

MASTERARBEIT | MASTER'S THESIS

Titel | Title

Bewegungsqualität im CrossFit® in Abhängigkeit des
Leistungsniveaus und des Grads der Ermüdung

verfasst von | submitted by
Katharina Böse BEd

angestrebter akademischer Grad | in partial fulfilment of the requirements for the degree of
Master of Education (MEd)

Wien | Vienna, 2026

Studienkennzahl lt. Studienblatt | Degree
programme code as it appears on the
student record sheet:

UA 199 500 510 02

Studienrichtung lt. Studienblatt | Degree
programme as it appears on the student
record sheet:

Masterstudium Lehramt Sek (AB) Unterrichtsfach
Bewegung und Sport Unterrichtsfach Geographie
und wirtschaftliche Bildung

Betreut von | Supervisor:

Univ.-Prof. Mag. Dr. Robert Csapo

Abstract

Background: CrossFit® combines high-intensity exercise with complex movements and is performed under time pressure. Since fatigue can potentially impair motor control and movement execution, the study of movement quality under stress is becoming increasingly important.

Objective: The aim of the pilot study was to investigate the influence of acute fatigue on performance and movement quality parameters in the clean and its effects depending on performance level. In addition, changes in selected movement parameters during a workout were analysed and contextualised using a questionnaire.

Methodology: Twenty-five individuals experienced in CrossFit® were examined in two performance groups. In a two-stage test design, the participants completed a rested 1-RM clean and a questionnaire, and on the second day, a workout with a progressively increasing number of repetitions and a four-minute time window for a 1-RM clean. Marker-assisted kinematic motion analysis was performed from the frontal and sagittal planes. The 1-RM load, temporal clean parameters and knee angle-related parameters during the clean and the workout were evaluated.

Results: Advanced participants achieved higher 1-RM performances than beginners. The fatigue effect on 1-RM performance showed a significant time × group interaction. Beginners showed a slight increase in 1-RM load on average, while advanced athletes showed a decline in performance. There were no significant time or interaction effects for the duration of the clean pull phase and angle-based squat parameters. Workout time did not correlate significantly with the 1-RM change. In the questionnaire, subjects rated movement quality as very relevant in most cases.

Discussion: The results indicate performance level-specific changes in maximum strength performance in the clean, although no measurable effects on movement quality could be detected. [PR1] This can be attributed to technical stability under fatigue or limited sensitivity of the measurement. For follow-up studies, larger samples, finer performance groupings, 3D kinematic methods and a more standardised 1-RM protocol are recommended.

Key words: CrossFit®, acute fatigue, movement quality, clean

Kurzzusammenfassung

Hintergrund: Im CrossFit® werden hochintensive Belastungen mit komplexen Bewegungen kombiniert und unter Zeitdruck ausgeführt. Da Ermüdung potenziell zu einer Beeinträchtigung der motorischen Kontrolle und Bewegungsausführung führt, gewinnt die Untersuchung der Bewegungsqualität unter Belastung an Bedeutung.

Zielsetzung: Ziel der Pilotstudie war die Untersuchung des Einflusses akuter Ermüdung auf Leistungs- und Bewegungsqualitätsparameter im Clean und dessen Effekte in Abhängigkeit vom Leistungsniveau. Ergänzend wurde die Veränderung ausgewählter Bewegungsparameter während eines Workouts analysiert und durch einen Fragebogen kontextualisiert.

Methodik: Es wurden 25 CrossFit®-erfahrene Personen in zwei Leistungsgruppen untersucht. In einem zweistufigen Testdesign absolvierten die Teilnehmenden einen erholten 1-RM Clean sowie einen Fragebogen und am zweiten Termin ein Workout mit progressiv steigender Wiederholungszahl und vierminütigen Zeitfenster für einen 1-RM Clean. Die markerunterstützte kinematische Bewegungsanalyse erfolgte von frontal und sagittal. Ausgewertet wurden etwa 1-RM-Last, zeitliche Clean-Parameter sowie kniewinkelbezogene Parameter beim Clean und dem Workout.

Resultate: Fortgeschrittene erzielten höhere 1-RM-Leistungen als Anfänger:innen. Der Ermüdungseffekt auf die 1-RM-Leistung zeigte eine signifikante Zeit × Gruppe-Interaktion. Anfänger:innen wiesen im Mittel eine geringe Zunahme der 1-RM-Last auf, Fortgeschrittene zeigten einen Leistungsabfall. Für die Dauer der Clean-Zugphase und winkelbasierte Squat-Parameter ergaben sich keine signifikanten Zeit- oder Interaktionseffekte. Die Workoutzeit korrelierte nicht signifikant mit der 1-RM-Veränderung. Im Fragebogen bewerteten Proband:innen Bewegungsqualität überwiegend als sehr relevant.

Diskussion: Die Ergebnisse sprechen für leistungsniveauspezifische Veränderungen der Maximalkraftleistung im Clean, wobei keine messbaren Effekte auf die Bewegungsqualität erfasst werden konnten. Zurückgeführt werden kann dies auf Technikstabilität unter Ermüdung oder auf begrenzte Sensitivität der Messung. Für Folgestudien sind größere Stichproben,

feinere Leistungsgruppierungen, 3D-kinematische Verfahren und ein stärker standardisiertes 1-RM-Protokoll empfehlenswert.

Key words: CrossFit®, akute Ermüdung, Bewegungsqualität, Clean

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	9
1.1	Literaturüberblick.....	10
1.1.1	CrossFit®	10
1.1.2	Effekte durch Krafttraining	13
1.1.3	Verletzungen im CrossFit®	14
1.1.4	Umsetzen	17
1.1.5	Kniebeuge	20
1.2	Fragestellung und Hypothesen	22
2	Methodik.....	24
2.1	Studiendesign.....	24
2.2	Proband:innen	25
2.2.1	Ausschlusskriterien.....	25
2.2.2	Einschlusskriterien.....	26
2.2.3	Dropouts	26
2.3	Ablauf der Testung	26
2.4	Datenmessung (Markersetzung, IMU-Sensoren, Videoaufnahme).....	28
2.5	Bewegungsdurchführung	30
2.6	Fragebogen	32
2.7	Statistische Analyse	33
2.7.1	Statistische Auswertung	33
2.7.2	Datenaufbereitung und Gruppenbildung	33
2.7.3	Prüfung statistischer Voraussetzungen	34
2.7.4	Gemischte Varianzanalysen (Mixed ANOVA)	34
2.7.5	Gruppenvergleiche mittels t-Test.....	35
2.7.6	Direktvergleich mehrerer Veränderungswerte und Korrektur multipler Tests	35
2.7.7	Zusammenhangsanalysen: Korrelation und lineare Regression	35
2.7.8	Nichtparametrische Analysen der Fragebogendaten	35
3	Ergebnisse	36
3.1	Stichprobenbeschreibung.....	36
3.2	Leistungsparameter unter Ermüdung.....	37
3.3	1-RM Umsetzen.....	37

3.3.1	1-RM Umsetzen vor vs. nach dem Workout in Abhängigkeit vom Leistungsniveau	37
3.3.2	Gruppenvergleich der Differenzwerte der 1-RM-Umsetzleistung (T2-T1)	39
3.3.3	Dauer der Zugphase des Umsetzens vor vs. nach dem Workout in Abhängigkeit vom Leistungsniveau	40
3.4	Workout.....	41
3.4.1	Workoutzeit nach Leistungsgruppen	41
3.4.2	Zusammenhang zwischen Workoutzeit und Veränderung der 1-RM-Umsetzleistung	43
3.4.3	Bewegungsqualität – Winkelparameter.....	44
3.4.4	Direktvergleich der Veränderungswerte	45
3.5	Fragebogenergebnisse	47
3.5.1	Bewegungsqualität.....	47
3.5.2	Wahrgenommene Kontrolle und technische Kompetenz	48
3.5.3	Trainer:innen als Einflussfaktor	48
3.5.4	Bewegungsqualität als Ursache für Verletzungen	48
3.5.5	Zusammenhang zwischen Ermüdung und Bewegungsqualität	49
3.5.6	Verletzungen im ermüdeten Zustand	50
3.5.7	Zusammenfassung der Fragebogenergebnisse	50
4	Diskussion.....	51
4.1	Ausgangspunkt der Diskussion.....	51
4.2	Hypothese 1: Leistungsniveau moderiert die Veränderung der 1-RM-Leistung	51
4.3	Hypothese 2: Anfänger:innen zeigen unter Ermüdung stärkere Veränderungen in technischen Parametern	53
4.4	Einordnung zusätzlicher Befunde: Workoutzeit als Ermüdungsindikator und subjektive Einschätzungen	55
4.5	Einordnung in die Literatur, Limitationen der Interpretation und Implikationen für Folgestudien	56
4.6	Limitationen.....	57
4.7	Schlussfolgerungen und Ausblick	59
	Literaturverzeichnis.....	62
	Verzeichnisse (Abbildungen, Tabellen, Abkürzungen)	66
	Abbildungsverzeichnis	66

Tabellenverzeichnis.....	68
Abkürzungsverzeichnis	69
Anhang	70
Fragebogen	70
Teilnehmer:inneninformation und Einverständniserklärung	72
Antragsformular der Ethikkommission der Universität Wien	78
Erklärung	92

Vorwort

Im Mai 2021 entschied ich mich dazu ein Probetraining in einem CrossFit®-Studio im 19. Bezirk zu absolvieren. Selten war ich begeisterter von einem Studio, einer herzlichen Community und einer spürbaren Motivation, welche durch die Stadtbahnbögen schwirrte. Seit Juni 2021 trainiere ich in besagtem Studio und bin dort seit mehr als drei Jahren als Trainerin tätig. Trotz aller Höhen und Tiefen, welche diese Sportart mir durch Härte, Komplexität und oftmals langweiliges Techniktraining mit sich gebracht hat, habe ich die letzten Jahre immer wieder meine Liebe für diesen Sport und vor allem die herzliche Gemeinschaft gefunden. Das gemeinsame Leiden bei einem anstrengenden Workout, das Lachen bei Fehlern und der Spaß bei vielen gemeinsamen Wettkämpfen haben mir einen ganz großen Inhalt meines Lebens geschenkt. Mit dem Eintritt in den Functional-Fitness-Bereich kamen aber auch viele starke Meinungen und Vorurteile. Oft wurde ich für diesen Sport belächelt, bei welchem „alle Übungen nur mit Schwung“ ausgeführt werden würden, oder „Technik sowieso nicht relevant“ sei. Im Zuge meiner Masterarbeit entschied ich mich dann gemeinsam mit Robert Csapo und Peter Raidl eine Pilotstudie über dieses Thema zu machen, um herauszufinden, ob das Klischee von Verletzungen und unsauberen Bewegungen im CrossFit® wirklich so stark sei. Nach einigen Besprechungen und Testungen im Kraftlabor hatten wir einen Plan, wie das Studiendesign auszusehen habe und ich begann mit meinen Testungen. Mehr als zwei Jahre später liegen die Ergebnisse dieser Pilotstudie nun vor Ihnen und ich wünsche Ihnen viel Freude beim Lesen. Ich danke meinem Betreuer Robert Csapo ganz herzlich für seine Zeit bei der Betreuung dieser Masterarbeit und die Abnahme meiner Masterprüfung. Ein weiterer großer Dank gebührt Peter Raidl, welcher oft mit mir zusammengesessen und sich Gedanken über mein Studiendesign, meine Auswertung und Diskussion gemacht hat. Ich danke dir für deine Zeit und Hilfe durch diesen (langen) Prozess. Ich möchte mich außerdem bei allen Proband:innen für die Teilnahme an dieser Studie bedanken. Ohne euch wäre dies alles nicht möglich gewesen. Zuletzt danke ich den wichtigsten Menschen in meinem Leben - meinem Lebensgefährten, meiner Familie und meinen Freunden – von ganzem Herzen. Danke, dass ihr mich die letzten 7 Jahre durch dieses Studium, meinen Berufseinstieg und alle Höhen und Tiefen meines Lebens begleitet habt.

1 Einleitung

CrossFit® ist ein weltweit verbreitetes und wachsendes Trainings- und Wettkampfformat, welches sich durch täglich variierende „Workouts of the Day“ (WODs) und eine Kombination aus hochintensiven metabolischen Belastungen sowie komplexen Kraft-, Turn- und Gewichthebeelementen auszeichnet (Meyer et al., 2017). Diese Struktur führt in der Praxis dazu, dass Athlet:innen technisch anspruchsvolle Bewegungen häufig unter Zeitdruck und hoher Ermüdung wiederholt ausführen (Meier et al., 2023a). Ein zentrales Element des Gewichthebens im CrossFit®-Kontext ist das Umsetzen, im Englischen *Clean*. Als mehrphasige Mehrgelenksbewegung stellt er hohe Anforderungen an motorische Kontrolle, Sequenzierung sowie die Abstimmung zwischen Gelenkbeweglichkeit und stabiler Fangposition dar. Damit handelt es sich um eine Bewegung, deren Qualität maßgeblich von koordinativen und bewegungsmechanischen Voraussetzungen abhängt (Cejudo, 2022). Ein entscheidender Einflussfaktor auf die Bewegungsqualität ist der akute Ermüdungszustand. CrossFit®-typische Belastungen gehen häufig mit ausgeprägtem metabolischem Stress und messbarer neuromuskulärer Ermüdung einher. Erholungsverläufe können dabei abhängig von der Workout-Charakteristik und beanspruchter Muskulatur, selbst nach kurzen Pausen, noch unvollständig sein (Maté-Muñoz et al., 2022). Vor diesem Hintergrund ist die Plausibilität gegeben, dass Ermüdung sowohl Leistungsparameter wie Wiederholungszahl und Geschwindigkeit als auch die technische Ausführung komplexer Lifts beeinflussen kann.

Gleichzeitig zeigen Studien aus dem CrossFit®-Bereich, dass Leistungsniveau und Erfahrung einen Einfluss auf die Ermüdung und Performance haben. Wettkampferfahrung und Erfahrungen im Leistungssport werden in manchen Studien mit einem Zusammenhang der Leistungsfähigkeit im CrossFit® diskutiert (Meier et al., 2023a). Auch in epidemiologischen Arbeiten wird von Unterschieden in Belastungsprofilen und Outcomes in Abhängigkeit vom Leistungsniveau berichtet (Alekseyev et al., 2020). Die Analyse der Bewegungsqualität gewinnt auch aus Präventionsperspektive an Bedeutung. Im CrossFit® werden Verletzungen etwa mit starkem Belastungsumfang, fehlender Kontrolle durch Trainer:innen und der Ausführung komplexer Übungen in Verbindung gebracht (Ángel Rodríguez et al., 2022). Im selben Kontext wird die

Trainer:innenbeteiligung als potenziell protektiv beschrieben (Weisenthal et al., 2014). Neuere Daten weisen zudem darauf hin, dass insbesondere Langhantelübungen wie Reißen und Umsetzen einen relevanten Anteil an verletzungsassoziierten Situationen haben können (Martínez-Gómez et al., 2021). Obwohl zahlreiche Studien CrossFit®-relevante Themen wie akute Ermüdung, Erholung oder Verletzungsepidemiologie untersuchen (Meyer et al., 2017), gibt es vergleichsweise wenige Arbeiten, welche die Veränderungen der Bewegungsqualität spezifisch an komplexen Übungen testen und unter akuter Ermüdung in den Fokus legen (Cejudo, 2022).

Die vorliegende Studie hat zum Ziel, die Lücke in diesem Bereich zu schließen und untersucht deshalb die Effekte akuter Ermüdung auf die Bewegungsqualität beim Umsetzen anhand eines zweistufigen Testdesigns mit Messungen vor und nach einem intensiven Workout. Neben dem 1-RM Umsetzen werden zeitbezogene und bewegungsmechanische Parameter erfasst. Zudem werden Veränderungen der Bewegungsqualität während eines CrossFit®-typischen Workouts analysiert, um das Verhalten der Athlet:innen unter fortschreitender Ermüdung zu porträtieren. Hinzugefügt werden muss, dass Bewegungsqualität in der Studie als multidimensionales Konstrukt interpretiert wird, welches von Aspekten wie etwa motorischer Kontrolle, Koordination und Stabilität abhängt. Die empirische Erfassung erfolgte jedoch nur über ausgewählte kinematische 2D- Indikatoren wie Winkel- und Zeitparameter.

1.1 Literaturüberblick

1.1.1 CrossFit®

CrossFit® hat sich in den letzten Jahren zu einem der am schnellsten expandierenden Trainingskonzepte im Fitness- und Leistungssport entwickelt. Das funktionelle Fitnesstraining gewann rasch an Popularität und etablierte sich auch unter Leistungssportler:innen als Trainingsform mit hoher Akzeptanz. Im Jahr 2022 wurde CrossFit® zu den Top 20 der weltweiten Fitness-Trends gezählt (Meier et al., 2023b). Weltweit existieren mehrere zehntausend CrossFit®-Partnerstudios mit mehreren Millionen aktiven Sportler:innen, wobei hinzuzufügen ist, dass es sich um ein markengebundenes Fitnesstrainingsprogramm handelt (Cejudo, 2022). Die zunehmende Verbreitung des Sports zeigt sich nicht nur im Freizeit- und Gesundheitssport, sondern auch im militärischen und wettkampforientierten

Kontext. Obwohl hochintensives Intervalltraining (HIIT) kein neues Trainingskonzept darstellt, gilt das CrossFit®-Modell als neuartige Trainingsform. CrossFit® wird von Glassman (2004) als „ein Kraft- und Konditionstrainingssystem, das auf ständig variierenden, wenn nicht sogar zufälligen funktionellen Bewegungen basiert, die mit hoher Intensität ausgeführt werden“ definiert (Glassman, 2004). Die eingetragene Marke CrossFit® versteht sich als ein Trainingsmodell, welches hochintensive funktionelle Bewegungen mit begrenzten Ruhephasen nutzt, um Kraft und Ausdauer durch eine Kombination aus Herz-Kreislauf-, Gewichthebeübungen aus dem olympischen Gewichtheben und Kraftdreikampf, sowie durch gymnastische Übungen zu entwickeln (Klimek et al., 2018). Stark charakteristisch für CrossFit® ist dabei die ständige Variation der Trainingsinhalte bei gleichzeitig hoher Intensität. Workouts im CrossFit® bestehen aus variierenden funktionellen Bewegungen, die mit hoher Intensität ausgeführt werden (Meier et al., 2023b). Die täglich wechselnden Trainingseinheiten werden als „Workout of the Day“ (WOD) bezeichnet und umfassen Übungen aus den Hauptelementen Gymnastik, Gewichtheben und Ausdauertraining. Dazu zählen unter anderem gymnastische Übungen wie Klimmzüge, Liegestütze und Burpees, Übungen aus dem Kraftdreikampf und dem olympischen Gewichtheben sowie kardiovaskuläre Aktivitäten wie Laufen, Rudern oder Springen (Leitão et al., 2021). Je nach Leistungsniveau werden diese Inhalte durch eine Vielzahl weiterer Bewegungen, darunter Kniebeugen, Kreuzheben, Drücken, Reißen, Stoßen, Umsetzen sowie komplexe gymnastische Elemente wie Muscle-ups, Toes-to-Bar, Handstand-Liegestütze, Seilklettern (Weisenthal et al., 2014) sowie Strongman- und Powerlifting-Elemente (Cejudo, 2022) ergänzt. Die beschriebenen Übungen werden häufig zu hochintensiven Workouts kombiniert, die in schnellen, aufeinanderfolgenden Wiederholungen mit begrenzter oder fehlender Erholungszeit durchgeführt werden. Die Workouts sind so konzipiert, dass eine vorgegebene Aufgabe entweder so schnell wie möglich („for time“) oder mit der maximal möglichen Anzahl an Wiederholungen oder Runden innerhalb eines festgelegten Zeitintervalls („as many rounds as possible“) absolviert wird (Meier et al., 2023b). Dieser Aufbau gibt CrossFit®-Workouts eine sehr hohe Belastungsdichte und Intensität, welche nachweislich zur Verbesserung der muskulären Ausdauer, der Kraft, der allgemeinen Fitness sowie der Körperzusammensetzung beiträgt (Leitão et al., 2021).

Sowohl im Wettkampf- als auch im Hobbybereich zeigt sich, dass die Ausübung von CrossFit® mit deutlichen Verbesserungen der körperlichen Leistungsfähigkeit einhergeht. Studien berichten über Verbesserungen der Stoffwechselkapazität, der maximalen Sauerstoffaufnahme (VO_2max), der Körperzusammensetzung sowie der allgemeinen Fitness (Weisenthal et al., 2014), Balance und Flexibilität (Ángel Rodríguez et al., 2022) über alle Leistungsniveaus und Geschlechter hinweg (Weisenthal et al., 2014).

Ein weiteres zentrales Merkmal von CrossFit® ist das Prinzip der Skalierung. Der Fokus liegt darauf, Belastungen und Bewegungen individuell anzupassen, um es Personen unterschiedlicher Leistungsniveaus zu ermöglichen gemeinsam trainieren zu können. Dies gilt sowohl für den Trainingsalltag als auch für Wettkämpfe. CrossFit® verfolgt zudem einen Ansatz der Geschlechtergleichstellung, indem Frauen und Männer die Möglichkeit geboten wird, unter vergleichbaren Bedingungen trainieren und konkurrieren zu können. Die Skalierung wird genutzt, um optimale Trainingsbedingungen für unterschiedliche Geschlechter, Altersgruppen, Leistungsniveaus und adaptive Athlet:innen zu schaffen (Schlegel & Křehký, 2022).

Wie bereits erwähnt, charakterisiert sich CrossFit® durch die ständige Variation der Trainingsinhalte, wodurch es zur Aufgabe gemacht wurde, Leistungsentwicklungen gezielt zu überprüfen und zu vergleichen. Zu diesem Zweck wurden sogenannte „Benchmark-WODs“ erstellt, mit denen der Leistungsfortschritt anhand standardisierter Workouts beurteilt werden kann. Die Leistungswerte werden dabei in unregelmäßigen Abständen miteinander oder mit anderen Athlet:innen verglichen. Diese Benchmark-WODs müssen unter gleichen Bedingungen durchgeführt werden, um eine Vergleichbarkeit der Leistung unabhängig vom Trainingsort zu gewährleisten (Meier et al., 2023b). Um Athlet:innen in persona die Möglichkeit zu bieten, sich miteinander zu vergleichen, gibt es weltweit einige CrossFit®-Wettkämpfe. Die erwähnte kontinuierliche Variation des Trainingsprogramms spiegelt sich auch hier wider. CrossFit®-Wettkämpfe unterscheiden sich dahingehend von traditionellen Sportarten, dass Athlet:innen oftmals vorab nicht wissen, welche Disziplinen und Workouts sie erwarten. Besonders deutlich wird dieses Prinzip bei den internationalen CrossFit®-Games, bei denen die Wettkampfaufgaben nicht im Voraus bekannt gegeben werden, sondern teilweise erst kurz vor oder

sogar während des Wettkampfs veröffentlicht werden. Dadurch ist eine gezielte Vorbereitung auf spezifische Disziplinen nicht möglich, was die CrossFit®-Games als einen umfassenden Fitnessstest positioniert. Seit 2007 werden die CrossFit®-Games ausgetragen, die Qualifikation erfolgt über ein mehrstufiges System, dessen erste Stufe das weltweit offene „CrossFit® Open“ darstellt. Die Teilnahme steht dabei unabhängig vom Leistungsniveau allen Interessent:innen offen (Meier et al., 2023a). Im Zuge der vorliegenden Studie wurde ein Workout der genannten „CrossFit® Open“ absolviert.

Zusammenfassend lässt sich CrossFit® als ein vielseitiges, hochintensives und funktionelles Trainings- und Wettkampfsystem beschreiben, welches alle motorischen Fähigkeiten adressiert und sich durch eine hohe Variabilität, Standardisierung von Leistungsüberprüfungen sowie ein einzigartiges Wettkampfformat auszeichnet. Trotz seiner kurzen Entwicklungsgeschichte von rund 20 Jahren, konnte sich CrossFit® weltweit als Trainingsform und Sportart etablieren (Szajkowski et al., 2023).

1.1.2 Effekte durch Krafttraining

Krafttraining stellt eine zentrale Trainingsform zur Steigerung der maximalen Muskelkraft dar und bewirkt vielfältige neuromuskuläre Anpassungen. Die beobachteten Kraftzuwächse lassen sich nicht auf einen einzelnen Mechanismus zurückführen, sondern entstehen aus dem Zusammenspiel neuronaler Anpassungen und struktureller Veränderungen der Muskulatur (Rong et al., 2025). Insbesondere in frühen Trainingsphasen sind Verbesserungen der neuronalen Ansteuerung maßgeblich, da eine effizientere Rekrutierung motorischer Einheiten, eine erhöhte Entladungsfrequenz sowie eine verbesserte intermuskuläre Koordination zu einer gesteigerten Kraftentfaltung beitragen (Sale, 1988). Mit zunehmender Trainingsdauer gewinnen strukturelle Anpassungen an Bedeutung. Eine der ausgeprägtesten Reaktionen auf Krafttraining ist die Muskelhypertrophie, die sich in einer Zunahme der Muskelquerschnittsfläche äußert. Eine größere Muskeldicke steht in einem positiven Zusammenhang mit der maximalen Muskelkraft, da der physiologische Querschnitt die potenzielle Kraftproduktion bestimmt (Rong et al., 2025). Die Hypertrophie resultiert aus einer wiederholten mechanischen Belastung, die anabole Prozesse innerhalb der Muskulatur stimuliert.

