezifischen Erwärmung mit Partner (2 × 10 Wurfeingangsbewegungen [*Uchi-Komi*] mit Partner). Zudem wurden mit dem JERGo[®]-System fünf submaximale sowie drei maximale Wurfeingangsbewegungen im Stand (Abb. 2a) und mit Platzwechsel (Abb. 2b) durchgeführt. Danach erfolgten zur Erfassung der kinetischen Parameter (d. h. dynamisch-realisierte Maximalkraft [F_{\max}], Explosivkraft [EXK] und mechanische Arbeit [W]) für jede der beiden Bewegungsausführungen die Wertungsversuche. Da bei der EMG-Ableitung Störungen durch den direkten Körperkontakt mit dem JERGo[®]-System bei Wurfeingangsbewegungen mit Platzwechsel auftreten können, erfolgte die Aufzeichnung der EMG-Parameter lediglich während der Wurfeingangsbewegung im Stand (ohne Kimono). Anschließend wurden sportartunspezifische Kraftwerte mittels der Übungen Liegend-Anreißen und Klimmziehen erfasst.

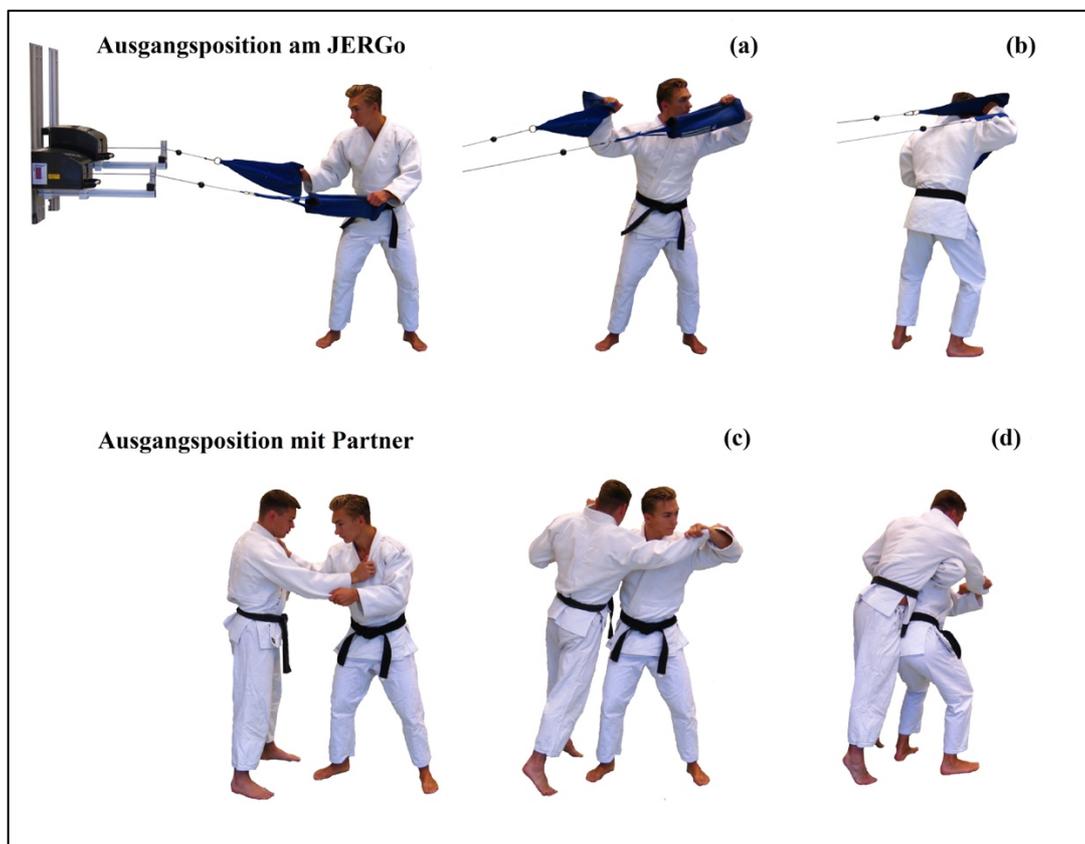


Abbildung 2: Test- und Trainingsausführung der Wurfeingangsbewegung im Stand (a, c) und mit Platzwechsel (b, d) am JERGo[®]-System (a, b) und mit Partner (c, d).

Interventionen

Der gesamte Interventionszeitraum war auf acht Wochen angelegt. ATJ und ATP dauerten jeweils vier Wochen, wobei jede Phase zwölf Trainingseinheiten umfasste. Diese zwölf Trainingseinheiten wurden zusätzlich zum regulären Training ($17,4 \pm 3,6$ Stunden pro Woche) absolviert. Jede der zwölf Einheiten dauerte 20 Minuten und beinhaltete