Auf molekularer Ebene spielt dabei der mTOR-Signalweg eine zentrale Rolle. Krafttraining aktiviert diesen Signalweg, der wesentlich an der Regulation der Muskelproteinsynthese beteiligt ist und somit das Muskelwachstum sowie langfristige Kraftzuwächse unterstützt (Rong et al., 2025). Diese Mechanismen bilden die physiologische Grundlage für strukturelle Anpassungen infolge systematischer Trainingsreize (Schoenfeld, 2010). Darüber hinaus führt Krafttraining zu Veränderungen der Muskelfaserzusammensetzung. Nach wiederholtem Krafttraining wurde eine Zunahme des Anteils an Typ-I-Muskelfasern beschrieben, während der Anteil der hochschnellen Typ-IIx-Fasern signifikant abnimmt (Rong et al., 2025). Diese Verschiebung wird als Anpassung an wiederholte hochintensive Belastungen interpretiert, bei denen sowohl Kraftentwicklung als auch Ermüdungsresistenz relevant sind. Neben der Trainingsintensität spielt auch das Trainingsvolumen eine entscheidende Rolle für das Ausmaß der Anpassungen. Es konnte bestätigt werden, dass ein höheres wöchentliches Trainingsvolumen mit größeren Zuwächsen an Muskelmasse korreliert, sofern eine progressive Belastungssteigerung gesteuert wird (Schoenfeld et al., 2017).

Anhand dieser wissenschaftlichen Arbeiten wird deutlich, dass Krafttraining nicht nur durch hohe Intensitäten wirksam wird, sondern auch durch eine angemessene Kombination aus Volumen, Intensität und Trainingsfrequenz. Es bewirkt dabei eine Vielzahl von Anpassungen auf struktureller, neuronaler und molekularer Ebene. Die resultierenden Kraftzuwächse beruhen auf einer initialen Optimierung der neuromuskulären Ansteuerung sowie auf langfristigen Veränderungen der Muskelstruktur und -zusammensetzung. Diese Effekte unterstreichen die Bedeutung des Krafttrainings sowohl im leistungsorientierten und gesundheitsbezogenen Trainingskontext (Rong et al., 2025; Sale, 1988; Schoenfeld, 2010; Schoenfeld et al., 2017).

1.1.3 Verletzungen im CrossFit®

Mit der zunehmenden Verbreitung von CrossFit® als hochintensivem, funktionellem Trainings- und Wettkampfsystem rückt die Frage nach Verletzungen und deren Einflussfaktoren stärker in den Fokus. Durch die Kombination unterschiedlichster Bewegungsformen in häufig hoher Intensität und mit geringen Erholungsphasen, ist die Auseinandersetzung mit Verletzungsrisiken im Vergleich zu traditionelleren Trainingsformen

besonders relevant (Klimek et al., 2018). Die verfügbare Evidenz zeigt eine große Spannweite der berichteten Verletzungshäufigkeiten. Zwei systematische Übersichtsarbeiten mit insgesamt 15.386 CrossFit®-Praktizierenden berichten Prävalenzen von Verletzungen innerhalb der letzten 6–12 Monate zwischen 5 % und 74 % sowie Inzidenzraten zwischen 0,74 und 18,9 pro 1000 Trainingsstunden. Als am häufigsten betroffene Körperregionen werden dabei Schulter, Wirbelsäule und Knie genannt (Cejudo, 2022). Diese Ergebnisse werden durch weitere Literatur gestützt, die CrossFit® hinsichtlich Verletzungshäufigkeit und -profil in die Nähe von Gewichtheben und Kraftdreikampf einordnet und Schulter, Wirbelsäule und Knie als besonders häufig betroffene Körperregionen beschreibt (Ángel Rodríguez et al., 2022). Neben Übersichtsarbeiten liegen auch große, umfragebasierte Einzelstudien vor. In einer retrospektiven Analyse mit 424 Athlet:innen aus zwölf CrossFit®-Studios berichteten 48,11 % mindestens eine Verletzung über die gesamte Trainingshistorie erlebt zu haben. Im einjährigen Beobachtungszeitraum betrafen Verletzungen am häufigsten Schultergelenk und Lendenwirbelsäule (Szajkowski et al., 2023). Eine weitere Untersuchung nutzte eine Umfrage nach etablierten epidemiologischen Verfahren zur Verletzungsüberwachung und erhob ihre Daten über CrossFit®-Fitnessstudios sowie über die CrossFit®-Webseite. Hier lag die Verletzungsrate bei etwa 20 %, Männer waren häufiger betroffen als Frauen und die Verletzungen wurden überwiegend als akut sowie relativ leicht beschrieben. Zudem zeigte sich, dass eine stärkere Einbindung von Trainer:innen, welche die Teilnehmenden hinsichtlich Haltung und Ausführung coachen und durch das Training begleiten, mit einer geringeren Verletzungsrate korrelierte (Weisenthal et al., 2014). In einer systematischen Literaturrecherche wird berichtet, dass in einer Stichprobe von 386 Personen eine Gesamtverletzungsrate von 19,4 % auftrat, ebenfalls mit höherer Betroffenheit bei Männern, sowie einer Reduktion der Verletzungsraten bei Präsenz von Trainer:innen. Häufige verletzte Regionen waren in dieser Studie die Schulter, der untere Rücken und das Knie (Hak et al., 2013). In einer weiteren systematischen Literaturrecherche wurde festgestellt, dass Trendsportarten wie Calisthenics, CrossFit® und Kettlebell-Training zu einer Vielzahl von chronischen und akuten Verletzungen der Schulter führen würden. Verletzungen des Schultergelenks betreffen dabei fünf bis acht Prozent, etwa drei Prozent machen Überlastungsschäden und dreißig Prozent aller

akuten Verletzungen Luxationen aus (von Rottkay et al., 2018). Zur Erklärung der häufig betroffenen Strukturen werden insbesondere die Anforderungen typischer WODs herangezogen. Schulterverletzungen werden mit der Komplexität und hohen Beanspruchung durch hohe Lasten und potenziell unsachgemäßer Technik in Verbindung gebracht. Relevant sind dabei sowohl gymnastische Übungen wie Seilklettern, Klimmzüge und Ring-Muscle-ups, bei denen das Schultergelenk große Bewegungsumfänge und Zugbelastungen trägt. Aber auch Gewichthebeübungen wie Overhead Squat, Push Jerk, Snatch, Clean and Jerk, bei denen Druckkräfte und hohe Bewegungsumfänge der Außenrotation, Abduktion und Flexion auftreten, spielen eine große Rolle (Cejudo, 2022). Ergänzend wird beschrieben, dass die überwiegende Mehrheit der Verletzungen in CrossFit®-Kontexten durch Gewichtheberbewegungen verursacht wird, insbesondere durch Kreuzheben, Reißen, Stoßen, Kniebeugen und Überkopfdücken (Ángel Rodríguez et al., 2022).

Für die Identifikation von Risikofaktoren werden in umfragebasierten Studien Variablen wie Teilnahmedauer, Trainingshäufigkeit, Trainingsumfang, frühere Verletzungen, Geschlecht und Wettkampfteilnahme herangezogen (Cejudo, 2022). In einer Analyse wird betont, dass anspruchsvolle Trainingsprogramme das Risiko für Verletzungen erhöhen können, insbesondere bei unsachgemäßer Durchführung. Ein Übermaß an Volumenbelastung und Trainingseinheiten kann vorzeitige Ermüdung, höhere Beanspruchungswahrnehmung und riskante Bewegungsausführung begünstigen, weshalb eine angemessene Kenntnis zur Vermeidung fehlerhafter Ausführung als notwendig beschrieben wird (Ángel Rodríguez et al., 2022). In der Studie von Szajkowski et al. (2023) lassen sich konkrete Risikofaktoren und protektive Faktoren anhand statistischer Zusammenhänge herausarbeiten. Männer wiesen mit 32,78 % ein signifikant höheres Verletzungsrisiko als Frauen, mit 15,33 %, auf. Eine längere CrossFit®-Trainingserfahrung erhöhte die Wahrscheinlichkeit, eine Verletzung zu erleiden. Demgegenüber war die Trainingsfrequenz pro Woche nicht mit einer Zunahme der Verletzungshäufigkeit verbunden. Besonders bedeutsam war das Training trotz akuter Schmerzen, da dieses Verhalten mit einer höheren Verletzungshäufigkeit assoziiert werden konnte. Bei einem Abbrechen des

Trainings bei akuten Schmerzen konnte das Verletzungsrisiko reduziert werden. Als präventive Maßnahme zeigte sich ein strukturiertes Aufwärmen mit isometrischen Übungen, welches die Verletzungswahrscheinlichkeit senkte (Szajkowski et al., 2023).

Zusammenfassend zeigt die untersuchte Literatur ein konsistentes Verletzungsprofil mit Schwerpunkt auf Schulter und Wirbelsäule und, je nach Datensatz, Kniebeteiligung. Gleichzeitig wird deutlich, dass Verletzungsrisiken nicht ausschließlich durch Trainingsumfang erklärbar sind, sondern in hohem Maße mit Ausführung, Belastungssteuerung und Trainingsverhalten sowie mit der Betreuung durch qualifizierte Trainer:innen zusammenhängen (Meyer et al., 2017; Szajkowski et al., 2023; Weisenthal et al., 2014).

1.1.4 Umsetzen

Das Umsetzen, auf Englisch als Clean bezeichnet, ist eine technisch anspruchsvolle Gewichthebebewegung, die in unterschiedlichen Sport- und Trainingskontexten eingesetzt wird. Im olympischen Gewichtheben besteht die Sportart aus dem Reißen und dem Stoßen, wobei das Umsetzen beim Stoßen einen zentralen Bestandteil der Bewegung ausmacht (Calhoon & Fry, 1999). Im CrossFit® existieren standardisierte Bewegungsanforderungen, die das Umsetzen als klar definierte Wiederholung und eigenständige Übung beschreiben. Im Open Workout 18.2, welches im Zuge der hier vorliegenden Studie durchgeführt wurde, beginnt die Übung mit der Langhantel am Boden. Die Wiederholung zählt als geschafft, wenn eine vollständige Hüft- und Kniestreckung vorhanden sind und die Langhantel in der Front-Rack-Position auf den Schultern aufliegt und die Ellbogen vor der Stange positioniert sind, siehe *Abbildung 5*. Erlaubt sind dabei Power Cleans, Squat Cleans und Split Cleans, während Hang Cleans nicht zugelassen sind. Diese Bewegungsstandards verdeutlichen, dass beim Umsetzen sowohl die vollständige Streckung als auch eine stabile Fangposition entscheidende Kriterien darstellt (CrossFit®, 2018). Aus technischer Sicht lässt sich der Power Clean in mehrere Phasen gliedern. Zur ersten Phase zählt der erste Zug, in welchem die Langhantel vom Boden bis etwa Kniehöhe bewegt wird. In der zweiten Phase folgt ein Übergang, bei dem die zunächst gestreckten Knie erneut unter der Hantel gebeugt werden, während sich der Oberkörper vertikal aufrichtet. In der dritten Phase folgt der zweite Zug, der durch maximale

Streckung von Hüfte, Knie und Sprunggelenk sowie eine vertikale Schultererelevation gekennzeichnet ist. Die vierte Phase stellt eine Umkehr- bzw. „Schwerelosigkeitsphase“ dar, in der sich die Athletin oder der Athlet aktiv unter die Hantel zieht. In der fünften Phase wird das Auffangen der Hantel durchgeführt, bei dem die Ellbogen nach vorne geführt werden, um die Langhantel über den Schultern aufzunehmen. Innerhalb dieser Struktur wird insbesondere der zweite Zug häufig als zentral untersucht, da er typischerweise die höchsten vertikalen Bodenreaktionskräfte sowie die größte Geschwindigkeit und Kraft der Langhantel ermöglicht (Oranchuk et al., 2022). Diese Phase wird bei der Analyse des Umsetzens im Zuge der Studie ebenfalls genau analysiert.

Ein wesentlicher technischer Baustein, der die optimale Kraftentfaltung während des Zugs unterstützt, ist der „Second Knee Bend“. Diese Bewegung erfolgt nach der ersten Kniestreckung. Sobald die Hantel auf Kniehöhe ist, wird die Hüfte gestreckt, wodurch sich die Knie erneut beugen. Dadurch entsteht eine Position, die als günstig für den explosiven zweiten Zug beschrieben wird. Der zweite Zug umfasst eine kräftige Streckung von Knie und Hüfte bei gleichzeitiger Schultererelevation und weiterhin gestreckten Armen, wodurch sich die Athletin bzw. der Athlet auf die Fußballen stellt. Wird der „Second Knee Bend“ nicht ausgeführt, kann die Lendenwirbelsäule stärker zur Anhebung der Hantel herangezogen werden (Hydock, 2001). Hiermit wird die Bedeutung einer positions- und kraftorientierten Technik deutlich, bei der die großen Muskelgruppen des Unterkörpers die Hauptarbeit übernehmen.

Für eine effiziente Hebetechnik wird außerdem betont, dass die Arme während des Zugs primär eine „Seilfunktion“ einnehmen und nur einen geringen Beitrag zum Kraftimpuls leisten sollen. Nach Erreichen der „Top-Pull“-Position ist zusätzliche Arbeit an der Hantel begrenzt, da nach vollständiger Streckung von Knie und Hüfte sowie angehobenem Schultergürtel vor allem die vergleichsweise schwächeren Armbeuger verbleiben, um weiter Kraft auf die Hantel auszuüben. Daraus folgt, dass die wesentliche Beschleunigung der Hantel vor allem aus der kraftvollen Streckerarbeit der großen Muskelgruppen resultieren muss (Garhammer, 1980). Weiters spielt die Hantelbahn bei der Geschwindigkeitsentwicklung eine zentrale Rolle. Um die Vorteile der Gewichthebebewegungen auszuschöpfen, müssen Positionen so eingenommen werden, dass eine

optimierte Krafterzeugung möglich wird. Besonders in der zweiten Zugphase sollte die horizontale Verlagerung, das sogenannte „Looping“, minimiert werden, damit die Hantel möglichst nahe am Körper bleibt und die vertikale Kraft effizient übertragen werden kann (Chavda et al., 2020).

Empirische Befunde zeigen, dass eine reduzierte horizontale Verschiebung nach strukturiertem Training mit höheren Kraft- und Leistungswerten einhergehen kann (Winchester et al., 2005). Die Geschwindigkeit wird auch durch die Phasenübergänge beeinflusst. Die Spitzengeschwindigkeit fällt insbesondere bei Anfänger:innen im Übergang stärker ab als bei erfahrenen Gewichtheber:innen (Pennington et al., 2010). Wie erwähnt, ermöglicht ein vertikaler Hantelweg höhere vertikale Bodenreaktionskräfte in der zweiten Zugphase, was die Hantelgeschwindigkeit und potenziell die bewegte Last erhöhen kann. Gleichzeitig steigt mit größerer Last die Anforderung, im Fang höhere Kräfte zu amortisieren, wodurch die Technikqualität für Geschwindigkeit und Sicherheit gleichermaßen relevant bleibt. Insgesamt unterstreicht dies, dass Umsetz-Geschwindigkeiten das Ergebnis technisch effizienter Hantelbahn, hoher Kraftleistung und sauberer Phasenkoordination sind (Oranchuk et al., 2022).

Nicht nur die Zugmechanik, sondern auch eine gute Fangposition spielen eine wichtige Rolle für das optimale Umsetzen. Als korrekt wird eine Fangposition beschrieben, bei der die Langhantel in der Frontkniebeugeposition auf der Vorderseite der Schultern liegt, die Ellbogen nach vorne zeigen, die Oberarme nahezu parallel zum Boden bei einer Schulterbeugung größer als 80° positioniert sind. Für Bewegungsphasen dieser Art, welche mit hohen Bewegungsumfängen einhergehen, ist eine ausreichende Flexibilität der oberen Extremitäten notwendig. Wichtig ist insbesondere ausreichend Bewegungsumfang der Schulteraußenrotation, Ellenbogenpronation und Handgelenksstreckung. Verspannungen oder Mobilitätseinschränkungen in diesen Bereichen können technische Fehler begünstigen und dazu führen, dass die Finger von der Stange rutschen. Dies wird einem Risiko von Verletzungen durch wiederholte Belastungen der Gelenke in Verbindung gebracht (Cejudo, 2022). Die technische Anforderung des Umsetzens kann demnach als Zusammenspiel aus koordinierter Kraftentfaltung und ausreichender Gelenkbeweglichkeit charakterisiert werden.

Die Relevanz und Effektivität des Umsetzens zeigen sich in leistungsbezogenen Anpassungen. Bei Eliteathleten führte Gewichthebettraining in einer Studie innerhalb der ersten 35 Trainingstage zu einer erhöhten vertikalen Kraftentfaltung. Gleichzeitig muss betont werden, dass die vollständige Beherrschung von Gewichthebebewegungen zwar häufig als mehrjähriger Prozess beschrieben wird, durch Verbesserungen technischer Parameter in diesem Zusammenhang aber auch Hobbyathlet:innen potenziell mit weiteren Kraftzuwächsen rechnen können (Haug et al., 2015).

1.1.5 Kniebeuge

Die Kniebeuge stellt eines der zentralen grundlegenden Bewegungsmuster im Kraft- und Athletiktraining dar und wird sowohl im Freizeit- als auch im Leistungssport umfassend eingesetzt. Sie gilt als eine der wichtigsten Übungen zur Steigerung und beansprucht nahezu alle großen Muskelgruppen der unteren Extremität, darunter Quadrizeps, Hamstrings, Glutealmuskulatur und Waden, und erfordert gleichzeitig eine aktive Stabilisation durch die Rumpfmuskulatur, um eine koordinierte und zeitlich abgestimmte Bewegungsausführung zu gewährleisten (Iljinaitė et al., 2024). Im CrossFit®-Sport existieren klar definierte Bewegungsstandards für Kniebeugenvarianten. Bei den, von den Studienteilnehmer:innen durchgeführten, dumbbell squats, also den Kniebeugen mit zwei Kurzhanteln, des Open Workouts 18.2 werden die Bewegungsstandards folgendermaßen beschrieben:

The rep begins from the top, with knees and hips extended and dumbbells on the shoulders. A muscle clean into a squat is allowed. The dumbbells must be held on the shoulders. There is no requirement to maintain a grip on the dumbbell the entire time. At the bottom of the squat, the hip crease must pass below the knees. At the top, the hips and knees must be fully extended. Only one pair of dumbbells may be used (CrossFit®, 2018).

Jede Wiederholung beginnt also in aufrechter Position mit vollständig gestreckten Hüft- und Kniegelenken und den Kurzhanteln auf den Schultern. Die Wiederholung zählt als gültig, wenn in der tiefsten Position die Hüfte unterhalb der Knie liegt und in der Endposition Hüfte und Knie wieder vollständig gestreckt sind (CrossFit®, 2018). Diese Standards verdeutlichen die Bedeutung einer ausreichenden Bewegungsamplitude und einer kontrollierten Technik.

Biomechanisch lassen sich Kniebeugen anhand der erreichten Kniebeugetiefe klassifizieren. Während Parallelkniebeugen typischerweise bei Kniewinkeln von etwa 60–70° ausgeführt werden, liegen Halbkniebeugen im Bereich von 80–100°, Viertelkniebeugen bei 110–140° und Tiefkniebeugen bei etwa 40–45° Kniewinkel (Hartmann et al., 2013). Entgegen häufig verbreiteter Annahmen zeigen biomechanische Analysen, dass bei tiefen Kniebeugen keine erhöhten Belastungen für passive Strukturen zu erwarten sind. Mit zunehmender Kniebeugung verbessert der Umhüllungseffekt die Lastverteilung im Kniegelenk, vergrößert die retropatellaren Kontaktflächen und reduziert dadurch Druckspannungen. Unter fachkundiger Anleitung und bei progressiver Belastungssteigerung wird die tiefe Kniebeuge daher als effektive und sichere Trainingsform zur Stärkung der unteren Extremitäten und zum Verletzungsschutz beschrieben (Hartmann et al., 2013). Die mechanische Beanspruchung während der Kniebeuge wird wesentlich durch die Tiefe, die Rumpfneigung und die Ausrichtung der Tibia beeinflusst. Mit zunehmender Tiefe steigen sowohl das Knie- als auch das Hüftbeugemoment, wobei deren Verhältnis stark von der individuellen Technik abhängt. Gleichzeitig sind die Befunde zur Muskelaktivierung bei unterschiedlichen Tiefen nicht einheitlich. Während teilweise eine erhöhte Aktivierung des Quadrizeps und des Gluteus maximus bei größerer Tiefe beschrieben wird, zeigen andere Studien keine oder gegensätzliche Effekte, was unter anderem auf Unterschiede in der Körperhaltung zurückgeführt wird (Straub & Powers, 2024). Aus funktioneller Sicht ist die Qualität der Kniebeugenbewegung eng mit der allgemeinen Bewegungsfähigkeit verknüpft. Um diese grundlegenden Bewegungsmuster zu beurteilen, gibt es etwa das „Functional Movement Screen™“, welches die Identifikation von Defiziten, Asymmetrien und kompensatorischen Strategien möglich macht. Höhere FMS™-Werte stehen in Zusammenhang mit einer qualitativ besseren

Ausführung der Kniebeuge, insbesondere hinsichtlich Rumpfposition, Knieausrichtung und Tibia-Translation (Iljinaité et al., 2024). Ergänzend weisen Studien darauf hin, dass muskuläre Defizite, wie etwa der Hüftabduktoren, sowie eingeschränkte Beweglichkeit im Sprunggelenk und Mittelfuß die Knieachse negativ beeinflussen können (Wilczyński et al., 2020). Zusammenfassend ist die Kniebeuge eine komplexe, mehrgelenkige Bewegung, deren Effektivität und Sicherheit maßgeblich von Technik, Bewegungsumfang und funktioneller Bewegungsqualität abhängen. Bei sachgemäßer Ausführung stellt sie ein zentrales Element zur Leistungsentwicklung und Prävention im Krafttraining dar.

1.2 Fragestellung und Hypothesen

Ziel dieser Arbeit ist es, die Auswirkungen akuter Ermüdung auf die Bewegungsqualität im Umsetzen sowie im Verlauf eines WOD zu analysieren und Unterschiede zwischen Anfänger:innen und fortgeschrittenen Athlet:innen zu identifizieren. Dabei sollen sowohl die Veränderung maximaler Kraftleistung (1-RM) als auch die Veränderung zeitlicher und technischer Parameter der Bewegungsausführung betrachtet werden.

Auf Grund der obenstehenden Problemstellung, sind für die Arbeit folgende Forschungsfragen von besonderem Interesse:

RQ1: Inwiefern beeinflussen das Leistungsniveau und der Ermüdungszustand die Bewegungsqualität beim Umsetzen?

RQ2: Wie stark beeinflussen Ermüdung und das sportliche Leistungsniveau die Bewegungsqualität und das maximal umsetzbare Gewicht bei einem 1-RM Umsetzen nach einem Workout?

Im Folgenden werden die zugehörigen Hypothesen zu den Forschungsfragen erläutert.

H1: Fortgeschrittene Athlet:innen zeigen nach dem Workout (T2) eine höhere oder stabilere 1-RM-Leistung beim Umsetzen als Anfänger:innen.

H2: Anfänger:innen zeigen eine stärkere Veränderung technischer Parameter und eine größere Verringerung der Bewegungsqualität zwischen T1 (erholt) und T2 (nach Ermüdung).

Die vorliegende Masterarbeit untersucht demnach die Frage, inwiefern die Bewegungsqualität im CrossFit® vom Leistungsniveau und dem

Erholungszustand abhängt. Zudem wird die Problemstellung hinterfragt, ob eine Vorbelastung in Form eines Workouts das maximal umsetzbare Gewicht im Vergleich zum erholten Zustand verändert. Hierbei wird ein Vergleich zwischen Fortgeschrittenen und Anfänger:innen gezogen, welche nach der Dauer der sportlichen Erfahrung im CrossFit®-Bereich eingeteilt werden. Es wird davon ausgegangen, dass sich die Bewegungsqualität bei erfahrenen CrossFit®-Athlet:innen im Rahmen einer Trainingseinheit, welche zunehmende Ermüdung voraussetzt, weniger stark verändert als bei Anfänger:innen. Demzufolge wird die Hypothese aufgestellt, dass zum einen ein Zusammenhang zwischen der Bewegungsqualität und dem Erholungszustand, zum anderen auch zwischen der Bewegungsqualität und dem Leistungsniveau besteht. Die Ergebnisse der Studie werden zeigen, ob sich die Bewegungsqualität im CrossFit® in Abhängigkeit von Leistungsniveau und Ermüdung unterscheidet. Diese Informationen sind für die Prävention von Verletzungen und die Information und Weiterbildung von Trainer:innen von besonderer Bedeutung und werden helfen, die Qualität von Gruppeneinheiten und Trainings im CrossFit®-Bereich zu verbessern. Angesichts des bereits erwähnten Mangels an entsprechenden Studien und der Popularität der Sportart ist die Untersuchung von gleichermaßen großem sportwissenschaftlichem und sportpraktischem Interesse (Alekseyev et al., 2020).

2 Methodik

2.1 Studiendesign

Die Studie wurde aufgrund des limitierten zeitlichen Rahmens sowie möglicher Dropouts und zur Gewährleistung der statistischen Power bei unterschiedlichen Outcomes als verkleinerte Pilotstudie mit einer Proband:innenanzahl von 25 Personen durchgeführt. Im Zuge der Studie wurden 25 Proband:innen (davon 12 Anfänger:innen und 13 fortgeschrittene Athlet:innen) zu zwei Terminen im CrossFit® Arch (Wien, 1190), einem Studio der crosszone GmbH, getestet.

Die Studie wurde im Zeitraum von Ende August bis Ende Dezember 2023 im CrossFit® Arch, Heiligenstädter Straße 31, 1190 Wien, durchgeführt. Aufgrund des Platzbedarfs für die Durchführung des Workouts sowie des 1-RM-Versuchs beim Umsetzen, wurden die Proband:innen zu unterschiedlichen Terminen und Testzeiten zur Studie geladen. Vorab wurde ein Antrag bei der Ethikkommission der Universität Wien gestellt und nach positivem Beschluss konnte mit der Durchführung der Studie begonnen werden. Bei der Anmeldung und Terminvergabe fand eine Aufklärung über Methoden und Inhalte der Studie sowie eine frühzeitige online Zuteilung in die Gruppe der Anfänger:innen oder Fortgeschrittenen statt. Diese sollte mittels der schriftlichen Angabe der Kriterien für die Gruppeneinteilung klar nachvollziehbar sein und selbstständig eingetragen werden. Anhand der Angaben im Fragebogen wurde diese Zuteilung im Anschluss erneut geprüft und manche Angaben verändert. Vor der Durchführung des ersten praktischen Tests am jeweiligen Testtag wurden die Testpersonen erneut schriftlich und mündlich über die Studie aufgeklärt, eine Einverständniserklärung eingeholt und der zweiseitige Fragebogen ausgefüllt. Eine Erläuterung zu den untersuchten Fragen findet sich im Kapitel 2.6 wieder. In der Teilnehmer:innen-Information wurden die Ein- und Ausschlusskriterien der Studie nochmals klar aufgelistet, welche im Kapitel 2.2.1 und 2.2.2 auch nachzulesen sind. Zudem wurden die Proband:innen darüber informiert, möglichst enganliegende, dunkle und nicht reflektierende Kleidung zu tragen, um die Reliabilität der Bewegungsanalyse zu erhöhen. Außerdem wurde darauf hingewiesen, erholt und ohne Muskelkater und Vorbelastungen zu erscheinen. Vorgaben zur Ernährungsweise vor der Testung wurden nicht gegeben.

Die Proband:innen führten am ersten Testtermin einen 1-RM-Versuch eines Umsetzens aus und füllten den Fragebogen aus. Am zweiten Testtermin wurde ein Workout der CrossFit®-Open 2018 mit anschließendem 1-RM Umsetzen absolviert. Die Qualität der Ausführung des Umsetzens sowie der Kniebeugen im Workout sollte ursprünglich neben Kameraaufnahmen durch inertielle Messeinheiten, sogenannte IMUs, aufgenommen werden. Aufgrund technischer Probleme bei der Kalibrierung sowie der Befestigung der IMUs, wurde die Testung nach sieben Proband:innen ohne weitere Verwendung der IMU-Sensoren weitergeführt. Die Analyse der, mittels Videos aufgenommenen, Daten wurde mittels der frei zugänglichen Software KINOVEA® (Version 2025.1, Joan Charmant Open Source Software) analysiert und mithilfe von IBM SPSS Statistics ausgewertet. Die, in den Ergebnissen befindlichen, Grafiken wurden mit JASP (Version 0.96 Intel, Niederlande) erstellt.

2.2 Proband:innen

2.2.1 Ausschlusskriterien

*Personen unter 18 Jahren

*Personen ab 55 Jahren

*Akute Verletzungen oder Erkrankungen, die zu Einschränkungen im täglichen Leben führen oder behandlungswürdig sind

*Personen, welche bislang keinen Kontakt zu CrossFit® hatten

*Gesundheitlich eingeschränkte Personen (akute und chronische Krankheiten, Verletzungen, körperliche Einschränkungen oder Schmerzen, welche die Durchführung der Übungen beeinträchtigen oder limitieren)

*Teilnehmer:innen haben mindestens eine der drei vorkommenden Übungen noch nie durchgeführt

*Teilnehmer kann keine Kniebeugen mit zwei 22-kg-Kurzhanteln, Teilnehmerin kann keine Kniebeugen mit zwei 15-kg-Kurzhanteln durchführen

2.2.2 Einschlusskriterien

*Personen zwischen 18 und 54 Jahre

*Alle Geschlechter

*Sportlich tätige Personen im CrossFit®- oder Functional Fitness-Bereich

*Definition „Anfänger:in“: Personen, welche seit weniger als drei Jahren CrossFit® ausüben und noch keine Wettkampferfahrung auf nationalem oder internationalem Niveau in der Einzeldisziplin gesammelt haben

*Definition „Fortgeschrittene“: Personen, welche den Sport seit mehr als drei Jahren regelmäßig ausüben (keine Trainingsunterbrechungen von mehr als gesamt zwei Monaten) und bereits Wettkampferfahrung auf nationaler und internationaler Ebene in der Einzeldisziplin gesammelt haben

*Gesunde Personen (keine aktuellen und chronischen Erkrankungen, Verletzungen, Einschränkungen oder Schmerzen, welche die Durchführung an der Studie beeinträchtigen oder limitieren könnten)

*Proband:innen welche die Übungen Burpees, Kniebeugen mit Kurzhanteln und Umsetzen sicher durchführen können

2.2.3 Dropouts

Bei der Proband:innengruppe der Anfänger:innen kam es im Verlauf der Studie zu zwei Dropouts. Eine Probandin musste die Studie nach dem Absolvieren der ersten Testung aufgrund gesundheitlicher Probleme verlassen. Bei einem weiteren Probanden der Anfänger:innengruppe kam es aufgrund von technischen Defekten zu einem Verlust mancher Videodaten, weshalb nicht alle Werte des Umsetzens und des Workouts für die Studie verwendet werden konnten. In der Darstellung der Ergebnisse kommt es daher zu einer veränderten Anzahl der Proband:innen.

2.3 Ablauf der Testung

Vor der Durchführung des praktischen Teils der Studie wurden die Proband:innen gebeten einen zweiseitigen Fragebogen auszufüllen, sowie die Teilnahmebedingungen und -voraussetzungen der Studie zu unterschreiben. Besagter Fragebogen beinhaltete Fragen zu anthropometrischen Parametern wie Alter, Größe, Gewicht, Verletzungshistorie und ihrem aktuellen Gesundheitszustand. Zudem

wurden Fragen zur sportlichen Erfahrung im CrossFit®, zum Trainingsablauf und der eigenen Leistungseinschätzung gestellt, als auch eigene Einschätzung und Meinung zur Ausführung verschiedener Bewegungen im CrossFit®-Training eingeholt. Ziel war es, einen Überblick darüber zu erhalten, wie gering oder stark der Fokus der Proband:innen auf die Qualität der Bewegungsausführung gelegt wird. Nach dem Ausfüllen des Fragebogens wurden die Proband:innen zum ersten praktischen Teil der Studie weitergeführt. Die Proband:innen führten dabei Umsetzen mit dem maximal durchführbaren Gewicht durch, wobei hier keinerlei Zeitlimitationen gegeben wurden.

Etwa eine Woche später, je nach Wahl des Termins und zeitlicher Verfügbarkeit der Proband:innen, wurde der zweite Praxisteil der Studie im CrossFit® Arch durchgeführt. Die Proband:innen wurden zu Beginn des Termins nochmals an die Teilnahmeinformationen und Einverständniserklärung erinnert und befragt, ob seit dem letzten Termin neue Beschwerden oder Verletzungen aufgetaucht seien. Bei Änderungen der Angaben oder Fragen nach der Einverständniserklärung hatten die Proband:innen die Möglichkeit diese nochmals einzusehen oder abzuändern. Änderungen wurden im Studienprotokoll verschriftlicht. Vor dem Start des Workouts sollten sich die Proband:innen eigenständig für das Workout und das darauffolgende 1-RM Umsetzen aufwärmen. Anschließend wurden reflektierende Marker, wie in Kapitel 2.4 genau erläutert, am Körper sowie der Langhantel angebracht. Die Teilnehmer:innen wurden aufgefordert aufgrund des Zeitlimits für den 1-RM-Versuch bereits vor dem Beginn des Workouts ein erstes Gewicht für das erste Umsetzen herzurichten. Vor dem Heben mussten die Proband:innen das Workout 18.2. der CrossFit®-Games aus dem Jahr 2018 bewältigen, welches aus den Übungen dumbbell squats und lateral burpees over barbell besteht. Bei den dumbbell squats wurden Kniebeugen mit zwei Kurzhanteln auf den Schultern, im sogenannten front rack, aufliegend durchgeführt. Männer mussten zwei Kurzhanteln mit jeweils 22,5 Kilogramm, Frauen zwei Stück je 15 Kilogramm verwenden. Die burpees wurden lateral der Stange durchgeführt und nach jeder Berührung des Oberkörpers am Boden, musste die Stange mittels eines beidbeinigen Sprungs überwunden werden. Der Ablauf startete mit einer Wiederholung pro Übung. Pro Runde wurde die Wiederholungsanzahl um jeweils eine

Wiederholung erhöht, bis schlussendlich zehn Wiederholungen pro Übung ausgeführt wurden. Das Workout sollte so schnell wie möglich absolviert werden und wurde mit einer Stoppuhr gestoppt. Nach der Durchführung des Workouts bewegten sich die Proband:innen auf die Gewichthebeplattform und hatten vier Minuten Zeit, ein 1-RM Umsetzen zu absolvieren. Hierbei sollte das Gewicht des ersten Testtermins als Referenz dienen.

2.4 Datenmessung (Markersetzung, IMU-Sensoren, Videoaufnahme)

Den Proband:innen wurde am digitus pedis, pes posterior, articulatio talocruralis, condylus lateralis, malleolus lateralis und trochanter major Marker, in Form von reflektierendem Klebeband am Körper montiert. Dies diente der besseren Beobachtung und Analyse mittels KINOVEA® in der Auswertung der Daten. Die nebenstende *Abbildung 2* zeigt die Befestigung der Marker am Körper eines Probanden.

Die Aufnahme der Daten erfolgte sowohl bei der Durchführung des 1-RM Umsetzens als auch beim Workout mithilfe von zwei Kameras, mit denen die Bewegungen aus der Frontal- und Seitenansicht aufgenommen wurde. In *Abbildung 1* ist der Aufbau der Kameras beim Umsetzen zu sehen.



Abbildung 2: Frontale und sagittale Markersetzung

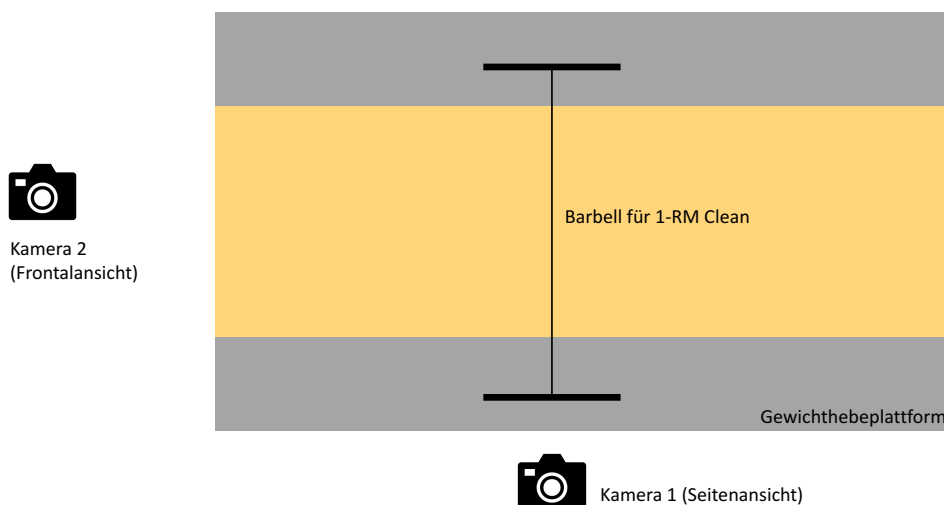


Abbildung 1: Kamerapositionen beim 1-RM-Clean Testtermin 1 und 2

Abbildung 3 zeigt den Aufbau des Workouts am zweiten Testtermin inklusive Kamerapositionen. Auch hier wurde das Workout sowohl von vorne als auch von der Seite gefilmt, wobei die Frontalaufnahmen im Zuge der Analyse nicht weiterverwendet wurden.

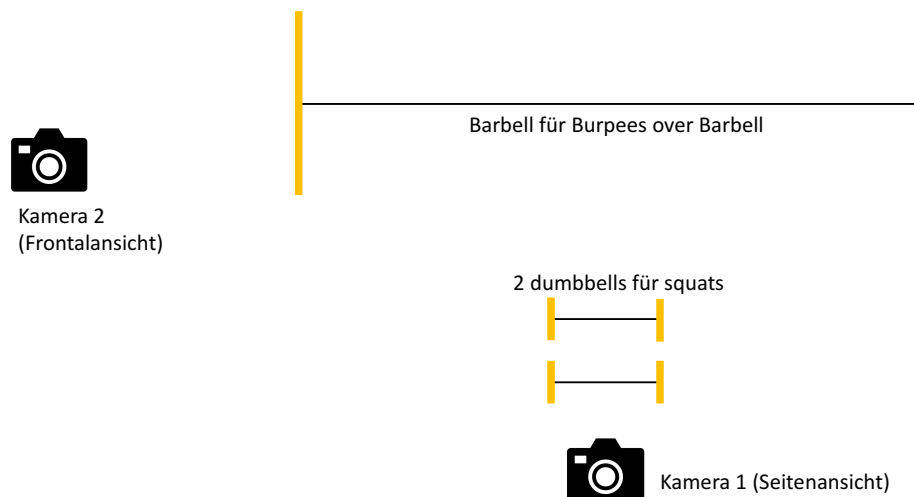


Abbildung 3: Kamerapositionen beim Workout Testtermin 2

Für die Messung der Daten im Rahmen des Workouts war zu Beginn der Studie außerdem eine Messung mithilfe von neun IMU-Sensoren geplant gewesen. Diese Messung wurde bei neun Proband:innen durchgeführt, konnte aufgrund unzureichender und falscher Datenaufnahme und Probleme bei der Befestigung am Körper der Proband:innen nicht weitergeführt werden.

Die IMUs wurden, wie in *Abbildung 4* ersichtlich, am oberen Thorax (C7), unteren Thorax (T9), Sacrum (L5), beiden Oberschenkeln (Femur) und Unterschenkeln (Fibia) sowie auf beiden Füßen (zwischen Talus und Ossa Cuneiformia) der Studienteilnehmer:innen befestigt. Da aufgrund der Fehlerquote nicht für alle Studienteilnehmer:innen eine Messung durch IMU-Sensoren ermöglicht werden konnte, wurden die Daten dieser nicht in die Analyse miteinbezogen.

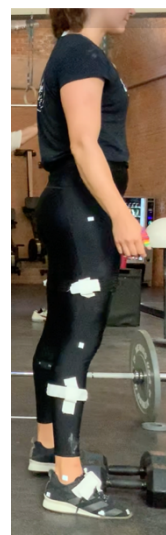


Abbildung 4: Befestigung der IMU-Sensoren an einer Probandin

2.5 Bewegungsdurchführung

Im folgenden Kapitel werden die Eckpfeiler und Anforderungen der Bewegungsausführung der untersuchten Übungen näher erläutert. Der 1-RM-Test beim Umsetzen wurde als gültig gewertet, wenn sich die Hantel in der Endposition im Front Rack befindet, auf den Schultern aufliegt und von den Händen umschlossen wird. Zudem mussten ein aufrechter Stand und eine gestreckte Hüfte klar ersichtlich sein. Die Bewegungsqualität beim Umsetzen wurde sagittal, vom Abheben der Stange bis zur vollständigen Hüftstreckung und Position der Stange im Front Rack anhand des vertikalen Weges der Langhantel mittels KINOVEA® beobachtet. Hierbei wurde der sagittale Marker an der Langhantel im Laufe der Bewegung verfolgt und eine Kurve des Hantelweges erstellt, wie in der nebenstehenden *Abbildung 5* ersichtlich. Dieser Parameter wurde für die Analyse aufgrund schlechter Vergleichbarkeit jedoch verworfen. In der frontalen Position wurde das Umsetzen anhand des Kniewinkels bzw. Hüftabduktionswinkels geprüft. Hierbei wurde zwischen den drei reflektierenden Markern mittels KINOVEA® ein Winkel gesetzt. Anschließend wurde das Umsetzen in fünf Phasen geteilt, welche in den untenstehenden Abbildungen ersichtlich sind.



Abbildung 5: Hantelweg beim Umsetzen



Abbildung 6: Umsetzen Phase 1 (Abheben der Stange)



Abbildung 7: Umsetzen Phase 2 (Stange knapp unter der Patella)

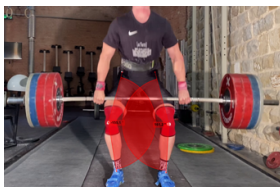


Abbildung 8: Umsetzen Phase 3 (Stange über der Patella)



Abbildung 9: Umsetzen Phase 4 (höchster Punkt der Ellbogen und der Stange vor dem Untersetzen)

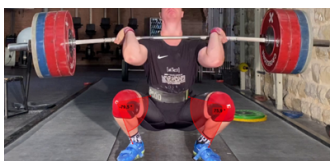


Abbildung 10: Umsetzen Phase 5 (Auffangen der Stange)

Neben der Winkelmessung, wurde auch die Gesamtbewegungszeit beim Umsetzen sowie der zweiten Zugphase beim Umsetzen analysiert. Die zweite Zugphase wurde ab jenem Punkt gemessen, an welchem sich die Langhantel auf Höhe des unteren Randes der Patella befand, bis hin zum höchsten Punkt der Stange vor dem Untersetzen. Dies ist in Abbildung 7, Abbildung 8 und Abbildung 9 zu sehen. Bei der Gesamtbewegungszeit wurde die Zeit von Abheben der Langhantel vom Boden bis zu einer vollen Hüftstreckung nach dem Umsetzen, wie in *Abbildung 5* sichtbar, gemessen. Bei der Zeit der zweiten Zugphase, wurde die Zeit von den Abbildungsphasen 2 bis 4 errechnet.

Um dem Bewegungsstandard des Workouts zu entsprechen, musste die Bewegung der Kniebeuge mit gestrecktem Knie und Hüfte, sowie den Kurzhanteln auf der Schulter beginnen, siehe Abbildung 11. Nicht alle Proband:innen zeigten in der Anfangsbewegung eine komplette Streckung von Knie und Hüfte, weshalb für die Analyse der größte Hüft- und Kniewinkel gemessen wurde. In der unteren Position der Kniebeuge, siehe Abbildung 12, musste sich der Hüftbeugepunkt unter den Knien befinden. In der oberen Position, wie in Abbildung 13 ersichtlich, musste der Knie- und Hüftwinkel erneut den größten Winkel messen. Die ersten und letzten drei Kniebeugen des Workouts wurden in die drei, oben beschriebenen, Positionen geteilt. Am Beginn der Bewegung mit voller Knie- und Hüftstreckung, an der untersten Position der Kniebeuge und am Ende der Bewegung mit erneuter Knie- und Hüftstreckung wurde jeweils der Kniewinkel bzw. Hüftabduktionswinkel gemessen. Die ersten drei Kniebeugen wurden in SPSS unter ABC und die letzten drei Kniebeugen und DEF bezeichnet und sind im Ergebnisteil auch so aufgelistet.



Abbildung 11: Kniebeuge Phase 1

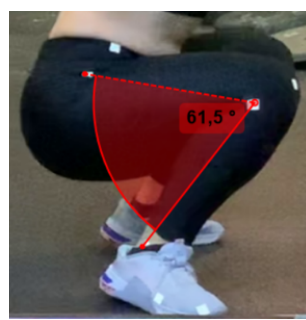


Abbildung 12: Kniebeuge Phase 2



Abbildung 13: Kniebeuge Phase 3

Die Burpees wurden aufgrund des limitierten Platzes nicht in Blickrichtung zur Langhantel, sondern lateral der Langhantel durchgeführt. Der Sprung

über die Langhantel musste mit beiden Beinen erfolgen und auch die Landung musste beidbeinig ausgeführt werden. Ein Steigen über die Langhantel war nicht erlaubt (CrossFit®, 2018). Der Oberkörper musste komplett am Boden abgelegt werden, um die Bewegung des Burpees als korrekt zu werten. Die Höhe der Langhantel, über welche gesprungen werden musste, wurde durch zwei 5-Kilogramm-Scheiben mit je 45 cm Gesamtdurchmesser auf einer Langhantel genormt.

2.6 Fragebogen

Der Fragebogen, welcher den Proband:innen am Beginn des ersten Testtermins zum Ausfüllen ausgeteilt wurde, bestand aus insgesamt zwei A4-Seiten und konnte ohne zeitliche Limitationen von den Teilnehmer:innen ausgefüllt werden. Zu Beginn wurden Fragen zur Person eingeholt, welche die Angabe von Alter, Größe, Gewicht und bisherige beziehungsweise aktuelle Verletzungen erforderte. Anschließend wurden insgesamt 18 Fragen, mit jeweils drei Antwortmöglichkeiten zum Ankreuzen, gestellt. Weiters beinhaltete der Fragebogen fünf offene Fragen, welche Großteiles mehr Informationen und Argumente für die Antwortwahl einholen sollten. Zu Beginn der Single-Choice-Fragen sollte ein Überblick über die sportliche Erfahrung und Definition der befragten Personen geschaffen werden. Die sportliche Definition und Einschätzung der eigenen Person, Erfahrung im CrossFit®, Trainingshäufigkeit pro Tag und Woche, Trainingsablauf, Selbsteinschätzung des Leistungsniveaus im CrossFit® sowie die Angabe der größten Schwäche und Begründung hierfür wurden erfragt.

Auf der zweiten Seite des Fragebogens wurde der Fokus stärker auf die Bewegungsqualität im CrossFit® gelegt. Hierbei wurde die persönliche Einschätzung zur Wichtigkeit von Bewegungsqualität im Zuge von Workouts, Kräftigung, Gewichtheben und Ausdauertraining eingeholt. Anschließend wurde erfragt, inwiefern und inwieweit Trainer:innen im CrossFit®-Setting eine Rolle bei der Kontrolle der Bewegungsqualität haben würden. Schlussendlich sollten die Proband:innen noch Aussagen darüber treffen, ob es einen Zusammenhang zwischen Verletzungen, dem Ermüdungszustand und fehlender Bewegungsqualität geben würde. Hierzu wurde erfragt, inwieweit die Erfahrung mit Verletzungen, ausgelöst durch fehlende Bewegungsqualität, sei. Im Kapitel Fragebogen findet sich der

verwendete Fragebogen wieder, die Ergebnisse des Fragebogens sind in Kapitel 3.5 nachzulesen.

2.7 Statistische Analyse

Im Zuge der Analyse des Umsetzens wurden für die Parameter des Knie- und Hüftwinkels nur die frontal aufgenommenen Videos, für die Berechnung der Gesamtdauer beim Umsetzen die sagittal aufgenommenen Videos verwendet. Für die Parameter der Kniebeugen im Workout wurden nur die sagittal aufgenommenen Videos der Proband:innen analysiert. Bei der Analyse der 1-RM-Versuche des Umsetzens am ersten und zweiten Testtermin wurden die Knie- und Hüftabduktionswinkel in den beschriebenen fünf Phasen, sowie die Gesamtbewegungszeit und Bewegungszeit der zweiten Phase geprüft und miteinander verglichen. Bei der Analyse des Workouts lag der Fokus primär auf den Kniebeugen und den hierbei erreichten Knie- bzw. Hüftabduktionswinkeln sowie dem Bewegungstempo. Bei der Datenauswertung wurden die Winkel sowie das Bewegungstempo der ersten drei mit den letzten drei Kniebeugen der Proband:innen analysiert und verglichen. Die Untersuchung und Bearbeitung der beschriebenen Parameter in den aufgenommenen Videos, erfolgte bei beiden Bewegungen mithilfe der Software KINOVEA®.