Wurfeingangsbewegungen mit dem JERGo[®]-System (ATJ; Abb. 2a-b) bzw. mit einem Partner (ATP; Abb. 2c-d). In jeder Trainingseinheit wurden die Anrissbewegungen im Stand und mit Platzwechsel jeweils 6 x 5 Versuche in der entsprechenden Technik mit explosiver Bewegungsausführung durchgeführt. Die Pause zwischen den Versuchen betrug drei Sekunden und zwischen den Serien eine Minute. Beim ATJ erfolgte die individuelle Einstellung des JERGo[®]-Systems in Abhängigkeit von der individuellen Auslage, der Körpergröße und der Gewichtsklasse. Diese individuellen Einstellungen wurden während der Intervention nicht verändert. Zudem wurden lediglich während ATJ bewegungsbezogene Rückinformationen (Feedback) nach jeder Bewegungsausführung gegeben. Die Gabe von Rückmeldung erfolgte sowohl ergebnis- (z. B. Maximal-/Explosivkraftwert) als auch verlaufsbezogen (z. B. Kraft-Weg-Verlauf) (Marschall & Daug, 2003). Für ATP erfolgte die Auswahl des *Uke* individuell in Abhängigkeit von Gewichtsklasse und Körperhöhe des *Tori*. Zudem hatte *Uke* während der Ausführung der Wurfeingangsbewegung im Stand und mit Platzwechsel die Aufgabe, die Bewegung bei normaler Körperspannung passiv und ohne Unterstützung zuzulassen (Helm et al., 2017; Deutscher Judo-Bund, 2011). Während der beiden Interventionsphasen erfolgte eine kontinuierliche Dokumentation aller durchgeführten Trainingsinhalte.

Erfassung kinetischer Parameter des Anreißens

Zur Analyse der kinetischen Parameter (F_{\max} , EXK, W) während des Anreißens wurde das JERGo[®]-System eingesetzt, das für die Test- und Trainingsphase im *Dojo* des UJKC Potsdam e. V. an eine Wand montiert wurde. Bei der Montage der Wandhalterung wurde die Körperhöhe der Athleten berücksichtigt (Abb. 2 Ausgangsposition am JERGo[®]), sodass die Höheneinstellung der beiden Wirbelstrombremsen (Hub- und Zugarm) individuell an die Kampfauslage und Körperhöhe des Judoka angepasst werden konnte. Die Judoka absolvierten jeweils sechs maximale Versuche der standardisierten Wurfeingangsbewegung im Stand (*Kuzushi*) und mit Platzwechsel (z. B. *Morote-seoi-nage*). Als abhängige Variablen wurden die kinetischen Parameter getrennt nach Arm- (Hub- versus Zugarm) sowie Testübung (Anreißen im Stand versus Anreißen mit Platzwechsel) bestimmt. EXK wurde dabei in Anlehnung an Helm et al. (2017) und Prieske et al. (2014) als Kraftanstieg im Zeitintervall 0-50 ms definiert. Diese Phase gibt Aufschluss über das Aktivierungsverhalten während der Kraftentfaltung schnellkräftiger Muskelaktionen. Der Bewegungsbeginn wurde jeweils bei 10 N des Kraftanstiegssignals für Hub- und Zugarm definiert. In die Auswertung gelangte der jeweilige Mittelwert aus fünf Versuchen (d. h. 2. bis 6. Versuch). Für die Test- Retest-Reliabilität der Parameter F_{\max}

und W wurden bei Spitzenjudoka Korrelationskoeffizienten (nach Pearson) von 0,64 - 0,81 berichtet (Mühlbauer et al., 2014). Der Kennwert „Leistung“ wird ebenfalls durch das JERGo[®]-System bereitgestellt, jedoch in den nachfolgenden Analysen nicht berücksichtigt, da sich dieser als eingeschränkt reliabel erwiesen hat und somit mögliche trainingsbedingte Veränderungen nicht von mangelnder Zuverlässigkeit des Testsystems unterschieden werden könnten.

Erfassung elektromyografischer Parameter des Anreißens

Zur Erfassung der Muskelaktivität wurde während der Wurfeingangsbewegung im Stand die EMG-Aktivität von vier Muskeln (M. deltoideus [pars acromialis], M. biceps brachii, M. erector spinae [pars lumbalis], M. trapezius [pars transversa]) für die Hub- und Zugarmseite mit einer Einzugsfrequenz von 1500 Hz abgeleitet (TeleMyo 2400 T G2, Noraxon[®], Scottsdale, Arizona, USA) und mit der Software MyoResearch XP Master Edition synchron zum Kraftsignal (Abb. 3) gespeichert. Die Ableitung der Muskelaktivität erfolgte gemäß internationaler Empfehlungen (Hermens et al., 1999). Die EMG-Signale herznah gelegener Muskeln wurden hinsichtlich EKG-Artefakte bereinigt und mit einem digitalen Bandpass-Filter verarbeitet (High-pass: 10 Hz, Low-pass: 750 Hz) sowie gleichgerichtet (Konrad, 2005). Darüber hinaus wurden die EMG-Daten amplituden-normalisiert. Hierbei wurde die mittlere Muskelaktivität für das Zeitintervall von 50 ms vor bis 50 ms nach F_{\max} erhoben. Als abhängige Variablen wurden die normalisierten EMG-Werte (mean average voltage [MAV]) für das Zeitintervall 0 - 50 ms getrennt nach Hub- und Zugarm definiert. Die Mittelwerte aus fünf Versuchen (d. h. 2. bis 6. Versuch) wurden in die Analyse einbezogen. Die Prüfung der Übereinstimmungsvalidität zeigte für Muskelaktivitäten während des Anreißens bei Wurfeingangsbewegungen am JERGo[®]-System und mit Partner gute bis ausgezeichnete Zusammenhänge (Intraklassenkorrelations-Koeffizient: 0,40 - 0,85) (Helm et al., 2017).