2.7.1 Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung wurde mit IBM SPSS Statistics durchgeführt. Sofern nicht anders angegeben, wurde das Signifikanzniveau auf $\alpha = 0,05$ festgelegt und alle Hypothesentests zweiseitig durchgeführt. Deskriptive Kennwerte werden im Ergebnisteil als Mittelwert (*M*), Standardabweichung (*SD*), Median, Minimum/Maximum sowie als 95%-Konfidenzintervalle angegeben. Da die Anzahl gültiger Messwerte aufgrund von Dropouts je nach Variable variieren konnte, wurden die Analysen jeweils mit den pro Variable verfügbaren gültigen Fällen durchgeführt. Die jeweilige Stichprobengröße wird in den Ergebnisabschnitten näher ausgewiesen.

2.7.2 Datenaufbereitung und Gruppenbildung

Die Einteilung in Leistungsgruppen erfolgte, wie in Kapitel 2.3 und 2.6 ausführlich erläutert, anhand der Selbstauskunft zur CrossFit®-Erfahrung im Fragebogen. Die Gesamtstichprobe wurde in zwei Teile gruppiert.

Personen mit weniger als 3 Jahren Erfahrung im CrossFit® wurden der Kategorie der Anfänger:innen, Teilnehmer:innen mit ≥ 3 Jahre Erfahrung im CrossFit® der Kategorie der Fortgeschrittenen zugeteilt. Für mehrere Analysen wurden zusätzlich Differenzvariablen gebildet, um Veränderungswerte abzubilden, und im Stile der SPSS-Variablen ausgeschrieben (z. B. *Diff_T2_minus_T1*, *Diff_Zugphase_Dauer*). Für Bewegungsparameter wurden, abhängig von der Fragestellung, Mittelwerte über definierte Wiederholungsbereiche gebildet. Ein Beispiel hierfür sind die Variablen *Mean_ABC_Dauer* versus *Mean_DEF_Dauer*, welche die durchschnittliche Dauer der ersten im Vergleich zu den letzten drei Wiederholungen der Kniebeugen vergleichen.

2.7.3 Prüfung statistischer Voraussetzungen

Vor parametrischen inferenzstatistischen Analysen wurden bei Erfordernis zentrale Voraussetzungen geprüft. Die Normalverteilung wurde mittels Shapiro–Wilk-Test untersucht, wobei die Kinematikvariablen getrennt nach Gruppe und Messzeitpunkt geprüft wurden. Die Varianzhomogenität wurde mithilfe eines Levene-Tests bei Gruppenvergleichen und bei Mixed-ANOVA als Test auf Gleichheit der Fehlervarianzen geprüft. Bei Analysen mit einem Innersubjektfaktor mit zwei Stufen (z. B. T1 vs. T2) war die Annahme der Sphärizität definitionsgemäß erfüllt ($\epsilon = 1,00$), wodurch weiterfolgende Korrekturen nicht erforderlich waren.

2.7.4 Gemischte Varianzanalysen (Mixed ANOVA)

Eine gemischte Varianzanalyse wurde zur Analyse von Veränderungen über zwei Messzeitpunkte beziehungsweise Zustände und zur Prüfung gruppenspezifischer Unterschiede durchgeführt. Diese bestand aus einem Innersubjektfaktor (z. B. Zeit/Messzeitpunkt in Form von T1 vs. T2) und einem Zwischensubjektfaktor (z. B. Leistungsniveau in Form von Anfänger:innen vs. Fortgeschrittenen). Dokumentiert wurden die Haupteffekte (Zeit und Gruppe) sowie die Interaktion Zeit $\times$ Gruppe. Die Effektgröße wurde in Form des partiellen Eta-Quadrat (ηp^2) angegeben. Bei signifikanten Interaktionseffekten erfolgte eine weitere Aufschlüsselung über geschätzte Randmittel und paarweise Vergleiche. Zur Kontrolle multipler Vergleiche wurde eine Bonferroni-Korrektur angewendet.

2.7.5 Gruppenvergleiche mittels t-Test

Für reine Gruppenvergleiche von metrischen Variablen wurden t-Tests für unabhängige Stichproben durchgeführt. Die Varianzhomogenität wurde mittel dem Levene-Tests geprüft und als Effektgrößen Cohen's d mit einem Konfidenzintervall von 95% angegeben.

2.7.6 Direktvergleich mehrerer Veränderungswerte und Korrektur multipler Tests

Um gruppenspezifische Unterschiede in mehreren Veränderungsvariablen zu prüfen, wurden separate t-Tests für unabhängige Stichproben durchgeführt. Um die α -Fehler bei mehreren parallelen Tests zu reduzieren, wurde eine Bonferroni-Korrektur verwendet. Bei drei unabhängigen Gruppenvergleichen wurde das adjustierte Signifikanzniveau auf $\alpha_{adj} = 0,017$ festgelegt.

2.7.7 Zusammenhangsanalysen: Korrelation und lineare Regression

Zur Untersuchung des Zusammenhangs zwischen der Workoutzeit, als Maß der Ermüdung, und der Leistungsänderung (Differenz der 1-RM-Umsetzleistung zwischen T2 und T1) wurde eine Pearson-Korrelationsanalyse durchgeführt. Zusätzlich wurde eine lineare Regressionsanalyse berechnet, um zu prüfen, ob die Workoutzeit als Prädiktor für die Veränderung der 1-RM-Umsetzleistung geeignet ist. Zur besseren Veranschaulichung wurde der Zusammenhang als Streudiagramm mit linearer Regressionsgerade visualisiert.

2.7.8 Nichtparametrische Analysen der Fragebogendaten

Für Gruppenvergleiche ordinalskaliertter Fragebogendaten wurde der Mann-Whitney-U-Test eingesetzt und der U-Wert sowie der zugehörige p-Wert abgebildet.

3 Ergebnisse

3.1 Stichprobenbeschreibung

Die Stichprobe beinhaltete insgesamt $N = 25$ Personen. Unter der Gesamtzahl der Proband:innen gab es 14 männliche (56 %) und 11 weibliche Teilnehmer:innen (44 %). Davon wurden $N = 12$ Proband:innen der Gruppe der Anfänger:innen und $N = 13$ Proband:innen der Gruppe der Fortgeschrittenen zugeordnet. Die Aufteilung erfolgte anhand der Selbstausskunft im Fragebogen entsprechend ihrer zeitlichen Erfahrung im CrossFit®, nach weniger und mehr als drei Jahren, in zwei Leistungsniveaus.

Tabelle 1: Deskriptive Statistik Stichprobenbeschreibung aller Teilnehmer:innen

	Alter (Jahre)	Größe (cm)	Gewicht (kg)
Gültig	25	25	25
Mittelwert (arithmetisch)	31.24	174.8	79.39
Standardabweichung	6.540	9.174	14.11
Minimum	22.00	157.0	55.00
Maximum	46.00	198.0	111.0

Im Durchschnitt waren die teilnehmenden Personen der Studie, wie in Tabelle 1 ersichtlich, $M = 31,24$ Jahre alt ($SD = 6,54$), mit einer durchschnittlichen Größe von 174,80 cm und einem Gewicht 79,38 kg. Das Alter der Anfänger:innen betrug $M = 30,17$ Jahre ($SD = 7,65$), mit einem Wertebereich von 22 bis 46 Jahren. Der Median lag bei 28,50 Jahren. Die fortgeschrittenen Proband:innen wiesen ein durchschnittliches Alter von $M = 32,23$ Jahren ($SD = 5,45$) auf, bei einem Wertebereich von 25 bis 43 Jahren und einem Median von 31,00 Jahren. Die mittlere Körpergröße der Anfänger:innen betrug $M = 176,17$ cm ($SD = 10,08$), mit einer kleinsten Körpergröße von 161 cm und einer größten Körpergröße von 198 cm. Der Median lag bei 176,50 cm. Für die Fortgeschrittenen ergab sich eine durchschnittliche Körpergröße von $M = 173,54$ cm ($SD = 8,46$), mit Werten zwischen 157 cm und 183 cm sowie einem Median von 178,00 cm. Das mittlere Körpergewicht der Anfänger:innen lag bei $M = 79,96$ kg ($SD = 11,71$), mit einer Spannweite von 56,00 kg bis 97,00 kg. Der Median betrug 81,00 kg. Die Fortgeschrittenen wiesen ein durchschnittliches

Körpergewicht von $M = 78,86$ kg ($SD = 16,49$) auf. Die Spannweite reichte von 55,00 kg bis 111,00 kg, der Median lag bei 78,00 kg.

3.2 Leistungsparameter unter Ermüdung

3.3 1-RM Umsetzen

3.3.1 1-RM Umsetzen vor vs. nach dem Workout in Abhängigkeit vom Leistungsniveau

Die Anfänger:innen erzielten im erholten Zustand (T1) ein durchschnittliches 1-RM-Umsetzgewicht von $M = 68,29$ kg ($SD = 15,71$), die Werte reichten von 45 kg bis 90 kg. Die fortgeschrittenen Proband:innen erreichten im erholten Zustand mit einem Mittelwert von $M = 94,08$ kg ($SD = 32,90$) und einer Spannweite von 50 kg bis 173 kg, einen höheren Wert beim Umsetzen als die Anfänger:innen. Damit zeigten Fortgeschrittene beim ersten Testtermin T1 ein deutlich höheres Kraftniveau. Nach dem Workout (T2) lag der Mittelwert der Anfänger:innen bei $M = 69,29$ kg ($SD = 17,60$), während die Fortgeschrittenen im Mittel $M = 87,67$ kg ($SD = 29,25$) erreichten. Anfänger:innen zeigten hiermit im deskriptiven Vergleich von T1 ($M = 68,29$ kg, $SD = 15,71$) zu T2 ($M = 69,29$ kg; $SD = 17,60$) eine leichte Leistungssteigerung, bei den Fortgeschrittenen nahm die 1-RM-Leistung von T1 ($M = 94,08$ kg; $SD = 32,90$) zu T2 ($M = 87,67$ kg; $SD = 29,25$) ab, was in der untenstehenden Grafik ersichtlich ist.

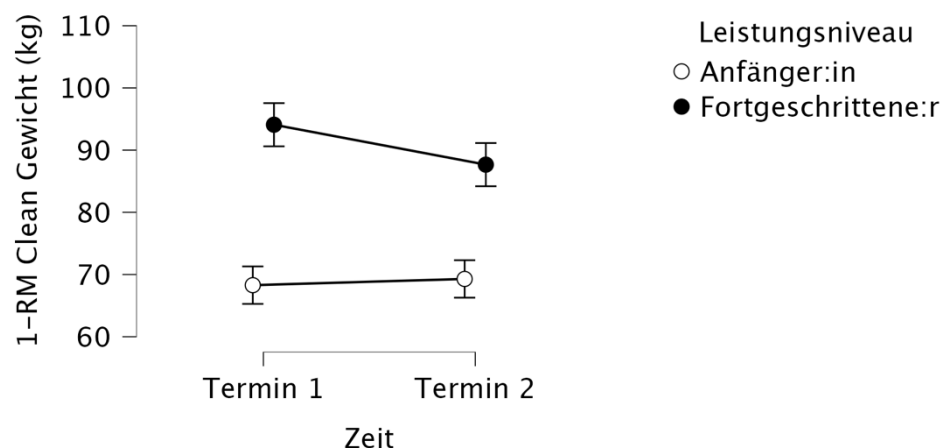


Abbildung 14: 1-RM Umsetzleistung nach Leistungsniveau vergleich Anfänger:innen und Fortgeschrittene

Zur Untersuchung der Veränderung der 1-RM-Umsetzleistung wurde eine gemischte Varianzanalyse mit dem Innersubjektfaktor Zeit (T1 vs. T2) und dem Zwischensubjektfaktor Gruppe (Anfänger:innen vs. Fortgeschrittene)

durchgeführt. Die Varianzhomogenität zwischen den Gruppen wurde dabei mit dem Levene-Test überprüft.

Die Normalverteilung der 1-RM-Umsetzwerte anhand eines Shapiro-Wilk-Tests durchgesehen. Die Ergebnisse ergaben keine signifikanten Abweichungen von der Normalverteilung für beide Gruppen zu beiden Messzeitpunkten, da p , wie in der Tabelle 2 erkennbar, größer als 0,05 ist.

Tabelle 2: 1-RM Clean Termin 1 und 2 Normalverteilungsprüfung mittels Shapiro-Wilk Test

	1-RM Clean Termin 1 (kg)		1-RM Clean Termin 2 (kg)	
	Anfänger:in	Fortgeschrittene:r	Anfänger:in	Fortgeschrittene:r
Gültig	12	13	12	12
Fehlend	0	0	0	1
Mittelwert (arithmetisch)	68.29	90.69	69.29	87.67
Standardabweichung	15.71	33.79	17.60	29.25
Shapiro-Wilk	0.871	0.907	0.937	0.963
P-Wert Shapiro-Wilk	.067	.169	.462	.820
Minimum	45.00	50.00	45.00	42.50
Maximum	90.00	173.0	95.00	150.0

Anschließend wurde eine gemischte Varianzanalyse durchgeführt. Bei der Auswertung dieser zeigte die Zeit mit $F(1, 22) = 3,36$; $p = 0,080$ und $\eta p^2 = 0,133$ keinen signifikanten Haupteffekt. Diese Ergebnisse deutet darauf hin, dass sich die 1-RM-Leistung von T1 zu T2 über beide Gruppen hinweg nicht signifikant veränderte. Es zeigte sich jedoch eine signifikante Zeit $\times$ Gruppe-Interaktion mit $F(1, 22) = 6,31$; $p = 0,020$; $\eta p^2 = 0,223$. Dies lässt davon ausgehen, dass sich die Veränderung der 1-RM-Umsetzleistung zwischen Anfänger:innen und Fortgeschrittenen in signifikantem Ausmaß unterschied. Zusätzlich erwies sich ein signifikanter Haupteffekt der Gruppe, $F(1, 22) = 4,79$; $p = 0,039$; $\eta p^2 = 0,179$, wobei Fortgeschrittene über beide Zeitpunkte hinweg höhere 1-RM-Werte aufwiesen als Anfänger:innen.

3.3.2 Gruppenvergleich der Differenzwerte der 1-RM-Umsetzleistung (T2-T1)

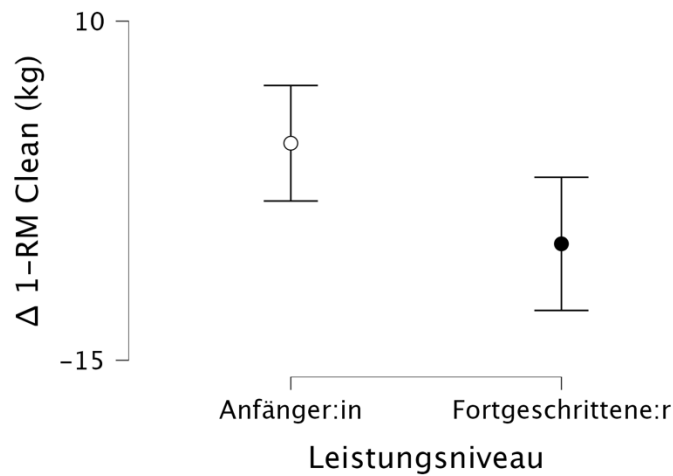


Abbildung 15: 1-RM Clean Differenz nach Leistungsniveau

Zur Analyse der Veränderung der 1-RM-Umsetzleistung zwischen T1 (erholt) und T2 (nach Ermüdung) wurde zunächst die Differenzvariable Δ 1-RM Clean (kg) zwischen Anfänger:innen und Fortgeschrittenen betrachtet. Die Varianzhomogenität wurde mittels eines Levene-Tests überprüft, welcher mit $F(1, 22) = 0,31$ und $p = 0,584$ kein signifikantes Ergebnis ergab, sodass von gleichen Varianzen ausgegangen werden konnte. Der anschließende t-Test für unabhängige Stichproben zeigte einen signifikanten Unterschied der Differenzwerte zwischen der Leistungsgruppe der Anfänger:innen und der Fortgeschrittenen, $t(22) = 2,51$; $p = 0,020$ (zweiseitig). Die mittlere Differenz zwischen den Gruppen betrug 7,42 kg, mit einem 95%-Konfidenzintervall von [1,29 kg; 13,54 kg], wie in der folgenden Tabelle 3 zu sehen ist.

Tabelle 3: t-Test für unabhängige Stichproben bei der Differenz der 1-RM-Werte

	t	df	p	Cohens d	Std.-Fehler Cohens d	95% KI für Cohens d	
						Untergrenze	Obergrenze
Δ 1-RM Clean (kg)	2.511	22	.020	1.025	0.459	0.160	1.870

Hinweis: Students T-Test.

Als Maß der Effektgröße ergab sich für Cohen's d ein Wert von $d = 1,03$ mit einem 95%-Konfidenzintervall von [0,16; 1,87]. Für Hedges' g resultierte ein Wert von $g = 0,99$ mit einem 95 %-Konfidenzintervall von [0,16; 1,81], was auf einen großen Effekt hinweist.

Ergänzend zu diesem Vergleich der Differenzwerte wurden, im Anschluss an die gemischte Varianzanalyse, Post-hoc-Analysen auf Basis der

geschätzten Randmittel mit Bonferroni-Korrektur durchgeführt. Für die Gruppe der Anfänger:innen zeigte sich kein signifikanter Unterschied der 1-RM-Umsetzleistung zwischen T1 und T2 ($p = 0,637$). Dagegen ergab sich für die Fortgeschrittenen eine signifikante Veränderung der 1-RM-Leistung zwischen den beiden Messzeitpunkten ($p = 0,006$). Des Weiteren wurden Gruppenvergleiche zu den jeweiligen Messzeitpunkten durchgeführt. Zum Zeitpunkt T1 dokumentierten die fortgeschrittenen Proband:innen signifikant höhere 1-RM-Werte als die Anfänger:innen ($p = 0,023$) auf. Zum Zeitpunkt T2 bewahrheitete sich demgegenüber kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen ($p = 0,076$). Die Ergebnisse der Post-hoc-Analysen geben somit Aufschluss darauf, dass die signifikante Interaktion zwischen Zeit und Leistungsniveau insbesondere auf Veränderungen innerhalb der Gruppe der Fortgeschrittenen zurückzuführen ist. Währenddessen erwies sich bei den Anfänger:innen keine signifikante Veränderung der 1-RM-Umsetzleistung zwischen den Messzeitpunkten.

3.3.3 Dauer der Zugphase des Umsetzens vor vs. nach dem Workout in Abhängigkeit vom Leistungsniveau

Die deskriptiven Kennwerte der Dauer der Zugphase des Umsetzens in Sekunden sind in der untenstehenden Tabelle 4 dargestellt. Anfänger:innen wiesen zu T1 eine mittlere Zugphasendauer von $M = 0,519$ s ($SD = 0,070$; $N = 11$) und $M = 0,475$ s ($SD = 0,086$; $N = 11$) zu T2 auf. Fortgeschrittene wiesen im erholten Zustand eine mittlere Zugphasendauer von $M = 0,522$ s ($SD = 0,052$; $n = 12$) und nach Ermüdung von $M = 0,518$ s ($SD = 0,056$; $N = 12$) auf.

Tabelle 4: Deskriptive Statistik 1-RM Clean Zugphase Dauer Termin 1 vs. Termin 2

Deskriptive Statistiken

Zeit	Leistungsniveau	N	Mittelwert	SD	Standardfehler	Variationskoeffizient
Termin 1	Anfänger:in	11	0.519	0.070	0.021	0.134
	Fortgeschrittene:r	12	0.522	0.052	0.015	0.099
Termin 2	Anfänger:in	11	0.475	0.086	0.026	0.182
	Fortgeschrittene:r	12	0.518	0.056	0.016	0.109

Bei den Anfänger:innen zeigte sich eine leichte Verkürzung der Zugphase, während die Fortgeschrittenen stärkere interindividuelle Schwankungen aufwiesen. Diese Ergebnisse lassen sich grafisch in Abbildung 16 erkennen. Die Mittelwerte der Gruppen deuten jedoch bereits auf potenzielle Unterschiede im Umgang mit Ermüdung hin.

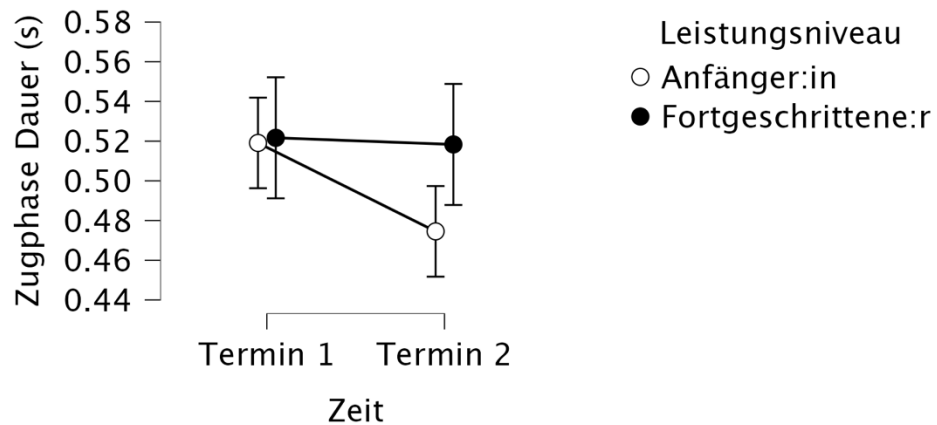


Abbildung 16: 1-RM Clean Zugphase T1 vs. T2 nach Leistungsniveau

Zur Analyse der Dauer der Zugphase des Umsetzens wurde eine gemischte Varianzanalyse mit dem Innersubjektfaktor Zeit (T1 vs. T2) und dem Zwischensubjektfaktor Leistungsniveau (Anfänger:innen vs. Fortgeschrittene) durchgeführt. Die gemischte Varianzanalyse zeichnete keinen signifikanten Haupteffekt der Zeit auf, $F(1, 21) = 3,75$; $p = 0,066$, $\eta^2 = 0,151$. Ebenso zeigte sich kein signifikanter Haupteffekt des Leistungsniveaus, $F(1, 21) = 0,86$; $p = 0,364$; $\eta^2 = 0,039$. Darüber hinaus war die Interaktion zwischen Zeit und Leistungsniveau nicht signifikant, $F(1, 21) = 2,78$; $p = 0,111$; $\eta^2 = 0,117$. Die Varianzhomogenität zwischen den Gruppen wurde mithilfe eines Levene-Tests untersucht. Für die Zugphasendauer zu T1 ergab sich kein signifikanter Unterschied der Fehlervarianzen ($p = 0,311$). Für T2 zeigte der Levene-Test auf Basis des Mittelwerts eine signifikante Varianzheterogenität ($p = 0,020$). Zusammenfassend ergab die Analyse der Dauer der Zugphase des Umsetzens weder einen signifikanten zeitlichen Effekt zwischen T1 und T2 noch signifikante Unterschiede zwischen Anfänger:innen und Fortgeschrittenen. Ebenso wurde keine signifikante Interaktion zwischen Zeit und Leistungsniveau festgestellt.

3.4 Workout

3.4.1 Workoutzeit nach Leistungsgruppen

Die Workoutzeit als Maß der Ermüdung wurde zunächst deskriptiv getrennt nach Leistungsniveau dargestellt. Für die Gruppe der Anfänger:innen lagen Daten von $N = 12$ Personen vor. Die mittlere Workoutzeit betrug $M = 649,08$ s ($SD = 175,21$), der Median lag bei 656,50 s. Die beobachteten Werte reichten von einem Minimum von 426 s (7,1 min) bis hin zu einem

Maximum von 1056 s (17,6 min). Das 95%-Konfidenzintervall des Mittelwerts lag zwischen 537,76 s und 760,40 s. In der Gruppe der fortgeschrittenen Proband:innen lagen ebenfalls Daten von $N = 12$ Personen vor. Die mittlere Workoutzeit betrug $M = 510,50$ s ($SD = 172,39$), der Median lag bei 489,00 s. Die gemessenen Werte reichten von 342 s (5,7 min) bis 954 s (15,9 min). Daraus ergab sich eine Spannweite von 612 s. Das 95%-Konfidenzintervall des Mittelwerts lag zwischen 400,97 s und 620,03 s. Der Vergleich der Workoutzeit zwischen beiden Leistungsgruppen ist im folgenden Boxplot erkennbar und weist auf eine längere durchschnittliche Workoutzeit in der Gruppe der Anfänger:innen hin. Die mittlere Differenz zwischen den Gruppen betrug 138,58 Sekunden.

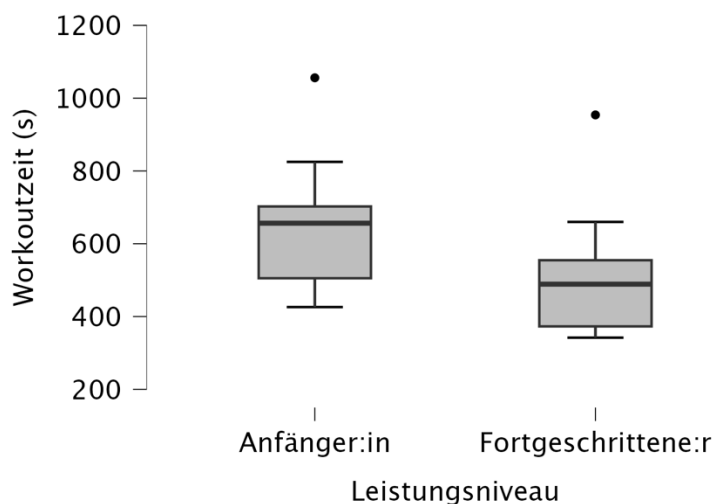


Abbildung 17: Vergleich Workoutzeit (s) nach Leistungsniveau

Zur Prüfung möglicher Gruppenunterschiede in der Workoutzeit wurde ein t -Test für unabhängige Stichproben durchgeführt, dessen Ergebnisse in Tabelle 5 abgebildet sind.

Tabelle 5: t -Test für unabhängige Stichproben bei der Workoutzeit (s)

	t	df	p	Cohens d	Std.-Fehler Cohens d	95% KI für Cohens d	
						Untergrenze	Obergrenze
Workoutzeit (s)	1.953	22	.064	0.797	0.439	-0.045	1.623

Hinweis. Students T-Test.

Der Levene-Test ergab mit $F(1, 22) = 0,02$ und $p = 0,902$ keine Hinweise auf eine Verletzung der Varianzhomogenität, sodass die Ergebnisse unter der Annahme gleicher Varianzen berichtet werden konnten. Der t -Test zeigte in den Ergebnissen keinen statistisch signifikanten Unterschied zwischen Anfänger:innen und Fortgeschrittenen auf ($t(22) = 1,95$; $p = 0,064$). Als Maß der Effektgröße wurde Cohen's d berechnet. Dabei ergab

sich ein Effekt von $d = 0,80$ mit einem 95%-Konfidenzintervall von $[-0,05; 1,62]$. Insgesamt ergab der Gruppenvergleich der Workoutzeit keinen statistisch signifikanten Unterschied zwischen Anfänger:innen und Fortgeschrittenen.

3.4.2 Zusammenhang zwischen Workoutzeit und Veränderung der 1-RM-Umsetzleistung

Zur Untersuchung eines möglichen Zusammenhangs zwischen der Dauer des Workouts als Maß der Ermüdung und der Veränderung der 1-RM-Leistung im Umsetzen wurde zunächst eine Pearson-Korrelationsanalyse durchgeführt. Dabei zeigte sich ein schwacher positiver Zusammenhang zwischen der Workoutzeit und der Veränderung der 1-RM-Leistung mit $r = 0,26$. Dieser Zusammenhang war statistisch jedoch nicht signifikant ($p = 0,212$; $N = 24$). Ergänzend wurde eine lineare Regressionsanalyse erstellt, um zu prüfen, ob die Workoutzeit als Prädiktor für die Veränderung der 1-RM-Umsetzleistung geeignet sei. Das Regressionsmodell erklärte 7,0 % der Varianz der Leistungsänderung ($R^2 = 0,070$; korrigiertes $R^2 = 0,027$).

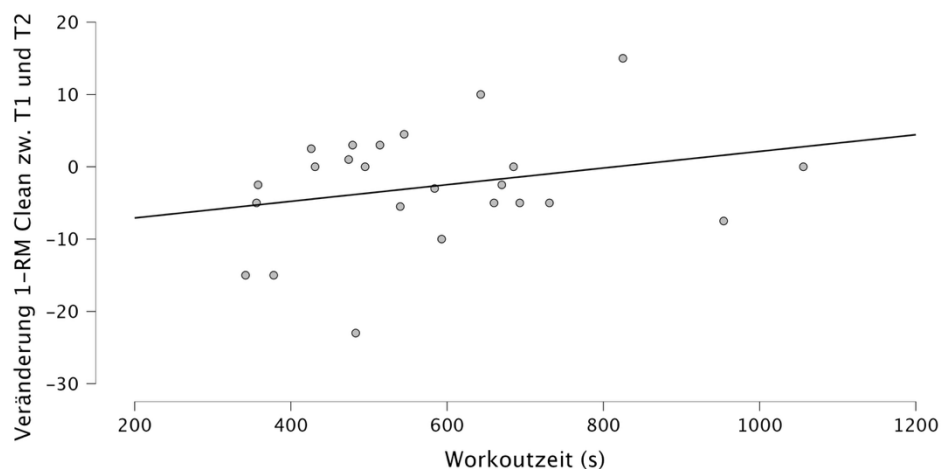


Abbildung 18: Zusammenhang zwischen Workoutzeit und Veränderung der 1-RM-Umsetzleistung zwischen T1 und T2

Der Gesamtzusammenhang war mit $F(1, 22) = 1,65$ und $p = 0,212$ jedoch statistisch nicht signifikant. Ebenso erwies sich die Workoutzeit nicht als signifikanter Prädiktor der Veränderung der 1-RM-Leistung. Der nicht standardisierte Regressionskoeffizient betrug $B = 0,012$ ($SE = 0,009$), während der standardisierte Koeffizient bei $\beta = 0,264$ lag. Der Effekt erreichte keine statistische Signifikanz ($t(22) = 1,28$; $p = ,212$). Die Beziehung zwischen der Workoutzeit und der Veränderung der 1-RM-Leistung ist in Abbildung 18 dargestellt. Dieses Streudiagramm mit linearer

Regressionsgerade verdeutlicht die ausgeprägte Streuung der Einzelwerte sowie den insgesamt schwachen linearen Zusammenhang zwischen beiden Variablen.

3.4.3 Bewegungsqualität – Winkelparameter

Zur Analyse möglicher Veränderungen der Bewegungsqualität im Verlauf des Workouts wurden die unteren Squat-Winkel der ersten drei Kniebeugen und der letzten drei Kniebeugen erfasst und getrennt nach Leistungsniveau ausgewertet.

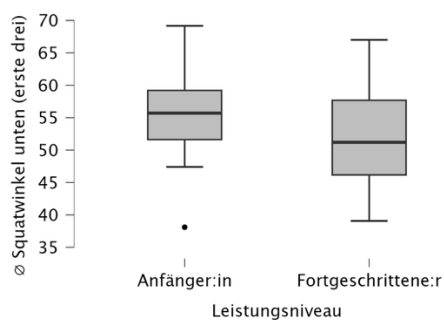


Abbildung 19: Durchschnittlicher unterer Squatwinkel der ersten drei Squats (°) nach Leistungsniveau

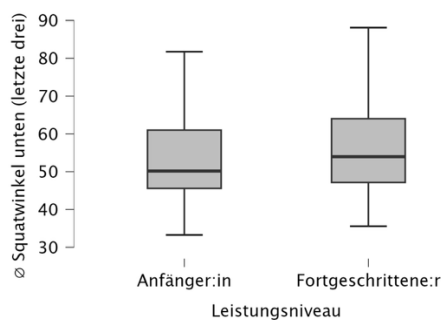


Abbildung 20: Durchschnittlicher Squatwinkel der letzten drei Squats (°) nach Leistungsniveau

In der Gruppe der Anfänger:innen ($N = 11$) betrug der mittlere untere Squat-Winkel zu Beginn des Workouts $M = 55,07^\circ$ ($SD = 8,28$) und am Ende des Workouts $M = 54,15^\circ$ ($SD = 14,17$), siehe Abbildung 19. In der Gruppe der Fortgeschrittenen ($N = 11$) lag der mittlere untere Squat-Winkel am Beginn bei $M = 52,29^\circ$ ($SD = 9,52$), und am Ende des Workouts bei $M = 56,90^\circ$ ($SD = 15,50$), siehe Abbildung 20. Über beide Gruppen hinweg ergaben sich Mittelwerte von $M = 53,68^\circ$ ($SD = 8,82$) für die ersten drei Squats und $M = 55,53^\circ$ ($SD = 14,56$) für die letzten drei Squats.

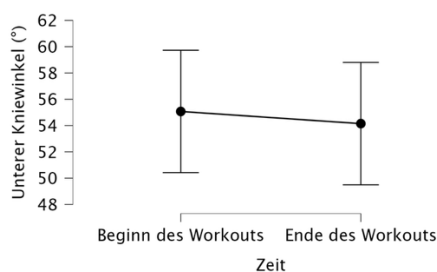


Abbildung 21: Vergleich unterer Squatwinkel (°) zwischen Termin 1 und 2 bei Anfänger:innen

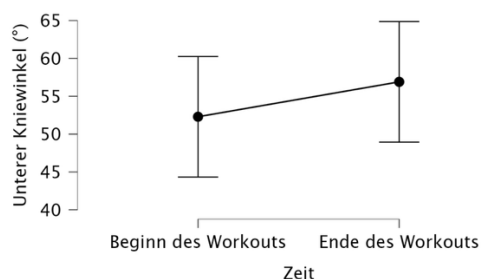


Abbildung 22: Vergleich unterer Squatwinkel (°) zwischen Termin 1 und 2 bei Fortgeschrittenen

Zur Prüfung der Effekte des Messzeitpunkts (Beginn vs. Ende des Workouts) und des Leistungsniveaus (Anfänger:innen vs. Fortgeschrittene)

auf den unteren Squat-Winkel wurde eine gemischte Varianzanalyse durchgeführt. Dabei wurde der Innersubjektfaktor Zeit, in Form von Beginn und Ende des Workouts, und der Zwischensubjektfaktor Leistungsniveau verwendet. Es zeigte sich kein signifikanter Haupteffekt des Messzeitpunkts, $F(1, 20) = 0,40$; $p = 0,536$; $\eta p^2 = 0,019$. Ebenso war der Zusammenhang zwischen Messzeitpunkt und Leistungsniveau nicht signifikant, $F(1, 20) = 0,90$; $p = 0,355$; $\eta p^2 = 0,043$. Der Haupteffekt des Leistungsniveaus auf die über beide Zeitpunkte gemittelten Winkelwerte war ebenfalls nicht signifikant, $F(1, 20) < 0,01$; $p = 0,998$; $\eta p^2 < 0,001$. Insgesamt ergaben sich somit weder signifikante Veränderungen des unteren Squat-Winkels vom Beginn bis zum Ende des Workouts noch signifikante Unterschiede zwischen Anfänger:innen und Fortgeschrittenen.

3.4.4 Direktvergleich der Veränderungswerte

Zur Prüfung gruppenspezifischer Unterschiede in den Veränderungswerten ausgewählter Bewegungsparameter wurden Differenzvariablen gebildet und zwischen Anfänger:innen und Fortgeschrittenen verglichen. Als abhängige Variablen dienten Δ 1-RM Clean Bewegungszeit (in Sekunden), Δ 1-RM Clean Zugphase Dauer (in Sekunden) und Δ Squat Dauer (in Sekunden), bei welcher die Differenz der Squatdauer der letzten drei Kniebeugen gegenüber den ersten drei Kniebeugen berechnet wurde.

Deskriptiv zeigte sich bei der Differenz der Bewegungszeit bei den Anfänger:innen ($N = 10$) ein Mittelwert von $M = -0,841$ ($SD = 1,127$) und bei Fortgeschrittenen ($N = 11$) ein Mittelwert von $M = -1,013$ ($SD = 1,091$).

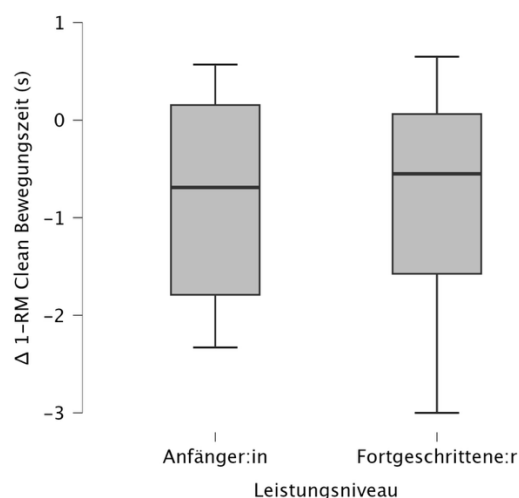


Abbildung 23: Differenz 1-RM Clean Bewegungszeit (s) nach Leistungsniveau

Für die Differenz der Zugphasendauer ergaben sich Mittelwerte von $M = -0,049$ ($SD = 0,048$) bei Anfänger:innen ($N = 10$) sowie $M = -0,001$ ($SD = 0,071$) bei Fortgeschrittenen ($N = 11$), siehe Abbildung 24.

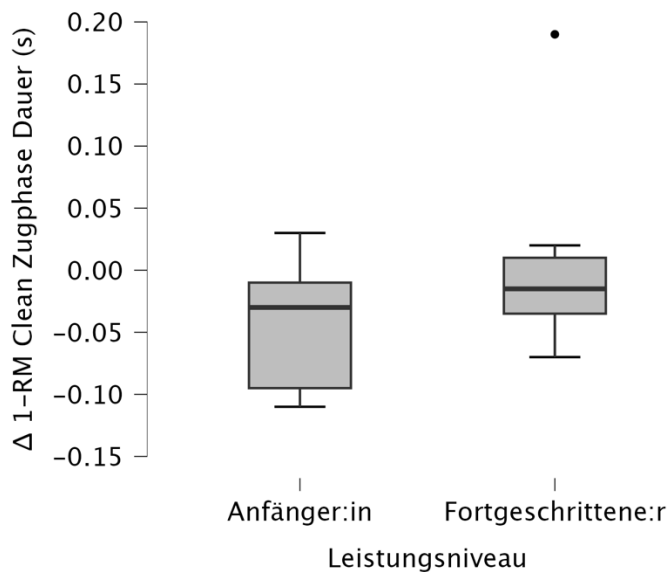


Abbildung 24: Differenz 1-RM Clean Zugphase (s) nach Leistungsniveau

Für die Differenz der Squatdauer zeigten Anfänger:innen ($N = 10$) einen Mittelwert von $M = 0,787$ ($SD = 0,599$), während Fortgeschrittene ($N = 11$) einen Mittelwert von $M = 0,392$ ($SD = 0,352$) aufwiesen, wie in Abbildung 25 sichtbar.

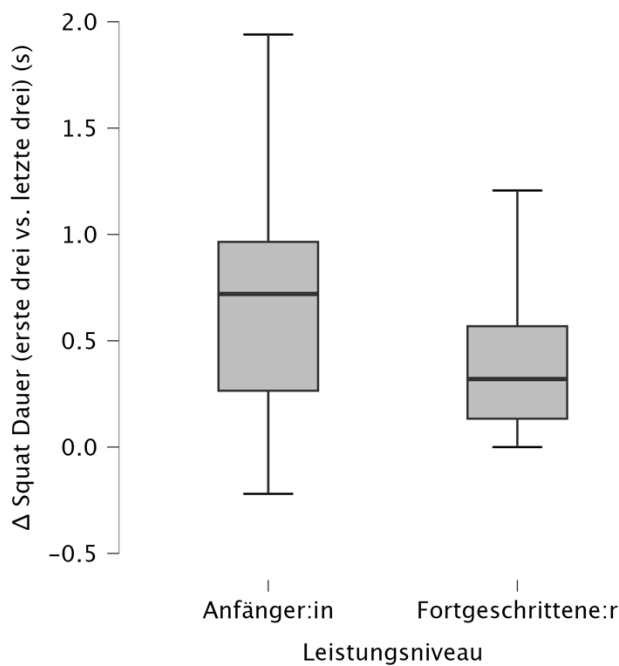


Abbildung 25: Differenz der Squatdauer zwischen den ersten drei und letzten drei Squats nach Leistungsniveau

Zur Prüfung der Inferenzstatistik wurden t-Tests für unabhängige Stichproben durchgeführt. Zur Kontrolle der α -Fehler-Inflation aufgrund multipler Tests wurde eine Bonferroni-Korrektur angewendet ($\alpha_{\text{adj}} = 0,017$). Die Varianzhomogenität war mit $p > 0,05$ bei allen Levene-Tests für alle drei Variablen gegeben, weshalb die Ergebnisse unter Annahme gleicher Varianzen berichtet werden. Für Δ 1-RM Clean Bewegungszeit (in Sekunden) zeigte sich kein signifikanter Gruppenunterschied ($t(19) = 0,355$; $p = 0,727$). Auch für Δ 1-RM Clean Zugphase Dauer (in Sekunden) erwies sich kein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen ($t(19) = -1,803$; $p = 0,087$). Ebenso ergab Δ Squat Dauer (in Sekunden) keinen signifikanten Gruppenunterschied ($t(19) = 1,859$; $p = 0,079$). Auch unter Berücksichtigung der Bonferroni-Korrektur konnten keine statistisch signifikanten gruppenspezifischen Unterschiede in den betrachteten Veränderungswerten bewiesen werden.

Als Effektgrößen ergaben sich für die Δ 1-RM Clean Bewegungszeit (in Sekunden) $d = 0,155$ für die Δ 1-RM Clean Zugphase Dauer (in Sekunden) $d = -0,788$ und für die Δ Squat Dauer (in Sekunden) $d = 0,812$.

3.5 Fragebogenergebnisse

Zur Ergänzung der statistischen Daten zur Leistungs- und Bewegungsqualität, wurde von den Proband:innen am ersten Testtag ein zweiseitiger Fragebogen ausgefüllt. Dieser sollte die subjektive Einschätzung der Teilnehmenden zu Bewegungsqualität, Ermüdung und Verletzungserfahrungen im CrossFit® erfassen. Insgesamt füllten alle 25 Personen den Fragebogen vollständig aus.

3.5.1 Bewegungsqualität

Die große Mehrheit der Teilnehmenden maß der Bewegungsqualität im CrossFit® eine sehr hohe Relevanz bei. 88 % ($N = 22$) der Proband:innen gaben an, dass Bewegungsqualität für sie *sehr wichtig* sei. Die restlichen 12 % ($N = 3$) bewerteten sie als *etwas wichtig*, wie im Balkendiagramm in Abbildung 26 ersichtlich. Ein Mann–Whitney-U-Test überprüfte, ob die Einschätzung der Wichtigkeit zwischen Anfänger:innen und Fortgeschrittenen differenzierte, wobei sich kein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen herausstellte ($U = 83,50$; $p = 0,595$). Die Wichtigkeit der Bewegungsqualität wurde somit gruppenunabhängig als hoch eingeschätzt.

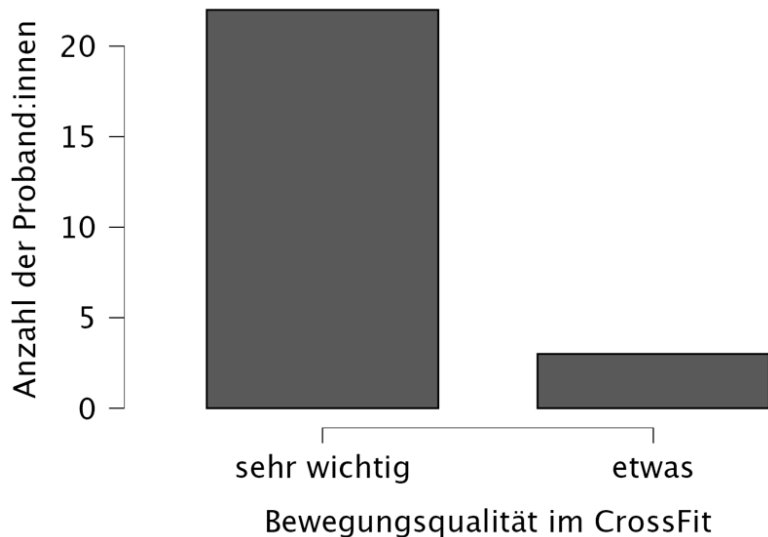


Abbildung 26: Fragebogenergebnis über Wichtigkeit der Bewegungsqualität im CrossFit® für Proband:innen

3.5.2 Wahrgenommene Kontrolle und technische Kompetenz

Alle der teilgenommenen Proband:innen (100 %) gaben an, bei der Bewegungsausführung eine *sehr starke Kontrolle* zu haben. Ebenso beurteilten 100 % ihre Qualität der Ausführung beim Gewichtheben als *sehr gut*. Hier zeigten sich keine Varianzen, sodass keine Gruppenvergleiche durchgeführt werden konnten.

3.5.3 Trainer:innen als Einflussfaktor

Die Beachtung der Bewegungsausführung durch Trainer:innen wurde von 92 % der Befragten als positiv eingeschätzt. Im Krafttraining gaben 88 % der Proband:innen an, dass ein:e Trainer:in auf ihre Bewegungsqualität achten würde. Im Ausdauertraining lag dieser Wert bei 96 %. Diese Ergebnisse können in der untersuchten Gruppe darauf schließen lassen, dass Trainer:innen eine wesentliche Rolle für Bewegungsqualität im CrossFit®, unabhängig vom Leistungsniveau, spielen.

3.5.4 Bewegungsqualität als Ursache für Verletzungen

Mehr als die Hälfte der Befragten (52 %) sah *mangelnde Bewegungsqualität als Ursache für Verletzungen* an. Jeweils 24 % stimmten nicht oder nur teilweise zu. Eigene Verletzungen aufgrund unsauberer Technik wurden seltener berichtet. 16 % der Teilnehmenden ($N = 4$) gaben an, sich bereits aufgrund schlechter Technik verletzt zu haben, 80 % verneinten dies.

3.5.5 Zusammenhang zwischen Ermüdung und Bewegungsqualität

Ein zentraler Aspekt des Fragebogens hinterfragte die Beziehung zwischen Ermüdung im Workout und der Qualität der Bewegungsausführung. 80 % ($N = 20$) der Proband:innen gaben an, dass Ermüdung für sie einen klaren Einfluss auf die Bewegungsqualität habe. 20 % ($N = 5$) stimmten der Aussage *etwas* zu, wie in der untenstehenden Abbildung 27 erkennbar ist. Eine gruppenübergreifende Prüfung mit dem Mann–Whitney-U-Test zeigte bei der Beantwortung der Frage keine Unterschiede zwischen Anfänger:innen und Fortgeschrittenen ($U = 95,50$; $p = 0,170$). Dies lässt darauf hindeuten, dass beide Leistungsgruppen in ähnlicher Weise davon der Meinung sind, dass Ermüdung die Qualität ihrer Bewegungen verringern würde.

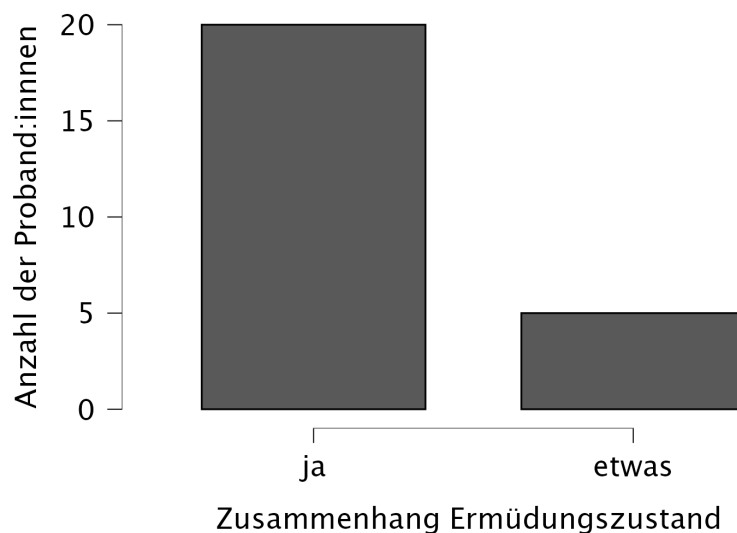


Abbildung 27: Fragebogenergebnis Zusammenhang zwischen Ermüdungszustand im Workout und Qualität der Bewegungsausführung

3.5.6 Verletzungen im ermüdeten Zustand

Auf die Frage hin, ob die Proband:innen bereits Verletzungen während eines Workouts im ermüdeten Zustand erlitten hatten, antworteten 12 % ($N = 3$) mit *ja*, 4 % ($N = 1$) mit *etwas* und 84 % ($N = 21$) mit *nein*.

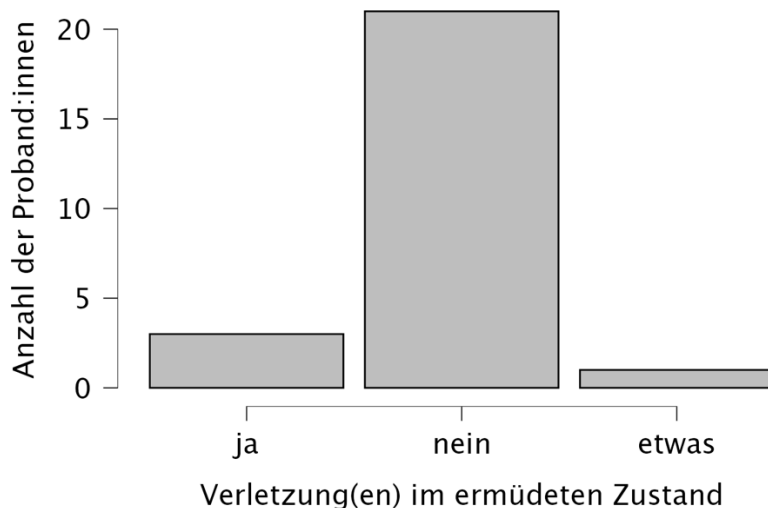


Abbildung 28: Fragebogenergebnis Erfahrung mit Verletzung(en) im ermüdeten Zustand

Die vorherige Frage zeigte eine starke Wahrnehmung der Verbindung zwischen Ermüdung und schlechterer Technik, das Erlebnis von Verletzungen im ermüdeten Zustand wurde von der befragten Proband:innengruppe aber nur sehr selten berichtet.