Erfassung sportartunspezifischer Kraftwerte

Zur Diagnostik sportartunspezifischer Kraftleistungen wurden die Testübungen Liegend-Anreißen reißen und Klimmziehen herangezogen, die wichtige Bestandteile der Testbatterie der Rahmenkonzeption des Deutschen Judo Bundes sind (Deutscher Judo-Bund, 2013). Zu den drei Testterminen wurden das EWM beim Liegend-Anreißen und die maximale Wiederholungszahl bis Testabbruch beim Klimmziehen ermittelt.

unter Verwendung des Bonferroni-Tests. Zudem wurde die Effektgröße (Cohen's d) als Maß zur Abschätzung der praktischen Relevanz einer Intervention und zur Bestimmung der Magnitude des Trainingseffekts berechnet. Nach Cohen (1988) entspricht $d < 0,5$ einem kleinen Effekt, $0,5 \leq d < 0,8$ einem mittleren Effekt und $d \geq 0,8$ einem großen Effekt. Die Überprüfung des Zusammenhangs zwischen den Veränderungen kinetischer Parameter des Anreißens und der sportartunspezifischen Kraftwerte wurde mit dem Korrelationskoeffizienten nach Pearson (r) bestimmt. Bezugnehmend auf die Klassifikation nach Vincent und Weir (2012) liegt ein kleiner Zusammenhang bei $r < 0,7$, ein mittlerer Zusammenhang bei $0,7 \leq r < 0,9$ und ein großer Zusammenhang bei $r \geq 0,9$ vor. Das Signifikanzniveau wurde auf $p < 0,05$ festgelegt. Die statistische Datenanalyse erfolgte mit dem Programmpaket SPSS (Version 23.0).

Ergebnisse

Alle Teilnehmer erhielten die zugeteilten Interventionen mit den vorgesehenen Trainingseinheiten. Während der Studie fiel jeweils ein Proband pro Gruppe aufgrund mangelnder Teilnahme ($\leq 60\%$) aus. Im Ergebnis absolvierten 22 Athleten das Interventionsprogramm. Es wurden keine trainingsbedingten Verletzungen beobachtet. Die Teilnahme betrug während ATJ 93% und während ATP 95%. In Tabelle 1 sowie in der Abbildung 4 sind die Veränderungen der kinetischen und EMG-Parameter des Anreißens bei Wurfeingangsbewegungen sowie der sportartunspezifischen Krafttests vom Prä- über den Zwischen- zum Post-Test dargestellt. Im Prä-Test wurden keine statistisch signifikanten Unterschiede in den betrachteten Parametern von Gruppe 1 im Vergleich zu Gruppe 2 beobachtet.

Effekte auf kinetische Parameter des Anreißens

Für die kinetischen Parameter F_{\max} , EXK (nur Wurfeingangsbewegung im Stand) und W zeigten sich in beiden Gruppen signifikante Verbesserungen über den gesamten Interventionszeitraum (8 Wochen) bei Ausführung der Wurfeingangsbewegung im Stand ($p < 0,05$; $0,83 \leq d \leq 1,77$) (außer W /Zugarm) und mit Platzwechsel ($p < 0,05$; $0,94 \leq d \leq 1,47$) (außer F_{\max} /Zugarm). Des Weiteren ergaben sich lediglich für die Wurfeingangsbewegung im Stand signifikante Zuwachsraten für EXK infolge von ATJ ($p < 0,05$; $2,24 \leq d \leq 2,79$; vgl. Abb. 4). Im Gegensatz dazu führte ATP zu signifikanten Reduktionen von EXK ($p < 0,05$; $-2,78 \leq d \leq -1,30$).