3.5.7 Zusammenfassung der Fragebogenergebnisse

Die Ergebnisse der Fragebogendaten zeigten, dass Bewegungsqualität bei den teilnehmenden Personen im CrossFit® als sehr relevanter Faktor angesehen wird, unabhängig vom Trainingsniveau. Außerdem ergab der Fragebogen, dass die Teilnehmenden sich selbst eine hohe Kontrollfähigkeit und technische Kompetenz zuschreiben würden. Zudem wurde die Rolle von Trainer:innen als entscheidender Einflussfaktor wahrgenommen. Mehr als die Hälfte der Proband:innen schätzte die Bewegungsqualität als wichtig für Verletzungsprävention ein. Vier von fünf Personen waren ergänzend der Meinung, dass Ermüdung die Bewegungsqualität beeinträchtigen würde. Ermüdungsbedingte Verletzungen wurden von den Teilnehmenden jedoch nur gering berichtet. Schlussendlich konnte festgestellt werden, dass es in den abgefragten Einschätzungen keine signifikanten Unterschiede zwischen Anfänger:innen und Fortgeschrittenen gab.

4 Diskussion

4.1 Ausgangspunkt der Diskussion

Die vorliegende Masterarbeit untersuchte, ob eine CrossFit®-typische Vorbelastung im Sinne eines Workouts der CrossFit® Open 2018 (CrossFit®, 2018) die 1-RM-Leistung beim Umsetzen sowie ausgewählte Parameter der Bewegungsqualität verändert und ob diese Effekte mit dem Leistungsniveau zusammenhängen. Die folgende Diskussion soll eine Interpretation der Ergebnisse entlang der Forschungsfragen formulieren und weiters die aufgestellten Hypothesen, unter Berücksichtigung der Messmethodik sowie des Pilotdesigns der Studie, prüfen.

4.2 Hypothese 1: Leistungsniveau moderiert die Veränderung der 1-RM-Leistung

Messbezogen zeigte die gemischte Varianzanalyse für die 1-RM-Leistung beim Umsetzen keinen signifikanten Haupteffekt der Zeit ($F(1, 22) = 3,36$; $p = 0,080$; $\eta p^2 = 0,133$), jedoch eine signifikante Zeit×Gruppe-Interaktion ($F(1, 22) = 6,31$; $p = 0,020$; $\eta p^2 = 0,223$) sowie einen signifikanten Haupteffekt der Gruppe ($F(1, 22) = 4,79$; $p = 0,039$; $\eta p^2 = 0,179$). Die Differenzwerte ($T_2 - T_1$) lagen bei den Anfänger:innen bei $M = 1,00$ kg ($SD = 6,70$; $N = 12$) und bei Fortgeschrittenen bei $M = -6,42$ kg ($SD = 7,73$; $N = 12$). Der Gruppenvergleich der Differenzwerte war signifikant ($t(22) = 2,51$; $p = 0,020$), mit einer mittleren Differenz von 7,42 kg (95%-KI [1,29; 13,54]) und einer großen Effektstärke (Cohen's $d = 1,03$, 95%-KI [0,16; 1,87]).

In der Hypothese 1 wurde angenommen, dass Fortgeschrittene im Vergleich zu Anfänger:innen eine geringere negative Veränderung der 1-RM-Leistung beim Umsetzen nach dem Workout zeigen würden. Diese Hypothese konnte durch die Daten nicht bestätigt werden. Es zeigte sich vielmehr eine signifikante Zeit×Gruppe-Interaktion, da sich Anfänger:innen im Mittel geringfügig verbesserten, während Fortgeschrittene eine Leistungsreduktion aufwiesen. Dieses Ergebnis kann durch den systematischen Review von Bakhshinejad et al. (2025) bestätigt werden, welcher 22 Studien zu erfahrenen Kraftsportler:innen zusammenfasst und die Effekte von Ermüdung und Intensität untersucht. Die Autor:innen beschreiben hierbei, dass eine durch Ermüdung reduzierte Geschwindigkeit und Leistung in Form einer Abnahme der

Hantelgeschwindigkeit und Leistung führen (Bakhshinejad et al., 2025). Dies unterstützt die Ergebnisse der Studie dahingehend, dass fortgeschrittenen Proband:innen nach dem Workout Einbußen in ihrer 1-RM-Umsetzleistung zeigten. Auch Antunes et al. (2022) stützen dieses Ergebnis. Sie wiesen nach, dass insbesondere spezifische Zugübungen sowie Kniebeugen die neuromuskuläre Leistungsfähigkeit stark einschätzen und hierdurch ein Abfall der Durchschnittsleistung und Spitzengeschwindigkeiten zu erwarten ist. So zeigten selbst erfahrene Athlet:innen bei gleicher relativer Intensität deutliche Ermüdungssignale in Form von Geschwindigkeitsverlust (Antunes et al., 2022).

Damit weist das Ergebnis auf ein leistungsniveauspezifisches Akutprofil hin, das in der vorliegenden Ausprägung jedoch nicht eindeutig als reiner Ermüdungseffekt interpretiert werden kann. In der 2017 erschienen Studie von Maté-Muñoz wird korrelierend zu diesem Ergebnis der Nachweis einer signifikanten neuromuskulären Ermüdung nach CrossFit-typischen Workouts erbracht. In dieser Studie wurde die Ermüdung anhand eines Countermovement Jumps sowie der Blutlaktat-Konzentration vor und nach jedem Workout gemessen. Es zeigte sich, dass insbesondere Workouts mit Fokus auf gewichtheberische und turnerische Elemente starke Ermüdungsreaktionen herbeiriefen (Maté-Muñoz et al., 2017). Für die fortgeschrittene Gruppe ist eine stärkere akute Leistungsminderung plausibel, weil höhere absolute Lasten beim Umsetzen typischerweise höhere Anforderungen an Kraftentfaltung, Koordination und Pausengestaltung stellen. Entscheidend ist hier hervorzuheben, dass der post-Workout 1-RM-Test mit vier Minuten zeitlich limitiert war. Maté-Muñoz et al. (2017) betonen im Zuge ihrer Studie, dass noch drei Minuten nach einem Weightlifting- oder Gymnastics-Workout eine signifikante Abnahme der Leistungsfähigkeit besteht und das Ausgangsniveau noch nicht erreicht ist (Maté-Muñoz et al., 2017). Dies zeigt, dass das zeitlimitierte 4-Minuten-Fenster für den 1-RM-Test insbesondere für fortgeschrittene Proband:innen zu kurz gewesen sein könnte, um deren maximale Leistung abzurufen. Unter dieser Bedingung sind individuelle Pausenlängen und Lastprogression eingeschränkt, was insbesondere bei hohen Lasten die maximal erreichbare Leistung systematisch unterschätzen kann. Die beobachtete Abnahme bei Fortgeschrittenen ist daher als Kombination aus Vorermüdung und Protokolleinschränkung zu interpretieren.

Die geringe Leistungssteigerung in der Anfänger:innengruppe kann durch Lern- und Familiarisierungseffekte erklärt werden. Bei technisch komplexen Hebeübungen ist davon auszugehen, dass wiederholtes Testen, erhöhte Bewegungssicherheit und die Anpassung der Versuchsstrategie zu höheren Maximalwerten führen können (Winchester et al., 2005). In dieser Logik kann beim ersten Umsetzen T1 die tatsächliche Leistungsfähigkeit bei Anfänger:innen unterschätzt worden sein, während T2 die kurzfristig erreichbare Leistung besser abbildete. Da die beobachtete Zunahme klein ist, bleibt offen, ob diese über die typische Testvariabilität hinausgeht. Für eine begründende Einordnung wären Kontrollbedingung ohne Vorbelastung sowie eine Reliabilitätsbestimmung des 1-RM-Protokolls notwendig.

4.3 Hypothese 2: Anfänger:innen zeigen unter Ermüdung stärkere Veränderungen in technischen Parametern

Für die Dauer der Zugphase beim Umsetzen zeigten sich mit Zeit ($F(1, 21) = 3,75$; $p = 0,066$; $\eta p^2 = 0,151$), Leistungsniveau ($F(1, 21) = 0,86$; $p = 0,364$; $\eta p^2 = 0,039$) und Zeit $\times$ Leistungsniveau ($F(1, 21) = 2,78$; $p = 0,111$; $\eta p^2 = 0,117$) keine signifikanten Effekte. Deskriptiv sank die Zugphasendauer bei Anfänger:innen von $M = 0,519$ s ($SD = 0,070$; $N = 11$) auf $M = 0,475$ s ($SD = 0,086$; $N = 11$) und blieb währenddessen bei Fortgeschrittenen nahezu konstant (T1: $M = 0,522$ s; $SD = 0,052$; T2: $M = 0,518$ s; $SD = 0,056$; $N = 12$). Für den unteren Squat-Winkel im dumbbell squat ergaben sich ebenfalls keine signifikanten Effekte der Zeit ($F(1, 20) = 0,40$; $p = 0,536$; $\eta p^2 = 0,019$) und Zeit $\times$ Leistungsniveau-Interaktion ($F(1, 20) = 0,90$; $p = 0,355$; $\eta p^2 = 0,043$). Der Gruppeneffekt war ebenfalls nicht signifikant ($F(1, 20) < 0,01$; $p = 0,998$). Der zusätzlich berichtete Gruppenvergleich eines Differenzwerts ($DEF-ABC$) ist für die Interpretation nicht erforderlich, da die Mixed-ANOVA den gruppenspezifischen Veränderungseffekt bereits über die Interaktion Zeit $\times$ Gruppe abbildete.

Ergänzend wurden gruppenspezifische Unterschiede in mehreren Veränderungsvariablen der Bewegungsparameter (Δ 1-RM Clean Bewegungszeit (in Sekunden), Δ 1-RM Clean Zugphase Dauer (in Sekunden) und Δ Squat Dauer (in Sekunden)) mittels separater t-Tests für unabhängige Stichproben analysiert und zur Kontrolle multipler Tests eine

Korrektur mit Bonferroni angewendet ($\alpha_{adj} = 0,017$). Dabei ergaben sich keine statistisch signifikanten Gruppenunterschiede.

Hypothese 2 vermutete bei Anfänger:innen unter Ermüdung stärkere Veränderungen in technischen Parametern als bei Fortgeschrittenen. Auch diese Hypothese konnte mit dem vorliegenden Datensatz nicht gestützt werden. Ein Grund hierfür könnte in der Limitation durch die durchgeführte 2D-Messung bestehen. Erman et al. (2023) etwa fanden unter Ermüdung Veränderungen im polynomischen Zusammenspiel von Schulter und Hüfte. Aufgrund der isolierten 2D-Winkelmessung, kann in diesem Zusammenhang unter Bezugnahme auf Erman et al. argumentiert werden, dass die Ermüdung in der vorliegenden Studie zwar in Form eines Leistungsabfalls vorhanden war, sich aber eher in der intersegmentalen Koordination oder dem Hantelweg zeigte (Erman et al., 2023). Durch die reine 2D-Winkelanalyse wurden diese Parameter aber nicht erfasst.

Weiters ergaben sich weder für die Zugphasendauer des Umsetzens noch für den Kniewinkel im dumbbell squat signifikante Effekte der Zeit- oder Interaktion. In Bezug auf die fortgeschrittenen Proband:innen könnte dies dahingehend erklärt werden, dass erfahrene Athlet:innen Technikmerkmale auch unter Belastung stabiler erhalten können als Anfänger:innen (Bakhshinejad et al., 2025). Ein Grund dafür, dass die Gruppe der Anfänger:innen keine signifikanten Technikverändern aufwiesen könnte auch daran liegen, dass Proband:innen im ermüdeten Zustand aktiv versuchen würden, eine aufrechte Haltung zu bewahren und hierdurch stabilen Winkeldaten bewirken (Erman et al., 2023). Zudem unterstützen Bakhshinejad et al. (2025) das Ergebnis, indem hier gezeigt wurde, dass die Variabilität der Gelenkbewegungen erst bei sehr hohen relativen Lasten, nahe am Versagen, massiv zunimmt. Es besteht demnach die Möglichkeit, dass die Teilnehmer:innen der Studie im Workout noch nicht den Grad an technischer Destabilisierung erreicht hatten, der messbare Winkeländerungen provoziert hätte (Bakhshinejad et al., 2025). Auch die gruppenspezifischen Vergleiche der Veränderungswerte mehrerer Bewegungsparameter zeigten keine signifikanten Unterschiede.

Für die Interpretation ist zwischen „tatsächlicher Technikstabilität“ und „begrenzter Messsensitivität“ zu unterscheiden. Bewegungsqualität beim Umsetzen umfasst neben zeitlichen Parametern insbesondere das Timing der Phasenübergänge, die Hantelbahn, relative Segmentpositionen sowie

die Stabilität der Fangposition (Oranchuk et al., 2022). Diese Merkmale können sich unter Ermüdung verändern, ohne dass sich eine Zeitvariable oder ein einzelner sagittaler Kniewinkel deutlich verschieben. Hiermit muss festgestellt werden, dass die Möglichkeit besteht, dass im Zuge der Studie relevante Veränderungen in nicht erfassten Dimensionen lagen.

Zusätzlich muss hinzugefügt werden, dass die 2D-Videoanalyse als feldtaugliches, aber methodisch limitiertes Verfahren einzuordnen ist. Bewegungen außerhalb der Bildebene, wie Rotationen oder laterale Ausweichbewegungen, sowie kleine Positionsänderungen können mit 2D-Ansätzen unzureichend abgebildet werden (Straub & Powers, 2024). So nutzen Khuyagbaatar et al. (2024) etwa Inertialsensoren, welche minimale Unterschiede zwischen Reißen und Umsetzen erfassen sollten, welche mit Videoaufnahmen nicht sichtbar wären. Zudem bietet diese Form der Analyse auch die Erfassung von Rotationen und komplexen dreidimensionalen Ausweichbewegungen an, was die Menge an erfassbaren Werten abermals erhöht (Khuyagbaatar et al., 2024). Für weitere Studien zum untersuchten Themenfeld empfiehlt es sich daher den Einsatz von IMU-Sensoren zu erwägen.

Schlussendlich ist für kniebezogene Technikparameter zudem bekannt, dass Belastung und Tiefe kinematische Muster und Gelenkbelastungen kontextabhängig beeinflussen (Hartmann et al., 2013). Vor diesem Hintergrund ist zu betonen, dass die vorliegenden Parameter keine umfassende Aussage über Bewegungsqualität erlauben, sondern lediglich einzelne, grobe Indikatoren darstellen.

4.4 Einordnung zusätzlicher Befunde: Workoutzeit als Ermüdungsindikator und subjektive Einschätzungen

Es konnte kein signifikanter Zusammenhang zwischen der Workoutzeit und der 1-RM-Leistung festgestellt werden. Dies spricht dafür, dass die reine Dauer des Workouts den individuellen Ermüdungszustand nur unvollständig abbildet. Pace-Strategien, Unterbrechungen, Übungsökonomie und die bewusste Priorisierung von Technik versus Geschwindigkeit können die Zeit stark beeinflussen, ohne dass daraus linear auf neuromuskuläre Ermüdung geschlossen werden kann. Für Folgestudien ist daher eine multimodale Ermüdungsquantifizierung, wie die

Herzfrequenz oder RPE, naheliegend um das Maß der Ermüdung zwischen den Proband:innen besser vergleichbar zu machen.

Die Fragebogendaten unterstützen die objektiven Messungen nochmals, da Bewegungsqualität überwiegend als sehr bedeutsam eingeschätzt wurde und viele Proband:innen davon ausgingen, dass Ermüdung die Technik verschlechtern würde. Diese Einschätzungen stimmen mit der Risikodiskussion im Kontext CrossFit® überein, ersetzen jedoch keine objektive Technikdiagnostik.

4.5 Einordnung in die Literatur, Limitationen der Interpretation und Implikationen für Folgestudien

Epidemiologische Studien und Reviews berichten Verletzungen im CrossFit®-Kontext mit häufig betroffenen Regionen in Schulter- und Wirbelsäulenbereich, wobei die Inzidenzen und Risikofaktoren zwischen den Studien variieren (Ángel Rodríguez et al., 2022; Klimek et al., 2018; Weisenthal et al., 2014). Technik, Belastungssteuerung und Coaching werden wiederholt als potenzielle Einflussfaktoren diskutiert (Ángel Rodríguez et al., 2022; Klimek et al., 2018). Die vorliegenden Studienergebnisse fügen sich insofern ein, als sie eine relevante Veränderung der Leistungsfähigkeit nach Vorbelastung zeigen. Die 2D-Parameter bleiben stabil. Zudem ergaben die gruppenspezifischen Vergleiche mehrerer Veränderungsvariablen der Bewegungsparameter keine signifikanten Unterschiede unter Bonferroni-Korrektur. Dies hebt die Interpretation hervor, dass mögliche Ermüdungseffekte in der Studie entweder klein ausfielen oder aufgrund der Messsensitivität nicht adäquat erfasst werden konnten. Dieses Ergebnis sollte jedoch vielmehr die Notwendigkeit sensitiverer Technikmaße hervorheben, anstelle als Hinweis auf fehlende Technikänderungen aufgefasst werden. In diesem Zusammenhang ist es notwendig einen Blick auf die Literatur zu werfen und den Fokus auf alle Studienergebnisse, wie etwa mechanische Leistungseinbußen im Falle des 1-RM-Leistungsabfalls bei den Fortgeschrittenen zu legen. Dieses Ergebnis kann durch Antunes et al. (2022) und Bakhshinejad et al. (2025) sehr wohl bestätigt werden, da auch diese einen Abfall der Hantelgeschwindigkeit und Power feststellten und dadurch eine neuromuskuläre Ermüdung wahrnahmen. Dennoch können Athlet:innen erlernte Bewegungsmuster über einen langen Zeitraum stabil

halten. Dies darf jedoch nicht mit einem ausbleibend des Verletzungsrisikos gleichgesetzt werden. Khuyagbaatar et al. (2024) weisen in diesem Bezug darauf hin, dass etwa 60 % der Verletzungen im Gewichtheben in einem direkten Zusammenhang mit Ermüdungserscheinungen stehen. In diesem Zusammenhang gewinnen Mobilitätsanforderungen stärker an Bedeutung, da Defizite in der Range of Motion der oberen Extremitäten das Risiko für akute Überlastungsschäden stark erhöhen (Cejudo, 2022)

Aus den Ergebnissen ergeben sich klare Anforderungen für Folgestudien zur untersuchten Fragestellung. Zum einen muss eine Standardisierung der Vorbelastung über relative Intensitäten anstelle fixer Lasten erfolgen, um vergleichbare Ermüdungsgrade zwischen Personen unterschiedlicher Leistungsniveaus zu erreichen. Weiters ist die Erweiterung der Technikdiagnostik von großer Bedeutung um Parameter wie den Hantelpfad, das Phasen-Timing und die Fangstabilität beim Umsetzen besser darstellen zu können. Hierfür benötigt es den Einsatz von 3D-Kinematik. Außerdem ist ein standardisiertes post-workout Leistungsprotokoll von Nöten, welches definierte Pausen und Lastsprünge oder alternativ submaximale Leistungsmaße beinhaltet, um Protokolleinflüsse zu reduzieren (Chavda et al., 2020). Diese Schritte sind erforderlich, um Ermüdungseffekte von Mess-, Lern- oder Protokolleinflüssen verlässlich zu trennen und Hypothesen zur Bewegungsqualität unter Ermüdung präziser prüfen zu können.

4.6 Limitationen

Die Aussagekraft der Studie ist durch den Pilotcharakter und mehrere methodische Limitierungen eingeschränkt. Eine kleinere Stichprobe, Dropouts, die 2D-Videoanalyse ohne Erfassung der Bewegung außerhalb der Bildebene, eingeschränkte Standardisierbarkeit von Licht- und Kameraposition, Ausschluss der IMU-Daten und eine heterogene relative Intensität durch fixe Workoutlasten, welche bei der Ergebnisdarstellung und Diskussion der Studie auftauchten. Außerdem war ein zeitlich limitiertes post-workout 1-RM-Protokoll vorhanden, was aufgrund der unterschiedlichen Belastungszeiten beim Workout für manche Proband:innen belastender als für andere gewesen sein könnte. Im folgenden Kapitel sollen diese Limitationen näher erläutert werden. Ein Problem, welches bereits vor der Durchführung der ersten Testung zu Überlegungen führte, war der normale Studiobetrieb, welcher während der

Testung ablaufen musste. Hierdurch wurde eine Variation der Kamera- und Lichtposition erzwungen und es konnte nicht immer derselbe Aufnahmewinkel geschaffen werden. Dies erschwerte die Datenauswertung in KINOVEA®, da nicht alle Winkel gut messbar oder ablesbar waren. Weiters gab es bei der Rekrutierung von Proband:innen, primär aus der Gruppe der Anfänger:innen, eine Limitation. Die Schwierigkeit lag insbesondere darin, Proband:innen mit wenig Erfahrung beziehungsweise geeignet für die Anfänger:innen-Gruppe zu finden, da viele ihre Absage damit begründeten, dass ihnen das Gewicht der Kurzhanteln im Workout zu schwer sei. Ein weiteres Problem war das Kriterium der Erfahrung, welche bei der Gruppe der Anfänger:innen weniger als drei Jahre ausmachen durfte. Einige Interessent:innen hielten fest, dass sie bereits seit mehr als drei Jahren an CrossFit® - Gruppenstunden teilnehmen, sich jedoch nicht in die Gruppe der Fortgeschrittenen zählen würden. Zusätzlich muss darauf hingewiesen werden, dass die untersuchten Proband:innen aus einem spezifischen CrossFit® -Setting der crosszone GmbH stammten und die Übertragbarkeit auf andere CrossFit®-Boxen, Leistungsklassen oder Altersgruppen nur eingeschränkt gegeben ist. Die Stichprobengröße mit $N = 25$ wurde durch Dropouts reduziert und veränderte die Werte einzelner Variablen im Zuge der Studie. Zudem wies die Stichprobengröße mit 25 Personen insbesondere bei gruppenspezifischen Analysen eine begrenzte Teststärke auf und führte möglicherweise dazu, dass inhaltlich relevante Effekte unentdeckt geblieben sind. Ergänzend muss darauf hingewiesen werden, dass zwischen den beiden Testterminen keine festgelegte, nur eine empfohlene, Dauer vorgegeben wurde. Aufgrund zeitlicher Ressourcen kam es bei manchen Teilnehmer:innen zu einer mehrwöchigen Pause zwischen den Testterminen. In dieser Zwischenzeit erfolgte keine Dokumentation der Trainingsreize, wodurch keine Aussagen über Vorbelastungen oder Trainingsreize im Bereich des Gewichthebens getroffen werden konnten. Eine weitere Limitation tauchte bei der Befestigung von reflektierendem Tape auf, da die Haltbarkeit des Tapes auf der schweißfeuchten Haut der Proband:innen nicht gegeben war. Vorwiegend bei Männern gab es zudem aufgrund der Körperbehaarung Probleme bei der Haltbarkeit des Tapes und oftmals löste sich dieses im Verlauf des Workouts und des Umsetzens. Ein weiteres Hindernis in dieser Situation war die Befestigung des reflektierenden Tapes auf der Kleidung

der Proband:innen. Bei weiblichen Teilnehmer:innen war die Sichtbarkeit aufgrund enganliegender Kleidung oftmals besser gegeben als bei männlichen Proband:innen, welche tendenziell lockere Trainingskleidung trugen. In Bezug auf den Fragebogen muss hinsichtlich von Limitationen berichtet werden, dass keine Erfragung der Wettkampferfahrung beinhaltet wurde. Diese Information wäre bei der Ergebnisdarstellung und Einordnung in die zwei Leistungsgruppen noch hilfreich gewesen. Zudem muss grundsätzlich darauf hingewiesen werden, dass die Selbstberichte im Fragebogen subjektiven Einschätzungen unterliegen und diese auf Erinnerungs- und Bewertungsbias basieren. Hierdurch kann das tatsächliche Verhalten und erlebte Verletzungsereignisse nur eingeschränkt abgebildet werden. Schlussendlich muss eine wichtige Limitation bei der Interpretation und Berücksichtigung der vorliegenden Studienergebnisse noch erwähnt werden. Der Begriff „Bewegungsqualität“ nimmt einen wichtigen Teil im gesamten Studieninhalt ein und wurde im theoretischen Sinn als multidimensionales Konstrukt verstanden. In der durchgeführten Studie erfolgte die empirische Operationalisierung jedoch über ausgewählte 2D-kinematische Indikatoren, weshalb sich die Ergebnisse ausschließlich auf diese spezifischen Aspekte beziehen. Hierdurch kann anhand der erhobenen Datenlage keine umfassende Beurteilung über Bewegungsqualität im engeren Sinne gezogen werden.

4.7 Schlussfolgerungen und Ausblick

Die vorliegende Pilotstudie untersuchte die Effekte einer CrossFit®-typischen Vorbelastung auf die maximale Leistungsfähigkeit im Umsetzen sowie ausgewählte Parameter der Bewegungsqualität. Dabei wurde analysiert, ob sich diese Effekte in Abhängigkeit vom Leistungsniveau unterscheiden. Die Ergebnisse zeigen ein differenziertes Bild. Während sich für die 1-RM-Umsetzleistung ein leistungsniveauspezifisches Akutprofil abzeichnete, blieben die in dieser Arbeit erfassten 2D-Parameter der Bewegungsqualität weitgehend stabil. Für die maximale Leistung im Umsetzen ergab sich kein genereller Zeiteffekt von T1 zu T2, jedoch eine signifikante Interaktion zwischen Zeit und Leistungsniveau. Deskriptiv zeigte sich bei Anfänger:innen eine geringe Veränderung mit tendenziell leichtem Anstieg, während Fortgeschrittene nach dem Workout eine Abnahme der 1-RM-Leistung aufwiesen. Dies spricht dafür, dass akute Vorbelastung und Leistungsniveau in ihrer Wirkung auf maximale Lasten

nicht unabhängig voneinander betrachtet werden sollten. Gleichzeitig ist zu berücksichtigen, dass das post-Workout 1-RM-Protokoll zeitlich limitiert war und dadurch die Versuchsstrategie und Pausengestaltung eingeschränkt wurden. Für Fortgeschrittene könnte dies in Kombination mit der höheren absoluten Last zu einer systematischen Unterschätzung der maximal abrufbaren Leistung beigetragen haben.

Weder für die Zugphasendauer des Umsetzens noch für den unteren Squat-Winkel im Verlauf des Workouts zeigten sich, in Hinsicht auf die Bewegungsqualität, signifikante zeitliche oder gruppenspezifische Effekte. Auch die gruppenspezifischen Vergleiche mehrerer Veränderungsvariablen ergaben keine statistisch signifikanten Unterschiede. Diese Befunde können einerseits auf eine relative Stabilität der erfassten Parameter hinweisen, andererseits aber auch die Grenzen der Messsensitivität widerspiegeln. Das Problem besteht darin, dass Bewegungsqualität beim Umsetzen multidimensional ist und neben Zeitvariablen insbesondere Hantelpfad, Phasen-Timing, Segmentpositionen und die Stabilität der Fangposition beeinflusst. Veränderungen in diesen Bereichen können auftreten, sind in einer 2D-Auswertung jedoch nicht vollständig prüfbar.

Für zukünftige Studien ergeben sich daraus mehrere konkrete Hinweise. Zum einen sollte die Vorbelastung stärker standardisiert werden, um vergleichbare Ermüdungsgrade zwischen Personen unterschiedlicher Leistungsstufen zu erreichen. Weiters ist eine Erweiterung der Technikdiagnostik sinnvoll, wie etwa durch den Einsatz von 3D-Kinematik oder validierten Wearable-Systemen, durch welche zusätzliche, sensitivere Qualitätsparameter erfasst werden könnten und damit die Aussagekraft erhöht werden würde. Ergänzend scheint ein standardisiertes post-Workout-Leistungsprotokoll mit definierten Pausen und Lastsprüngen sinnvoll, um Protokolleinflüsse von tatsächlichen Ermüdungseffekten besser trennen zu können. Schließlich sollten Folgestudien größere Stichproben und eine präzisere Leistungsgruppierung berücksichtigen, um die statistische Teststärke zu erhöhen und die Interpretation leistungsniveauspezifischer Unterschiede zu erleichtern.

Zusammenfassend liefert diese Pilotstudie erste Hinweise darauf, dass akute CrossFit®-Vorbelastung und Leistungsniveau insbesondere die maximale Leistungsfähigkeit im Umsetzen beeinflussen können, während die in dieser Arbeit erfassten 2D-Indikatoren der Bewegungsqualität keine

deutlichen Veränderungen zeigten. Die Ergebnisse heben die Wichtigkeit methodisch sensibler Messverfahren und standardisierter Protokolle hervor, um die Beziehung zwischen Ermüdung, Leistung und Bewegungsqualität im CrossFit®-Kontext in zukünftigen Untersuchungen präziser abbilden zu können.

Literaturverzeichnis

- Alekseyev, K., John, A., Malek, A., Lakdawala, M., Verma, N., Southall, C., Nikolaidis, A., Akella, S., Erosa, S., Islam, R., Perez-Bravo, E., & Ross, M. (2020). Identifying the Most Common CrossFit Injuries in a Variety of Athletes. *Rehabil Process Outcome*, 9, 1179572719897069. <https://doi.org/10.1177/1179572719897069>
- Ángel Rodríguez, M., García-Calleja, P., Terrados, N., Crespo, I., Del Valle, M., & Olmedillas, H. (2022b). Injury in CrossFit®: A Systematic Review of Epidemiology and Risk Factors. *Phys Sportsmed*, 50(1), 3-10. <https://doi.org/10.1080/00913847.2020.1864675>
- Antunes, J. P., Oliveira, R., Reis, V. M., Romero, F., Moutão, J., & Brito, J. P. (2022). Comparison between Olympic Weightlifting Lifts and Derivatives for External Load and Fatigue Monitoring. *Healthcare (Basel)*, 10(12). <https://doi.org/10.3390/healthcare10122499>
- Bakhshinejad, J. A., Ramer, J. D., Dunsmore, K. A., Pelton, L. M., & Berglund, L. (2025). Effects of Intensity and Fatigue on the Kinetics and Kinematics of the Barbell Squat, Bench Press, and Deadlift in Experienced Lifters: A Systematic Review. *Sports Medicine - Open*, 11(1), 115. <https://doi.org/10.1186/s40798-025-00921-x>
- Calhoon, G., & Fry, A. C. (1999). Injury rates and profiles of elite competitive weightlifters. *J Athl Train*, 34(3), 232-238.
- Cejudo, A. (2022). Predicting the Clean Movement Technique in Crossfit Athletes Using an Optimal Upper-Limb Range of Motion: A Prospective Cohort Study. *Int J Environ Res Public Health*, 19(19). <https://doi.org/10.3390/ijerph191912985>
- Cejudo, A. (2022). Predicting the Clean Movement Technique in Crossfit(®) Athletes Using an Optimal Upper-Limb Range of Motion: A Prospective Cohort Study. *Int J Environ Res Public Health*, 19(19). <https://doi.org/10.3390/ijerph191912985>
- CrossFit®. (2018). *Reebok CrossFit Games Open Week 2*. CrossFit Inc. Retrieved 17.12. from https://games-assets.crossfit.com/18_2_15_aosi89035aiwSDOFIHhawe.pdf
- Chavda, S., Martin, S., Hill, M., Swisher, A., Haff, G. G., & Turner, A. (2020). Weightlifting: An Applied Method of Technical Analysis. *Strength and Conditioning*. <https://doi.org/10.1519/SSC.0000000000000614>
- CrossFit®. (2018). *Reebok CrossFit Games Open Week 2*. CrossFit Inc. Retrieved 17.12. from https://games-assets.crossfit.com/18_2_15_aosi89035aiwSDOFIHhawe.pdf
- Erman, B., Vural, F., Dopsaj, M., Ozkol, M. Z., Kose, D. E., & Aksit, T. (2023). The effects of fatigue on linear and angular kinematics during bilateral squat. *PLoS One*, 18(11), e0289089. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0289089>
- Garhammer, J. (1980). Power production by Olympic weightlifters. *Med Sci Sports Exerc*, 12(1), 54-60.
- Garhammer, J. (1980). Power production by Olympic weightlifters. *Med Sci Sports Exerc*, 12(1), 54-60.
- Glassman, G. (2004). What is CrossFit? [Journal Article]. *The Journal/The Journal Classic*. https://journal.crossfit.com/article/what-is-crossfit-2?_gl=1*9s73jz*_gcl_au*NzQyMTYzODA5LjE3Njk0NDYzMjc.*_ga*NDU2Njc1MTQyLjE3Njk0NDYzMjY.*_ga_YMP4SGMLNT*czE3NzE5NDA0OTQkbzEkZzAkDE3NzE5NDA0OTQkajYwJGwwJGgxNjI4MTM3ODI

- Hak, P., Hodzovic, E., & Hickey, B. (2013). The nature and prevalence of injury during CrossFit training. *Journal of strength and conditioning research / National Strength & Conditioning Association, Publish Ahead of Print*. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000318>
- Hartmann, H., Wirth, K., & Klusemann, M. (2013). Analysis of the load on the knee joint and vertebral column with changes in squatting depth and weight load. *Sports Med*, 43(10), 993-1008. <https://doi.org/10.1007/s40279-013-0073-6>
- Haug, W. B., Drinkwater, E. J., & Chapman, D. W. (2015). Learning the Hang Power Clean: Kinetic, Kinematic, and Technical Changes in Four Weightlifting Naïve Athletes. *J Strength Cond Res*, 29(7), 1766-1779. <https://doi.org/10.1519/jsc.0000000000000826>
- Hydock, D. (2001). The Weightlifting Pull in Power Development. *Strength & Conditioning Journal*, 23, 32. <https://doi.org/10.1519/00126548-200102000-00006>
- Iļjinaitė, V., Šiupšinskas, L., & Berškienė, K. (2024). The Quality of Functional Movements and the Back Squat in Amateur and Professional Bodybuilders. *Int J Sports Phys Ther*, 19(11), 1455-1464. <https://doi.org/10.26603/001c.124998>
- Khuyagbaatar, B., Tumurbaatar, M., Tsenkherjav, K., Purevsuren, T., Shambaljamts, T., Kim, K., Danjkhoo, T., Danaa, G., & Kim, Y. H. (2024). Kinematic Comparison of Snatch and Clean Lifts in Weightlifters Using Wearable Inertial Measurement Unit Sensors. *Physical Activity and Health*. <https://doi.org/10.5334/paah.306>
- Klimek, C., Ashbeck, C., Brook, A. J., & Durall, C. (2018). Are Injuries More Common With CrossFit Training Than Other Forms of Exercise? *J Sport Rehabil*, 27(3), 295-299. <https://doi.org/10.1123/jsr.2016-0040>
- Leitão, L., Dias, M., Campos, Y., Vieira, J. G., Sant'Ana, L., Telles, L. G., Tavares, C., Mazini, M., Novaes, J., & Vianna, J. (2021). Physical and Physiological Predictors of FRAN CrossFit WOD Athlete's Performance. *Int J Environ Res Public Health*, 18(8). <https://doi.org/10.3390/ijerph18084070>
- Martínez-Gómez, R., Valenzuela, P. L., Moral-González, S., Lucia, A., & Barranco-Gil, D. (2021). Effects of an Injury Prevention Program in CrossFit Athletes: A Pilot Randomized Controlled Trial. *Int J Sports Med*, 42(14), 1281-1286. <https://doi.org/10.1055/a-1386-5188>
- Maté-Muñoz, J. L., Lougedo, J. H., Barba, M., García-Fernández, P., Garnacho-Castaño, M. V., & Domínguez, R. (2017). Muscular fatigue in response to different modalities of CrossFit sessions. *PLoS One*, 12(7), e0181855. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0181855>
- Maté-Muñoz, J. L., Budurin, M., González-Lozano, S., Heredia-Elvar, J. R., Cañuelo-Márquez, A. M., Barba-Ruiz, M., Muriarte, D., Garnacho-Castaño, M. V., Hernández-Lougedo, J., & García-Fernández, P. (2022). Physiological Responses at 15 Minutes of Recovery after a Session of Functional Fitness Training in Well-Trained Athletes. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(14), 8864. <https://www.mdpi.com/1660-4601/19/14/8864>
- Meier, N., Schlie, J., & Schmidt, A. (2023a). CrossFit: 'Unknowable' or Predictable?-A Systematic Review on Predictors of CrossFit Performance. *Sports (Basel)*, 11(6). <https://doi.org/10.3390/sports11060112>
- Meier, N., Schlie, J., & Schmidt, A. (2023b). Physiological effects of regular CrossFit® training and the impact of the COVID-19 pandemic—A

- systematic review [Systematic Review]. *Frontiers in Physiology*, 14. <https://doi.org/10.3389/fphys.2023.1146718>
- Meyer, J., Morrison, J., & Zuniga, J. (2017). The Benefits and Risks of CrossFit: A Systematic Review. *Workplace Health Saf*, 65(12), 612-618. <https://doi.org/10.1177/2165079916685568>
- Nakagawa, S. (2004). A farewell to Bonferroni: the problems of low statistical power and publication bias. *Behavioral Ecology*, 15(6), 1044-1045. <https://doi.org/10.1093/beheco/arh107>
- Oranchuk, D. J., Harbour, E. T., Lindsay, R. S., Storey, A. G., & Drinkwater, E. J. (2022). Improved power clean performance with the hook-grip is not due to altered force-time or horizontal bar-path characteristics. *J Sports Sci*, 40(2), 226-235. <https://doi.org/10.1080/02640414.2021.1986270>
- Pennington, J., Laubach, L., Marco, G., & Linderman, J. (2010). Determining the optimal load for maximal power output for the power clean and snatch in collegiate male football players. *Journal of Exercise Physiology Online*, 13, 10-19.
- Rong, W., Geok, S. K., Samsudin, S., Zhao, Y., Ma, H., & Zhang, X. (2025). Effects of strength training on neuromuscular adaptations in the development of maximal strength: a systematic review and meta-analysis. *Sci Rep*, 15(1), 19315. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-03070-z>
- Sale, D. G. (1988). Neural adaptation to resistance training. *Med Sci Sports Exerc*, 20(5 Suppl), S135-145. <https://doi.org/10.1249/00005768-198810001-00009>
- Schlegel, P., & Křehký, A. (2022). Performance Sex Differences in CrossFit. *Sports (Basel)*, 10(11). <https://doi.org/10.3390/sports10110165>
- Schoenfeld, B. J. (2010). The mechanisms of muscle hypertrophy and their application to resistance training. *J Strength Cond Res*, 24(10), 2857-2872. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181e840f3>
- Schoenfeld, B. J., Ogborn, D., & Krieger, J. W. (2017). Dose-response relationship between weekly resistance training volume and increases in muscle mass: A systematic review and meta-analysis. *J Sports Sci*, 35(11), 1073-1082. <https://doi.org/10.1080/02640414.2016.1210197>
- Straub, R. K., & Powers, C. M. (2024). A Biomechanical Review of the Squat Exercise: Implications for Clinical Practice. *Int J Sports Phys Ther*, 19(4), 490-501. <https://doi.org/10.26603/001c.94600>
- Szajkowski, S., Dwornik, M., Pasek, J., & Cieślak, G. (2023). Risk Factors for Injury in CrossFit-A Retrospective Analysis. *Int J Environ Res Public Health*, 20(3). <https://doi.org/10.3390/ijerph20032211>
- von Rottkay, E., Nöth, U., Zinner, J., & Reichert, J. C. (2018). Schulterverletzungen im CrossFit und verwandten Sportarten. *Sports Orthopaedics and Traumatology*, 34(2), 145-150. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.orthtr.2017.12.007>
- Weeks, B. K., Carty, C. P., & Horan, S. A. (2015). Effect of sex and fatigue on single leg squat kinematics in healthy young adults. *BMC Musculoskelet Disord*, 16, 271. <https://doi.org/10.1186/s12891-015-0739-3>
- Weisenthal, B., Beck, C., Maloney, M., DeHaven, K., & Giordano, B. (2014). Injury Rate and Patterns Among CrossFit Athletes. *Orthopaedic Journal of Sports Medicine*, 2(4), 2325967114531177. <https://doi.org/10.1177/2325967114531177>

- Wilczyński, B., Zorena, K., & Ślęzak, D. (2020). Dynamic Knee Valgus in Single-Leg Movement Tasks. Potentially Modifiable Factors and Exercise Training Options. A Literature Review. *Int J Environ Res Public Health*, 17(21). <https://doi.org/10.3390/ijerph17218208>
- Winchester, J. B., Erickson, T. M., Blaak, J. B., & McBride, J. M. (2005). Changes in bar-path kinematics and kinetics after power-clean training. *J Strength Cond Res*, 19(1), 177-183. <https://doi.org/10.1519/14023.1>

Verzeichnisse (Abbildungen, Tabellen, Abkürzungen)

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Kamerapositionen beim 1-RM-Clean Testtermin 1 und 2	28
Abbildung 2: Frontale und sagittale Markersetzung	28
Abbildung 3: Kamerapositionen beim Workout Testtermin 2	29
Abbildung 4: Befestigung der IMU-Sensoren an einer Probandin	29
Abbildung 5: Hantelweg beim Umsetzen	30
Abbildung 6: Umsetzen Phase 1 (Abheben der Stange)	30
Abbildung 7: Umsetzen Phase 2 (Stange knapp unter der Patella)	30
Abbildung 8: Umsetzen Phase 3 (Stange über der Patella)	30
Abbildung 9: Umsetzen Phase 4 (höchster Punkt der Ellbogen und der Stange vor dem Untersetzen)	30
Abbildung 10: Umsetzen Phase 5 (Auffangen der Stange)	30
Abbildung 11: Kniebeuge Phase 1	31
Abbildung 12: Kniebeuge Phase 2	31
Abbildung 13: Kniebeuge Phase 3	31
Abbildung 14: 1-RM Umsetzleistung nach Leistungsniveau vergleich Anfänger:innen und Fortgeschrittene	37
Abbildung 15: 1-RM Clean Differenz nach Leistungsniveau	39
Abbildung 16: 1-RM Clean Zugphase T1 vs. T2 nach Leistungsniveau	41
Abbildung 17: Vergleich Workoutzeit (s) nach Leistungsniveau	42
Abbildung 18: Zusammenhang zwischen Workoutzeit und Veränderung der 1-RM-Umsetzleistung zwischen T1 und T2	43
Abbildung 19: Durchschnittlicher unterer Squatwinkel der ersten drei Squats (°) nach Leistungsniveau	44
Abbildung 20: Durchschnittlicher Squatwinkel der letzten drei Squats (°) nach Leistungsniveau	44
Abbildung 21: Vergleich unterer Squatwinkel (°) zwischen Termin 1 und 2 bei Anfänger:innen	44
Abbildung 22: Vergleich unterer Squatwinkel (°) zwischen Termin 1 und 2 bei Fortgeschrittenen	44
Abbildung 23: Differenz 1-RM Clean Bewegungszeit (s) nach Leistungsniveau	45
Abbildung 24: Differenz 1-RM Clean Zugphase (s) nach Leistungsniveau	46

Abbildung 25: Differenz der Squatdauer zwischen den ersten drei und letzten drei Squats nach Leistungsniveau	46
Abbildung 26: Fragebogenergebnis über Wichtigkeit der Bewegungsqualität im CrossFit® für Proband:innen	48
Abbildung 27: Fragebogenergebnis Zusammenhang zwischen Ermüdungszustand im Workout und Qualität der Bewegungsausführung .	49
Abbildung 28: Fragebogenergebnis Erfahrung mit Verletzung(en) im ermüdeten Zustand	50

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Deskriptive Statistik Stichprobenbeschreibung aller Teilnehmer:innen.....	36
Tabelle 2: 1-RM Clean Termin 1 und 2 Normalverteilungsprüfung mittels Shapiro-Wilk Test.....	38
Tabelle 3: t-Test für unabhängige Stichproben bei der Differenz der 1-RM-Werte.....	39
Tabelle 4: Deskriptive Statistik 1-RM Clean Zugphase Dauer Termin 1 vs. Termin 2	40
Tabelle 5: t-Test für unabhängige Stichproben bei der Workoutzeit (s).....	42

Abkürzungsverzeichnis

1-RM	Ein-Wiederholungsmaximum
WOD	Workout of the day
VO ₂ max	Maximale Sauerstoffaufnahme
IMU	Inertiale Messeinheit (Inertial Measurement Unit)
M	Mittelwert
SD	Standardabweichung
ANOVA	Varianzanalyse (analysis of variance)
MANOVA	Multivariate Varianzanalyse (multivariate analysis of variance)
KI	Konfidenzintervall
2D	zweidimensional
3D	dreidimensional
FMS	Functional Movement Screen
HIIT	High-Intensity Interval Training
mTOR	mechanistic target of rapamycin (mTOR-Signalweg)
N	Stichprobengröße gesamt
RPE	Rating of Perceived Exertion
SMD	standardisierte Mittelwertdifferenz
SPSS	Statistical Package for the Social Sciences
η^2	partielltes Eta-Quadrat

Anhang

Fragebogen

Persönliche ID-Nummer:

FRAGEBOGEN ZUR PILOTSTUDIE:

BEWEGUNGSQUALITÄT IM CROSSFIT® IN ABHÄNGIGKEIT DES LEISTUNGSNIVEAUS UND DES GRADS DER ERMÜDUNG

Sehr geehrte Teilnehmerin, Sehr geehrter Teilnehmer,

herzlichen Dank, dass Sie sich die Zeit nehmen an meiner Studie teilzunehmen. Vor der Durchführung des Praxisteils bitte ich Sie noch den folgenden Fragebogen auszufüllen. Bitte lesen Sie die Fragen aufmerksam durch und beantworten Sie diese mit bestem Wissen und Gewissen. Wenden Sie sich bei Fragen und Unklarheiten bitte an die Studienleitung.

IHRE ANGABEN IN DIESEM FRAGEBOGEN WERDEN NUR DER STUDIENLEITUNG ZUR VERFÜGUNG GESTELLT UND DIESEN MITSAMT IHRER PRAKTISCHEN TESTUNG DER ANALYSE UND AUSWERTUNG DER FORSCHUNGSFRAGE.

FRAGEN ZU IHRER PERSON

Alter	
Größe	
Gewicht	
Bisherige bzw. aktuelle Verletzungen:	

SPORTLICHE ERFAHRUNG

Würden Sie sich selbst als sportliche Person definieren?		☐ etwas	☐ ja	☐ nein							
Wie viele Jahre betreiben Sie bereits CrossFit®?		☐ ≤2 Jahre	☐ 2-3 Jahre	☐ Mehr als 3 Jahre							
Wie viele Tage/Woche trainieren Sie durchschnittlich?		☐ 1-2 Tage	☐ 3-4 Tage	☐ Mehr als 5 Tage							
Wie häufig trainieren Sie pro Tag?		☐ 1 Mal	☐ 2 Mal	☐ 3 Mal							
Trainieren Sie nach einem Trainingsplan?		☐ Ja		☐ nein							
Wenn ja, nach welchem Trainingsplan trainieren Sie?	☐ Allround-Programming (kein individuelles Programm)	☐ Individueller Trainingsplan (auf meine Schwächen/Stärken angepasst)		☐ Anderes:							
Auf einer Skala von 1-10, an welche Stelle der drei Leistungsstufen würden Sie sich im Bereich CrossFit® einteilen?		Anfänger:in		Hobbysportler:in							
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Was ist Ihre größte Schwäche im CrossFit®?		☐ Kraft	☐ Ausdauer	☐ Weightlifting	☐ Gymnastics						

Aus welchen Gründen sind Sie der Meinung, dass die oben ausgewählte Kategorie Ihre größte Schwäche im CrossFit® darstellt?

Persönliche ID-Nummer:

Wie wichtig ist Ihrer Meinung nach die Qualität der Bewegung im Zuge eines Workouts im CrossFit®?	Sehr wichtig	Etwas	Gar nicht wichtig
Wie stark achten Sie bei der Durchführung eines Kräftigungsteils auf die Ausführung ihrer Bewegungen?	Sehr stark	Manchmal	Kaum
Wie stark achten Sie beim Gewichtheben auf die Ausführung ihrer Bewegungen?	Sehr stark	Manchmal	Kaum
Wie stark achten Sie bei der Durchführung von Ausdauertraining (Ski Erg, Row, Laufband etc.) auf die Ausführung und Technik ihrer Bewegungen?	Sehr stark	Manchmal	Kaum
Achtet ihr:e Trainer:in (CF-Studio oder eigener Coach) auf die Qualität Ihrer Ausführung im Rahmen des Krafttrainings?	Sehr stark	Manchmal	Kaum

Erläutern Sie ihre Antwort näher:

Achtet ihr:e Trainer:in (CF-Studio oder eigener Coach) auf die Qualität Ihrer Ausführung im Rahmen des Workouts?	Sehr stark	Manchmal	Kaum
--	------------	----------	------

Erläutern Sie ihre Antwort näher:

Sind Sie der Meinung, dass die Bewegungsqualität im CrossFit® eine zu untergeordnete Rolle spielt?	Etwas	Ja	Nein
--	-------	----	------

Begründen Sie ihre Aussage:

Sind Sie der Meinung, dass fehlende Bewegungsqualität im CrossFit® ein Grund für Verletzungen ist?	Etwas	Ja	Nein
Haben Sie selbst bereits Verletzungen aufgrund von unsauberer Bewegungsausführung beim CrossFit® erlebt?	Keine Angabe	Ja	Nein
Sehen Sie einen Zusammenhang zwischen dem Ermüdungszustand in einem Workout und der Qualität der Bewegungsausführung?	Etwas	Ja	Nein
Haben Sie sich bereits im Rahmen eines Workouts (in ermüdetem Zustand) verletzt?	Etwas	Ja	Nein

VIELEN DANK FÜR DIE BEANTWORTUNG DES FRAGEBOGENS UND VIEL SPASS BEIM WORKOUT ☺

Teilnehmer:inneninformation und Einverständniserklärung

*Bewegungsqualität im CrossFit® in Abhängigkeit des Leistungsniveaus und des Grads der Ermüdung –
Teilnehmer:inneninformation und Einwilligungserklärung*

Teilnehmer:inneninformation und Einwilligungserklärung zur Teilnahme an der Studie:

„Bewegungsqualität im CrossFit® in Abhängigkeit des Leistungsniveaus und des Grads der Ermüdung“

Sehr geehrte:r Teilnehmer:in,

wir laden Sie ein, an der oben genannten Studie teilzunehmen.