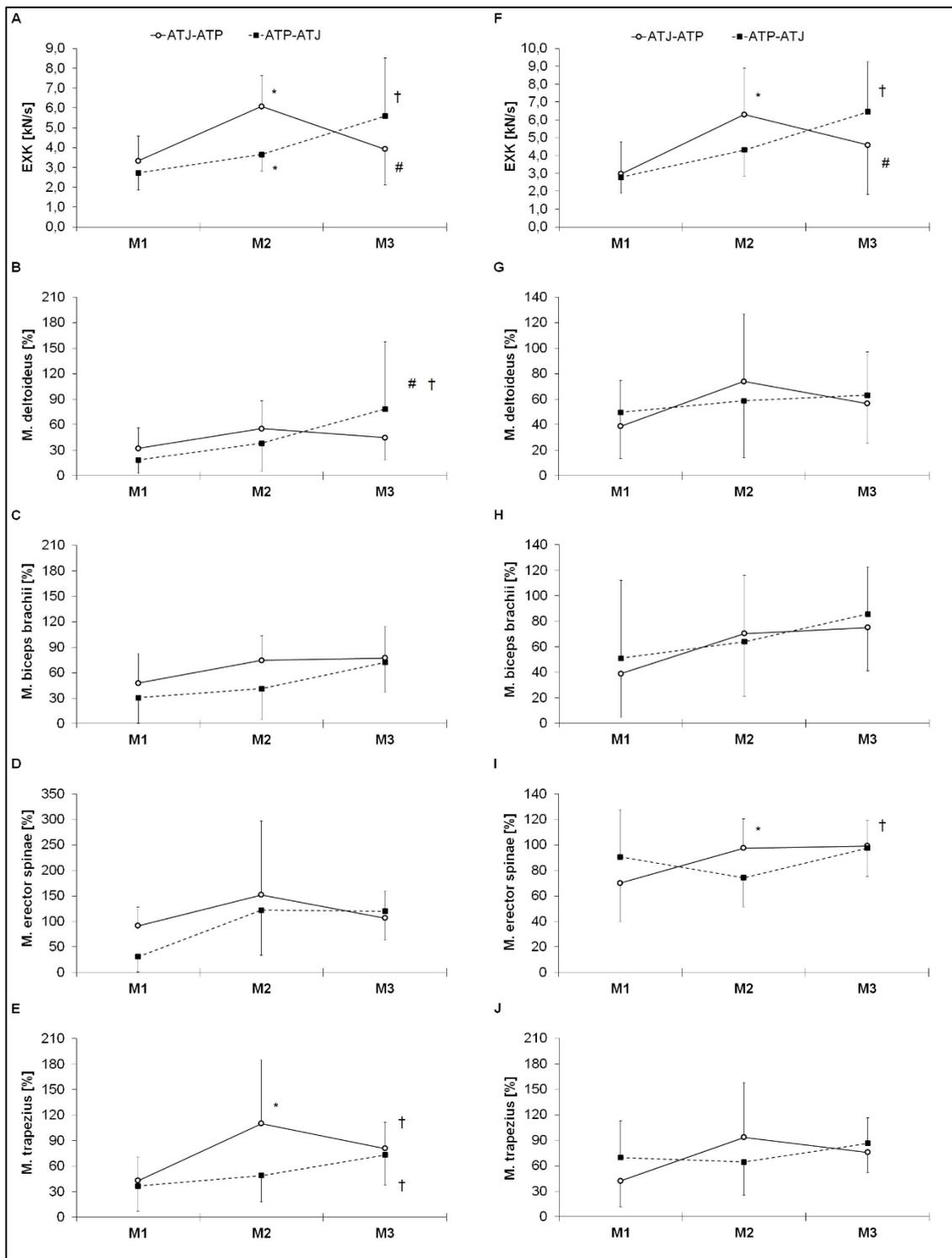


Abbildung 4: Veränderungen der Explosivkraft (EXK) und der Muskelaktivität (MAV) für den Hub- (A - E) und Zugarm (F - J) über die drei Messzeitpunkte (M1 - M2 - M3) in Gruppe 1 (Anrisstraining mit dem JERGo®-System gefolgt vom Anrisstraining mit Partner) und Gruppe 2 (Anrisstraining mit Partner gefolgt von Anrisstraining mit dem JERGo®-System) bei der Wurfeingangsbewegung im Stand. * = $p < 0,05$ (M1 - M2), # = $p < 0,05$ (M2 - M3), † = $p < 0,05$ (M1 - M3).

Effekte auf elektromyografische Parameter des Anreißens

Hinsichtlich der Muskelaktivitäten (MAV des M. deltoideus, M. biceps brachii, M. erector spinae, M. trapezius) bei den Wurfeingangsbewegungen im Stand zeigten sich in beiden Gruppen signifikante Zuwachsraten über den gesamten Interventionszeitraum ($p < 0,05$; $1,07 \leq d \leq 2,25$). Zudem offenbarten sich für die Muskelaktivität von M. deltoideus, M. trapezius und M. erector spinae signifikante Steigerungen infolge von ATJ ($p < 0,05$; $1,25 \leq d \leq 1,36$; vgl. Abb. 4). Demgegenüber führte ATP in beiden Gruppen zu keiner signifikanten Steigerung der Muskelaktivität ($p > 0,05$).

Effekte auf sportartunspezifische Kraftwerte

Die statistische Analyse ergab, dass beide Gruppen keine Verbesserungen für die Testübungen Liegend-Anreißen und Klimmziehen über den gesamten Interventionszeitraum erzielen konnten ($p > 0,05$). Weder ATJ noch ATP führten zu signifikanten Zuwachsraten ($p > 0,05$). Die Überprüfung des Zusammenhangs zwischen den Veränderungen der kinetischen Parameter des Anreißens (F_{\max} , EXK, W) und der sportartspezifischen Kraftwerte (Liegend-Anreißen, Klimmziehen) zeigte lediglich kleine Zusammenhänge ($-0,42 \leq r \leq 0,56$).

Tabelle 1: Veränderungen der kinetischen Parameter des Anreißens und sportartenspezifischer Kraftwerte bei einem Anrisstraining mit dem JERGo®-System (Gruppe 1: M1-M2; Gruppe 2: M2-M3) und einem Anrisstraining mit Partner (Gruppe 1: M2-M3; Gruppe 2: M1-M2).

	Gruppe 1 (n = 12)			Gruppe 2 (n = 12)			p-Wert (EGd) Zeit	Gruppe	Zeit x Gruppe		
	M1	M3	Δ 1-2 (%)	M1	M3	Δ 1-2 (%)					
Anriss-Bewegung im Stand											
Hubarm F _{max} (N)	317,9 ± 60,8	358,9 ± 91,9	12,9	294,5 ± 42,3	327,4 ± 41,1	443,7 ± 112,4	11,2	35,5	< 0,05 (1,65)	0,99 (0,00)	0,10 (0,70)
Hubarm W (Nm)	111,1 ± 35,5	103,1 ± 35,7	-7,2	94,0 ± 34,3	103,1 ± 31,4	133,9 ± 41,9	9,7	29,9	< 0,05 (0,83)	0,75 (0,14)	< 0,05 (1,07)
Zugarm F _{max} (N)	401,6 ± 67,4	447,6 ± 95,6	11,5	430,1 ± 65,4	453,6 ± 103,8	483,6 ± 63,3	5,5	6,6	< 0,05 (1,28)	0,73 (0,16)	0,60 (0,32)
Zugarm W (Nm)	144,0 ± 37,6	139,9 ± 35,5	-2,8	150,2 ± 45,4	152,3 ± 43,7	163,8 ± 39,5	1,4	7,6	0,11 (0,69)	0,50 (0,31)	0,84 (0,19)
Anriss- mit Eindhrehbewegung											
Hubarm F _{max} (N)	254,6 ± 96,2	308,1 ± 117,5	21,0	261,1 ± 74,4	297,2 ± 91,1	426,9 ± 104,5	13,8	43,6	< 0,05 (1,47)	0,37 (0,41)	0,32 (0,49)
Hubarm W (Nm)	106,0 ± 54,3	109,0 ± 43,5	2,8	103,2 ± 47,1	117,2 ± 50,3	141,2 ± 25,2	13,6	20,5	< 0,05 (1,08)	0,76 (0,14)	0,80 (0,21)
Zugarm F _{max} (N)	370,7 ± 94,2	419,4 ± 96,0	13,1	424,6 ± 85,0	400,1 ± 83,8	460,5 ± 91,8	-5,8	15,1	0,07 (0,76)	0,55 (0,27)	0,36 (0,45)
Zugarm W (Nm)	142,9 ± 32,9	169,6 ± 34,2	18,7	165,2 ± 35,2	170,4 ± 46,3	186,1 ± 31,4	3,1	9,2	< 0,05 (0,94)	0,37 (0,41)	0,52 (0,37)
Sportartenspezifische Krafttests											
EWM Liegend-An- reißen (kg)	101,4 ± 11,8	103,0 ± 11,6	1,6	103,2 ± 9,2	102,7 ± 7,9	103,4 ± 8,0	-0,5	0,5	0,11 (0,69)	0,88 (0,06)	0,08 (0,78)
Klimmziehen (Wdh.)	25,9 ± 5,9	26,1 ± 4,8	0,8	24,5 ± 5,4	24,5 ± 5,0	25,1 ± 5,6	0,0	2,4	0,54 (0,28)	0,54 (0,28)	0,67 (0,29)

Dargestellt sind Mittelwerte und Standardabweichungen, EWM = Einer-Wiederholungs-Maximum, F_{max} = dynamisch realisierte Maximalkraft, W = mechanische Arbeit.

Diskussion

Als wesentliche Ergebnisse der vorliegenden Studie können festgehalten werden, dass ATJ unter Einsatz des JERGo®-Systems bei Judoka 1.) als praktikabel (Trainingsteilnahme ATJ: 93 %) und sicher (keine Verletzungen durch ATJ) eingestuft werden kann, 2.) zu signifikanten Steigerungen von kinetischen (d. h. F_{\max} , EXK, W) und EMG-Parametern (d. h. Schulter-/Rumpfmuskulatur) des Anreißens führt, 3.) dem ATP bezüglich der Steigerung von kinetischen und EMG-Parametern des Anreißens für die Wurfeingangsbewegung im Stand überlegen ist und 4.) keine signifikanten Steigerungen der sportartunspezifischen Krafttests bewirkte.

Die Ergebnisse der vorliegenden Studie, bezogen auf verbesserte kinetische Parameter (insbesondere der Explosivkraft) des Anreißens bei Wurfeingangsbewegungen nach ATJ gegenüber ATP (unabhängig von der Gruppe und damit der Reihenfolge der Trainingsmaßnahmen), sind teilweise im Einklang mit der Literatur zu den Auswirkungen von spezifischen Krafttrainingsmaßnahmen bei Judoka. So untersuchten bereits Blais und Trilles (2006) die Effekte eines Trainings mit einer judospezifischen Krafttrainingsmaschine auf die Anriss- und Wurfbewegung. Es konnte gezeigt werden, dass Judoka nach dem zehnwöchigen progressiven Krafttraining an einem judospezifischen Seilzugsystem signifikant größere Lasten während der Ausführung von *Morote-seoi-nage* ($p < 0,05$, $d = 1,00$) und *O-Soto-Gari* ($p < 0,05$, $d = 6,13$) überwinden konnten, während eine passive Kontrollgruppe keine Steigerungen erzielte. Zudem zeigte sich anhand einer subjektiven Bewertung (Skala: 1 - 20 Punkte) von Technikexperten des Französischen Judo-Verbandes lediglich in der Interventionsgruppe eine signifikante Verbesserung der Wurfqualität bei der Ausführung beider Techniken ($p < 0,05$, $0,52 \leq d \leq 1,19$). Darüber hinaus konnten Möller und Kollegen (2011) nach einem vierwöchigen individuellen Techniktrainingsprogramm zusätzlich zum regulären Judotraining qualitative Verbesserungen im Kraft-Zeit-Verlauf am Mess- und Informationssystem JERGo® (z. B. höhere Kraftspitzen und Bewegungsgeschwindigkeiten) gegenüber einer aktiven Kontrollgruppe (nur reguläres Judotraining) feststellen. Diese Anpassungen im Kraft-Zeit-Verlauf könnten für *Tori* einen wettkampfscheidenden Vorteil bedeuten, indem zum Beispiel *Uke* weniger Zeit bleibt, Verteidigungsmaßnahmen einzuleiten und der Gleichgewichtsbrechung entgegenzuwirken (Callister et al., 1991; Mühlbuer et al., 2014; Drid et al., 2015).

Zusätzlich zu den Veränderungen der Leistungsparameter untersuchte die vorliegende Studie auch die Effekte auf EMG-Parameter des Anreißens von leistungsbestimmenden Muskelgruppen (M. deltoideus, M. biceps brachii, M. erector spinae, M. trapezius). Diesbezüglich zeigten die Ergebnisse analog zu den gesteigerten kinetischen Parametern erhöhte Aktivitätsniveaus in der primär beanspruchten Schulter-/Rumpfmuskulatur bei der Wurfeingangsbewegung nach ATJ gegenüber ATP. Es ist bekannt, dass z. B. Schulter- oder Rumpfmuskeln größere Kräfte bzw. Drehmomente bei gleicher Gelenkwinkelstellung erzeugen können, wenn sich deren Aktivitäten erhöhen (Laursen et al., 1998; Hansen et al., 2016). Demzufolge kann vermutet werden, dass die neuromuskulären Anpassungen in der aktuellen Studie zumindest teilweise für die beobachteten Leistungssteigerungen bei der Wurfeingangsbewegung verantwortlich sind. In diesem Sinne führen randomisierte, kontrollierte Trainingsstudien verbesserte neuronale Ansteuerungsmechanismen (z. B. Rekrutierung, Frequenzierung motorischer Einheiten) nach Krafttrainingsprogrammen als Ursache für Schnellkraftsteigerungen an (Agaard et al., 2002; Granacher et al., 2009). Die vorliegenden Ergebnisse zur Muskelaktivierung sind jedoch im Gegensatz zu den Befunden von Möller et al. (2011), die nach dem Techniktraining keine signifikanten Steigerungen von EMG-Parametern des Anreißens zeigen konnten. Es kann vermutet werden, dass die Trainingsform (Krafttraining vs. Techniktraining) hier einen Einfluss auf die unterschiedlichen Studienergebnisse gehabt haben könnte. Während Techniktraining z. B. traditionell mit geringeren Intensitäten durchgeführt wird, wurde in der aktuellen Studie eine gewichtsklassenspezifische Belastungsintensität mittels JERGo[®]-System gewährleistet. In diesem Zusammenhang zeigt eine aktuelle Studie, dass die technischen Einstellungsmodalitäten des JERGo[®]-Systems bei Wurfeingangsbewegungen zu höheren Widerständen im Vergleich zu Bewegungsausführungen mit einem Partner führen (Helm et al., 2017). Höhere Belastungsintensitäten werden für optimale neuromuskuläre Anpassungen und (Explosiv-)Kraftsteigerungen postuliert (Agaard et al., 2002). Mit Bezug zur Sportart Judo empfehlen auch Blais et al. (2007) höhere Widerstände bei der Durchführung von Anriss-/Wurfbewegungen (*Morote-seoi-nage*) an einer judospezifischen Krafttrainingsmaschine im Vergleich zur Durchführung mit Partner. Es ist also zu erwarten, dass ATJ aufgrund der höheren Belastungsintensitäten günstigere Trainingsreize setzt als ein Techniktraining und/oder ATP.

Die signifikante Überlegenheit des ATJ gegenüber ATP hinsichtlich kinetischer und EMG-Parameter des Anreißens konnte lediglich für die standardisierte Wurfeingangsbewegung im

Stand nachgewiesen werden. Für die koordinativ anspruchsvollere Wurfeingangsbewegung mit Platzwechsel konnten zwar signifikante Verbesserungen nach dem achtwöchigen ATJ und ATP gezeigt werden, jedoch war ein signifikanter Mehrwert gegenüber ATP nicht zu beobachten. Es kann vermutet werden, dass trotz der judospezifischen Trainingsexpertise die Bewegungsabläufe mit Platzwechsel am JERGo[®]-System nicht stabil genug ausgeprägt waren, um einen entsprechenden Mehrwert darzustellen. Dementsprechend sollte in nachfolgenden Studien geprüft werden, ob ein längerer Interventionszeitraum (> 4 Wochen) und/oder Progression (z. B. Steigerung des Widerstandes) des Messplatztrainings am JERGo[®]-System zu signifikanten Leistungssteigerungen der analysierten Parameter bei der Wurfeingangsbewegung mit Platzwechsel führt.

Statistisch signifikante Effekte in den ebenfalls erhobenen sportartunspezifischen Kraftwerten konnten nicht gefunden werden. Als Begründung kann hier das Prinzip des spezifischen Trainingsreizes angeführt werden, d. h. trainingsbedingte Leistungsanpassungen sind umso größer, je ähnlicher sich Trainingsübung und Testaufgabe sind (Behm & Sale, 1993). Demnach könnte die Bewegungscharakteristik der judospezifischen Trainingsübungen (Wurfeingangsbewegungen im Stand und mit Platzwechsel) zu spezifisch sein, um Leistungssteigerungen in den sportartunspezifischen Krafttests Liegend-Anreißen und Klimmziehen zu erzielen. Diese Annahme wird dadurch bestätigt, dass im Rahmen der vorliegenden Studie nur geringe Zusammenhänge zwischen den kinetischen Parametern des Anreißen und den sportartunspezifischen Kraftwerten festgestellt wurden.

Limitationen der Studie

Aufgrund des Fehlens einer aktiven (d. h. nur reguläres Judotraining) oder passiven Kontrollgruppe (d. h. kein Training) in dieser Studie ist die Interpretation der Studienergebnisse eingeschränkt. Die Einbeziehung einer passiven Kontrollgruppe ist im Leistungssport nur schwer realisierbar, weil die Athleten das Training nicht für acht Wochen einstellen können, ohne Leistungseinbußen hinzunehmen. Darüber hinaus war die Einbeziehung einer aktiven Kontrollgruppe in diesem konkreten Fall aufgrund der geringen Athletenanzahl am Standort Potsdam nicht möglich. Eine weitere Limitation stellt die fehlende Wash-Out-Phase (Wellek & Blettner, 2012) dar, die der Vorbereitung auf die folgende Wettkampfsaison durch mehrere Trainingslager geschuldet war. Unterschiedliche Leistungsveränderungen in beiden Gruppen nach dem ersten Interventionsblock (d. h. ATJ durch Gruppe 1, ATP durch Gruppe 2) könnten

heterogene Ausgangsbedingungen für den folgenden zweiten Trainingsblock (d. h. ATP durch Gruppe 1, ATJ durch Gruppe 2) dargestellt haben, womit das Ausgangsniveau unterschiedlich ausgeprägt war (Carry-Over-Effekte). Hinsichtlich der zusätzlich zum regulären Training durchgeführten Interventionen könnten zudem trainingsbedingte Wechselwirkungen mit möglichen Dämpfungseffekten aufgetreten sein.

Schlussfolgerungen

Die Implementierung eines ATJ in den Trainingsprozess kann unter Berücksichtigung trainingsmethodischer Prinzipien empfohlen werden. Die vorliegende Studie zeigt, dass ein ATJ im Trainingsalltag von leistungssportlich aktiven Judoka grundsätzlich machbar (Trainingsteilnahme: ATJ = 93 %) und sicher (keine Verletzungen durch das Messplatztraining) ist. In der Kombination mit dem regulären Judotraining deuten die Ergebnisse darauf hin, dass ATJ gegenüber ATP zu Verbesserungen von kinetischen und EMG-Parametern des Anreißens bei Wurfeingangsbewegungen im Stand von leistungsorientierten Judoka führt. Es scheint, dass die Leistungssteigerungen dabei zumindest teilweise auf neuronale Anpassungen zurückzuführen sind.

Danksagung

Für die Unterstützung bei der Rekrutierung der Probanden danken die Autoren Yvonne Bö-nisch (ehem. Landesstützpunkttrainerin), Axel Kirchner (Lehrertrainer), Mario Schendel (Lehrertrainer), Prof. Dr. Dirk Büsch (Leiter des Arbeitsbereiches Sport und Training am Institut für Sportwissenschaft, Carl-von-Ossietzky-Universität Oldenburg), Dr. Hans-Dieter Heinisch (ehem. Leiter der Fachgruppe Judo am IAT) und Lothar Heine (ehem. Leitender Trainingswissenschaftler am Olympiastützpunkt Brandenburg).

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.
- Behm, D. G. & Sale, D. G. (1993). Velocity specificity of resistance training. *Sports Medicine* 15 (6), 374–388.
- Blais, L., Trilles, F. & Lacouture, P. (2007). Validation of a specific machine to the strength training of judokas. *Journal of Strength and Conditioning Research* 21 (2), 409–412.
- Büsch, D., Heinisch, H. D., Bussweiler, J., Gawin, W. & Oswald, R. (2012). Einführung in das Themenheft zur Wettkampfanalyse in den Zweikampf- und Spilsportarten. *Zeitschrift für Angewandte Trainingswissenschaft* 19 (1), 9–12.

- Blais, L. & Trilles, F. (2006). The progress achieved by judokas after strength training with a judo-specific machine. *Journal of Sports Science and Medicine* 5 (CSSI), 132–135.
- Callister, R., Callister, R. J., Staron, R. S., Fleck, S. J., Tesch, P. & Dudley, G. A. (1991). Physiological characteristics of elite judo athletes. *International Journal of Sports Medicine* 12 (2): 196–203.
- Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences*. 2. Aufl Hillsdale: Erlbaum.
- Daug, R. (2000). *Evaluation sportmotorischen Messplatztrainings im Spitzensport*. Köln: Sport u. Buch Strauß.
- Deutscher Judo-Bund e.V. (2011). Begleitmaterial zum Dan-Prüfungsprogramm. Ein Nachschlagewerk zu verschiedenen Themen der Dan-Prüfungsordnung im Deutschen Judo Bund e.V. Im Internet: http://www.judobund.de/fileadmin/_horusdam/487-Begleitmaterial_DanPO_DJB_Mai2011.pdf Stand: 31.03.2016.
- Deutscher Judo-Bund e.V. (2013). Testbatterie Rahmenkonzeption DJB.
- Drid, P., Casals, C., Mekic, A., Radjo, I. Stojanovic, M. & Ostojic, S. M. (2015). Fitness and anthropometric profiles of international vs. national judo medalists in half-heavyweight category. *The Journal of Strength and Conditioning Research* 29 (8): 2115–2121.
- Granacher, U., Gruber, M. & Gollhofer, A. (2009). Resistance training and neuromuscular performance in seniors. *International Journal of Sports Medicine* 30 (9), 652–657.
- Hansen, L. C. & Anders, C. (2016). Trunk muscle amplitude-force relationship is only quantitatively influenced by control strategy. *Journal of Biomechanics* 49 (3), 408–415.
- Heinisch, H. D., Oswald, R., Ultsch, D., Bazynski, N., Birod, M. & Büsch, D. (2012). Analyse der Olympischen Spiele 2012 im Judo. *Zeitschrift für Angewandte Trainingswissenschaft* 19 (2), 121–150.
- Helm, N., Prieske, O., Mühlbauer, T., Krüger, T. & Granacher, U. (2017). Validierung des judospezifischen Mess- und Informationssystems JERGo© für die Durchführung des Standkuzushis. *Leistungssport* 47 (1): 37–42.
- Hermens, H. J., Merletti, R., Freriks, B. (1999). *SENIAM: European recommendations for surface electromyography results of the SENIAM project*. 2. Aufl. Enschede: Roessingh Research and Development.
- Konrad, P. (2005). ABC of EMG. A practical introduction to kinesiological electromyography. Noraxon USA, Inc.
- Krug, J. & Müller, T. (2003). *Messplätze, Messplatztraining, motorisches Lernen*. Hrsg. Sankt Augustin: Academia-Verlag.
- Laursen, B., Jensen, B. R., Németh, G. & Sjøgaard, G. (1998). A model predicting individual shoulder muscle forces based on relationship between electromyographic and 3D external forces in static position. *Journal of Biomechanics* 31 (8), 731–739.
- Marschall, F. & Daug, R. (2003). Feedback. In: Mechling, H., Munzert, J., Hrsg. Handbuch Bewegungswissenschaft – Bewegungslehre. Schorndorf: Hofmann, 281–294.
- Mühlbauer, T., Krüger, T., Schendel, M., Wollburg, D., Heinisch, H. D., Ultsch, D., Büsch, D. & Granacher, U. (2014). Anwendung eines judospezifischen Mess- und Informationssystems (JERGo©-System) für Diagnostik und Training. *Leistungssport* 44 (6), 21–26.
- Möller, S., Bergmann, J. & Gruber, M. (2011). Technikspezifisches Training zur Verbesserung der neuromuskulären Leistungsfähigkeit bei Anriss- und Platzwechselbewegungen im Judo. BISP-Jahrbuch: Forschungsförderung 2010/2011, 161–164.

- Möller, S., Kittel, R., Krüger, T., Srunck, S., Rosenblum, M. & Wick, D. (2009). Movement profiles of the balance breaking (kuzushi) of top judoka. In: Hökelmann, A., Brummund, M., Hrsg. World Congress of Performance Analysis of Sport VIII, Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, Department of Sports Science, Deutschland, 03rd – 06th September 2008: book of proceedings. Aachen: Shaker, 228–231.
- Prieske, O., Wick, D. & Granacher, U. (2014). Intrasession and intersession reliability in maximal and explosive isometric torque production of the elbow flexors. *Journal of Strength and Conditioning Research* 28 (6), 1771–1777.
- Vincent, W.J. & Weir, J.P. (2012). *Statistics in kinesiology*, 4th edition. Champaign, Human Kinetics.
- Wellek, S. & Blettner, M. (2012). On the proper use of the crossover design in clinical trials: part 18 of a series on evaluation of scientific publications. *Deutsches Ärzteblatt International* 109 (15), 276–281.