Ihre Teilnahme an dieser Studie erfolgt freiwillig. Sie können jederzeit, ohne Angabe von Gründen, ihre Teilnahme an der Studie zurückziehen. Die Ablehnung der Teilnahme oder ein vorzeitiges Ausscheiden aus dieser Studie hat keine nachteiligen Folgen für Sie.

Diese Art von Studien ist notwendig, um verlässliche neue *wissenschaftliche* Forschungsergebnisse zu gewinnen. Unverzichtbare Voraussetzung für die Durchführung von Studien ist jedoch, dass Sie Ihr Einverständnis zur Teilnahme an dieser Studie schriftlich erklären. Bitte lesen Sie den folgenden Text sorgfältig durch und zögern Sie nicht, Fragen zu stellen.

Bitte unterschreiben Sie die Einwilligungserklärung nur

- wenn Sie Art und Ablauf der Studie vollständig verstanden haben,
- wenn Sie bereit sind, der Teilnahme zuzustimmen und
- wenn Sie sich über Ihre Rechte als Teilnehmer:in an dieser Studie im Klaren sind.

1. Was ist der Zweck der Studie?

Bei der vorgestellten Studie handelt es sich um eine Einzelstudie im Zuge einer Masterarbeit. Im Rahmen der Studie soll die Qualität von ausgewählten Bewegungen in Abhängigkeit des Leistungsniveaus und des Ermüdungszustandes im CrossFit® erforscht werden.

2. Wie läuft die Studie ab?

Die geplante Studie wird an gesunden Männern und Frauen im Alter zwischen 18 und 54 Jahren durchgeführt. Am ersten Tag der Studie werden Sie gebeten, eine Einverständniserklärung zu unterzeichnen und einen zweiseitigen Fragebogen auszufüllen, welcher Fragen zu Alter, Gewicht, Größe, sportlichen Hintergrund, das aktuelle sportliche Leistungsniveau sowie Wettkampferfahrungen im CrossFit®, die Verwendung von Trainingsplänen und die Verletzungsgeschichte beinhaltet. Anschließend werden Sie, entsprechend Ihrer Angaben, für statistische Vergleichszwecke einer Gruppe von Anfänger:innen oder Fortgeschrittenen zugewiesen. Danach folgt ein erster Praxisteil, in dem Ihre maximale Leistungsfähigkeit (Einwiederholungsmaximum) bei einer Übung aus dem Gewichtheben (Clean) ermittelt wird. Eine Woche später folgt der zweite Praxisteil der Studie, welcher in Form eines 12-minütigen Workouts, das bei den CrossFit®-Open 2018 durchgeführt wurde, absolviert wird. Vor Ablauf des Workouts erhalten Sie genaue Informationen über das Regelwerk und die Durchführung. Für die Durchführung des Workouts werden Ihnen Bewegungssensoren (IMU-Sensoren) angelegt, welche es uns erlauben, Ihre Bewegungen aufzuzeichnen und zu untersuchen. Außerdem werden sie mit Kameras aus zwei Perspektiven gefilmt. Das durchzuführende Workout sieht wie folgt aus:

Frauen: 2x Kurzhanteln mit 15kg

Männer: 2x Kurzhanteln mit 22 kg

WORKOUT 18.2 (Teil 1)

1-2-3-4-5-6-7-8-9-10 reps for time of:
Dumbbell squats
Burpees over barbell

WORKOUT 18.2a (Teil 2)

1-rep-max clean

3. Worin liegt der Nutzen einer Teilnahme an der Studie?

Es wird nicht davon ausgegangen, dass Sie einen gesundheitlichen Nutzen oder Nachteil aus der Teilnahme an der Studie ziehen. Sie erhalten bei Interesse Einsicht in den Zusammenhang zwischen ihrer eigenen Leistungsfähigkeit, ihrem Ermüdungszustand im Workout und den Einfluss dieser Faktoren auf Ihre Bewegungsqualität.

4. Gibt es Risiken bei der Durchführung der Studie und ist mit Beschwerden oder anderen Begleiterscheinungen zu rechnen?

Im Rahmen der Studie besteht die Möglichkeit von körperlicher Erschöpfung an den darauffolgenden Tagen. Weiters besteht, wie bei jeder sportlichen Betätigung, die Gefahr einer Verletzung. Bitte beachten Sie, dass die Studie **jederzeit abgebrochen werden kann und keinesfalls über Schmerzen oder Unannehmlichkeiten hinaus** weitertrainiert werden soll. Weiters werden alle Messgeräte und Sportgeräte vor Durchführung ordnungsgemäß überprüft, gereinigt und nach jeder Messung desinfiziert und bei Bedarf gewartet. Es werden darüber hinaus alle zum Testtag gültigen rechtlichen Vorschriften eingehalten.

Bitte beachten Sie, dass Sie nicht teilnehmen können, wenn Sie:

- Unter 18 oder über 54 Jahre alt sind
- Akute Verletzungen oder Erkrankungen haben, die zu Einschränkungen im täglichen Leben führen oder behandlungspflichtig sind
- Sich in der Vergangenheit nie sportlich betätigt haben
- Noch nie Kontakt zu CrossFit® hatten
- Gesundheitlich eingeschränkt sind (akute und chronische Krankheiten, Verletzungen, körperliche Einschränkungen oder Schmerzen, welche die Durchführung der Übungen beeinträchtigen oder limitieren)
- Eine der drei untersuchten Übungen noch nie durchgeführt haben (Kniebeuge, Burpee, Clean)
- Als Mann: keine Kniebeugen mit zwei 22-kg-Kurzhanteln, als Frau: keine Kniebeugen mit zwei 15-kg-Kurzhanteln durchführen können

5. Hat die Teilnahme an der Studie sonstige Auswirkungen auf die Lebensführung und welche Verpflichtungen ergeben sich daraus?

Vor den Untersuchungstagen bitten wir Sie, sich an folgende Vorgaben zu halten:

- Führen Sie 24h vor Ablauf der Testung kein intensives Training durch, um erholt zur Testung erscheinen zu können.
- Tragen Sie bitte an den Testtagen möglichst enganliegende Kleidung ohne reflektierende Drucke. Das erleichtert die Bewegungsanalyse mittels Bewegungssensoren und Videoaufnahmen.

6. Was ist zu tun beim Auftreten von Beschwerdesymptomen, unerwünschten Begleiterscheinungen und/oder Verletzungen?

Sollten im Laufe oder Anschluss an die Studie irgendwelche Beschwerden, unerwünschte Begleiterscheinungen, Verletzungen und/oder Krankheiten auftreten, teilen Sie diese bitte in jedem Fall der Versuchsleitung mit. Die Kontaktdaten der Studien und Versuchsleitung sind im Unterpunkt *Möglichkeit zur Diskussion weiterer Fragen* ersichtlich. Ein Weiterführen der Untersuchungen ist nur möglich, wenn dies für Sie mit keinen gesundheitlichen Nachteilen verbunden ist.

7. Wann wird die Studie vorzeitig beendet?

Sie können die Teilnahme an der Studie jederzeit widerrufen und die Studie aus persönlichen Gründen, ohne resultierende Nachteile, abbrechen. Dazu ist keine Angabe von Gründen erforderlich. Die Studienleitung behält sich das Recht vor, die Teilnahme an der Studie für Teilnehmer:innen zu beenden, sollte aus moralischen, ethischen, gesundheitlichen oder sonstigen Gründen ein vorzeitiges Beenden der Studie notwendig sein. Sollten die Teilnehmenden die Erfordernisse der Studie nicht erfüllen - aufgrund von Krankheit, Verletzungen oder sonstigen Gründen - kann die Versuchsleitung entscheiden, die Teilnahme an der Studie zu beenden. Bei nicht akkurater und mangelnder Durchführung der Tests, können die Teilnehmenden auch vorzeitig von der Studie ausgeschlossen werden.

8. In welcher Weise werden, die im Rahmen dieser Studie gesammelten Daten, verwendet?

Sie werden als teilnehmende Person in keinem Fall namentlich genannt und lediglich die Studiendurchführenden haben Zugang zu den gesammelten Daten. Alle teilnehmenden Personen erhalten beim Ausfüllen des Fragebogens eine ID-Nummer zugewiesen. In allen Dateien und Fragebögen wird nur Ihre persönliche ID-Nummer, nicht ihr Name verwendet. Die Studiendurchführenden sind zur absoluten Verschwiegenheit verpflichtet. Die aufgenommenen Videodateien ihres Cleans sowie des durchgeführten Workouts dienen der Versuchsleiterin zur Auswertung und Analyse der Bewegungsparameter und werden im Anschluss der Datenauswertung unwiderruflich gelöscht. Individuelle personenbezogene Daten, welche einen potenziellen Rückschluss auf die teilnehmende Person erlauben würden, werden nicht dargestellt. Ein Rückschluss auf die Person wird demnach nicht möglich sein. Die Weitergabe der Daten dient ausschließlich statistischen Zwecken. Auch in etwaigen Veröffentlichungen der Daten wird gewährleistet, dass aufgrund der Daten keine Rückschlüsse auf die teilnehmenden Personen gezogen werden können. Sie können das Löschen Ihrer Daten bis zu 8 Wochen nach Ihrer persönlichen Teilnahme an der Studie erwünschen. Nach dieser Frist ist dies nicht mehr möglich, da sowohl der Zuordnungsschlüssel mit den ID-Nummern als auch die aufgenommenen Videodateien nach Abschluss der Datenauswertung unwiderruflich gelöscht werden. Ab diesem Zeitpunkt können die Daten nicht mehr einzelnen Personen zugeordnet werden.

Ihre Einverständniserklärung wird in einem, nicht für Dritte zugänglichen, Schrank für 10 Jahre aufbewahrt. Das Videomaterial dient zur Dokumentation und Analyse und ist nach der Datenerhebung nur für die Studienleiterin und nur für Studienzwecke zugänglich. Es wird nach Abschluss der Datenauswertung unwiderruflich gelöscht.

Nach dem Studienende und unter Einhaltung der vollständigen Anonymisierung der Daten wird geplant, diese in einem wissenschaftlichen Fachjournal zu veröffentlichen.

9. Entstehen für die Teilnehmer:innen Kosten? Gibt es einen Kostenersatz oder eine Vergütung?

Für Ihre Teilnahme entstehen keine Kosten. Eine finanzielle Entschädigung wird nicht gewährt. Nach der Teilnahme an der Studie erhalten Sie einen Energy Drink sowie einen Müsliriegel als Dankeschön für Ihren zeitlichen Aufwand.

Sie erhalten auf Nachfrage ihre aufgenommenen persönlichen Daten und auf Anfrage auch die Ergebnisse der Studie.

10. Möglichkeit zur Diskussion weiterer Fragen

Für weitere Fragen im Zusammenhang mit der Studie steht Ihnen die Studienleitung sehr gerne via Telefon, E-Mail oder persönlichem Austausch, über die gesamte Dauer der Studie sowie des Analysezeitraums, zur Verfügung.
Selbstverständlich beantwortet diese Ihnen auch gerne Fragen, die Ihre Rechte als Teilnehmer:in an der Studie betreffen.

Namen der Kontaktperson bzw. der Kontaktpersonen:

Versuchsleiter:in im Rahmen der Verfassung der Masterarbeit in Bewegung und Sport	Name: Katharina Böse, Bed. 
Betreuer der Masterarbeit	Name: Univ.-Prof. Mag. Dr. Robert Csapo E-Mail: robert.csapo@univie.ac.at Tel.: +43-1-4277-59160

11. Einwilligungserklärung

Name der teilnehmenden Person in Druckbuchstaben:

Geb. Datum:

Ich erkläre mich bereit, an der Studie „Bewegungsqualität im CrossFit® in Abhängigkeit des Leistungsniveaus und des Grads der Ermüdung“ teilzunehmen.

Ich bin von der Versuchsleiterin Katharina Böse ausführlich und verständlich über Zielsetzung, Bedeutung und Tragweite der Studie und die sich für mich daraus ergebenden Anforderungen aufgeklärt worden.

Ich habe darüber hinaus den Text dieser Teilnehmer:inneninformation und Einwilligungserklärung gelesen, insbesondere den 4. Abschnitt (Gibt es Risiken, Beschwerden und Begleiterscheinungen?). Aufgetretene Fragen wurden mir von der Versuchsleitung verständlich und ausreichend beantwortet. Ich hatte genügend Zeit, mich zu entscheiden, ob ich an der Studie teilnehmen möchte. Ich habe zurzeit keine weiteren Fragen mehr.

Ich werde die Hinweise, die für die Durchführung der Studie erforderlich sind, befolgen, behalte mir jedoch das Recht vor, meine freiwillige Mitwirkung jederzeit zu beenden, ohne dass mir daraus Nachteile entstehen. Sollte ich aus der Studie ausscheiden wollen, so kann ich dies bis zu acht Wochen nach Abschluss der Studienteilnahme schriftlich oder mündlich bei Katharina Böse (a11729364@unet.univie.ac.at) veranlassen.

Ich bin zugleich damit einverstanden, dass meine, im Rahmen dieser Studie erhobenen Daten, aufgezeichnet und ausgewertet werden.

Ich stimme zu, dass meine Daten zunächst in pseudonymisierter Form und langfristig in anonymisierter Form elektronisch gespeichert werden. Noch nicht anonymisierte Daten werden in einer nur der Projektleitung zugänglichen Form gespeichert, die gemäß aktueller Standards gesichert ist.

Sollte ich die Löschung meiner Daten wünschen, so kann ich dies schriftlich oder telefonisch ohne Angabe von Gründen und bis 8 Wochen nach Abschluss der Testung bei Katharina Böse (a11729364@unet.univie.ac.at) veranlassen.

Den Aufklärungsteil habe ich gelesen und verstanden. Ich konnte im Aufklärungsgespräch alle mich interessierenden Fragen stellen. Sie wurden vollständig und verständlich beantwortet.

**Eine Kopie dieser Teilnehmer:inneninformation und Einwilligungserklärung habe ich erhalten.
Das Original verbleibt bei der Studienleitung.**

20.12.2023.....
(Datum und Unterschrift der Teilnehmerin/des Teilnehmers)

20.12.2023.....
(Datum, Name und Unterschrift der Studienleitung)

12. Einwilligungserklärung zur Aufzeichnung und Analyse von Video- und Tonaufnahmen

Name der teilnehmenden Person in Druckbuchstaben:

Geb. Datum:

Ich wurde durch die Versuchsleitung darüber informiert, dass im Zuge der Studienteilnahme Video- und Tonaufzeichnungen von meiner Person aufgenommen werden. Diese dienen der Untersuchung der Untersuchung und Analyse der Bewegungsqualität im Rahmen der Studie und werden ausschließlich zu wissenschaftlichen Zwecken verwendet.

Mit der Unterzeichnung dieser Zustimmungserklärung stimme ich zu, dass während der Testung Video- und Tonaufnahmen von meiner Person durchgeführt werden. Ich bestätige mein Einverständnis, dass die im Rahmen dieser Studie aufgenommenen Video- und Tonaufnahmen meiner Person von der Versuchs- und Studienleitung analysiert und ausgewertet werden dürfen.

Ich stimme zu, dass meine Daten zunächst in pseudonymisierter Form und langfristig in anonymisierter Form elektronisch gespeichert werden. Noch nicht anonymisierte Daten werden in einer nur der Projekt- leitung zugänglichen Form gespeichert, die gemäß aktuellem Standard gesichert ist. Sollte ich die Löschung meiner Daten wünschen, so kann ich dies schriftlich oder telefonisch ohne Angabe von Gründen und bis 8 Wochen nach Abschluss der Testung bei Katharina Böse (a11729364@unet.univie.ac.at) veranlassen.

Eine Kopie dieser Einwilligungserklärung zur Aufzeichnung von Video- und Tonaufnahmen habe ich erhalten.

Das Original verbleibt bei der Studienleitung.

.....
(Datum und Unterschrift der Teilnehmerin/des Teilnehmers)

.....
(Datum, Name und Unterschrift der Studienleitung)

Antragsformular der Ethikkommission der Universität Wien

Antragsformular zur Beurteilung einer geplanten wissenschaftlichen Studie durch die Ethikkommission der Universität Wien

Stand: Februar 2023

Die beantragte Studie ist als Beilage anzuhängen. Es kann **zusätzlich** (!) zur kurzen Beantwortung der Fragen (max. 150 Wörter) auf den sich beziehenden Teil im Antragsformular verwiesen werden.

Nicht zutreffende Punkte bitte mit t.n.z. (trifft nicht zu) beantworten.

Die Ethikkommission macht darauf aufmerksam, dass ausschließlich formal vollständige Anträge behandelt werden. Sollten noch Ergänzungen aus formalen Gründen notwendig sein bzw. Informationen fehlen (z. B. Fragebögen), kann der Antrag erst zu einem späteren Sitzungstermin behandelt werden.

1. Allgemeines

1.1. Name der Antragstellerin*des Antragstellers

Univ.-Prof. Mag. Dr. Robert Csapo

1.2. Titel der Studie

Bewegungsqualität im CrossFit® in Abhängigkeit des Leistungsniveaus und des Grads der Ermüdung

1.3. Bei der vorgelegten Studie handelt es sich um:

☐ ein drittmittelfinanziertes Projekt

☐ beantragt

☐ bereits bewilligt

Fördergeber/Universitätsinterne Projektnummer/Kostenstelle (falls bereits vorhanden):

☐ ein universitätsinternes Projekt

☐ eine Dissertation (PhD-Arbeit)

Name der Betreuerin*des Betreuers:

Die*der Betreuer*in wurde über die Einreichung informiert

☐ Ja

☐ Nein

Datum der positiv absolvierten fakultätsöffentlichen Präsentation (FÖP)

☒ eine Masterarbeit/eine Diplomarbeit

Name der Betreuerin*des Betreuers:

Univ.-Prof. Mag. Dr. Robert Csapo

Einreichung wurde beantragt von:

☒ Betreuer*in

☐ Studienrechtliches Organ

1.4. Warum bzw. wofür wird ein Votum der Ethikkommission benötigt?

☒ Die Untersuchung könnte die physische oder psychische Integrität, das Recht auf Privatsphäre oder sonstige subjektive Rechte oder überwiegende Interessen von Versuchspersonen beeinträchtigen.

- ☒ Das Votum wird von einem Publikationsorgan verlangt.
☐ Das Votum wird von einem Fördergeber verlangt.
☐ Sonstige Gründe, nämlich:

- 1.5. Wurde für die Studie bereits ein Begutachtungsverfahren durch eine Ethikkommission durchgeführt?
☐ Ja ☒ Nein Wenn Ja, Gutachten beilegen

2. Kurzinformationen zur geplanten Studie

- 2.1. Handelt es sich um eine Teilstudie innerhalb eines größeren Forschungsvorhabens? Wenn ja: bitte den Titel dieses größeren Projekts angeben.

Bei der vorgestellten Studie handelt es sich um eine Masterarbeit, im Rahmen derer die Qualität von ausgewählten Bewegungen beim CrossFit® in Abhängigkeit des Leistungsniveaus und des Ermüdungszustandes erforscht wird. Die Studie wird aufgrund des limitierten zeitlichen Rahmens der Masterarbeit Lehramt als verkleinerte Pilotstudie mit einer Proband:innenanzahl von 24 Personen durchgeführt. Die Pilotstudie soll eine Grundlage für eine weitere Untersuchung im Rahmen des Zweitstudiums Sportwissenschaft der Studierenden bilden und einen Grundstein für die Erforschung der Thematik setzen.

- 2.2. Fachdisziplin

Sportwissenschaft / Trainingswissenschaft

- 2.3. Kurzbeschreibung der geplanten Studie (max. 500 Wörter)

CrossFit® ist eine sehr schnell wachsende Trendsportart, welche vor allem durch das Unternehmen CrossFit LLC als neuer Sport schnell verbreitet wurde. Charakteristisch für die Sportart ist die Durchführung von unterschiedlichen funktionellen Bewegungen, welche meist mit hoher Intensität durchgeführt werden und Übungen aus den Sportbereichen Gewichtheben, Turnen und Herzkreislauf-Training beinhalten (Meier et al., 2023). Verschiedene Übungen aus diesen drei Sportbereichen werden im Rahmen eines „Workout of the Day“ (WOD) täglich neu kombiniert und durchgeführt. Meist zielt das Tagesprogramm darauf ab, das Workout in so kurzer Zeit wie möglich durchzuführen und hierbei wenig bis gar keine Erholungszeit zu benötigen (Glassman, 2002-2020). Das Verletzungsrisiko von CrossFit® ist seit dessen Gründung in den 2000er Jahren umstritten und trotz der schnell wachsenden Popularität der Sportart vergleichsweise wenig untersucht (Alekseyev et al., 2020). Jedoch konnte bei einer Studie von (Ángel Rodríguez et al., 2022) gezeigt werden, dass im CrossFit® die Verletzungshäufigkeit mit jener im Powerlifting oder Gewichtheben vergleichbar ist und vor allem Schulter, Wirbelsäule und Knie betroffen sind. Weitere Studien kamen ebenso zum Schluss, dass die Verletzungsrate ähnlich hoch wie bei Gymnastik, Kraftdreikampf und Gewichtheben ist (Alekseyev et al., 2020). Bei Männern zeigte sich dabei eine höhere Verletzungswahrscheinlichkeit als bei Frauen. Weiters konnte festgestellt werden, dass die Betreuung durch Trainer:innen die Häufigkeit, Verletzungen zu erleiden, deutlich verringert (Meyer et al., 2017). Dies legt die Vermutung nahe, dass Verletzungen im CrossFit® häufig von unsauberer Bewegungsausführung ausghen. Aus diesem Grund ist es wichtig, Kenntnisse über die Bewegungsqualität zu erlangen.

Im Zuge der hier beantragten Studie sollen 24 Proband:innen (davon 12 Anfänger:innen und 12 fortgeschrittene Athlet:innen) in einem CrossFit®-Studio bei einem *1-RM-clean* und einem „Workout of the

Day“ getestet werden. Die Qualität der Ausführung verschiedener Übungen wird mithilfe von inertialen Messeinheiten (IMUs; Ultium Portable Lab, Noraxon, USA) und Kameraaufnahmen aufgezeichnet und mittels der frei zugänglichen Software Kinovea® analysiert. Dies ist eine valide und reliable Methode, mit der Gelenkwinkel mit einer Toleranz von $< 5^\circ$ untersucht werden können (Fernández-González et al., 2020). Frühere Studien zum Einfluss von Voreremüdung auf die Bewegungsqualität, die mit Hilfe kinematischer Bewegungsanalysemethoden durchgeführt wurden, zeigten im prae-post Vergleich Effektstärken von $SMD > 1.0$ (Weeks et al., 2015). Bei einem Signifikanzniveau von $\alpha = 0.05$, einer statistischen Power von $1 - \beta = 0.95$ und einer konservativ geschätzten Korrelation der verbundenen Daten von $r = 0.5$, können signifikante Unterschiede demnach bereits ab einer Stichprobengröße von 16 Personen erwartet werden. Aufgrund möglicher Dropouts und zur Gewährleistung der statistischen Power bei unterschiedlichen Outcomes, werden in Summe $n = 24$ Personen in die Studie eingeschlossen.

2.4. Zielsetzung der Studie (Fragestellungen, Hypothesen etc.)

Ziel der Pilotstudie ist es, zu untersuchen, ob sich die Qualität der Bewegungsausführung im CrossFit® in Abhängigkeit vom Leistungsniveau und dem Ermüdungszustand unterscheidet. Hierbei ist die Unterteilung der Proband:innen in Anfänger:innen und Fortgeschrittene wichtig, welche sich nach der sportlichen Erfahrung im CrossFit®-Bereich und der entsprechenden Wettkampferfahrung auf nationaler und internationaler Ebene richtet. Es wird davon ausgegangen, dass sich die Bewegungsqualität bei erfahrenen CrossFittern im Rahmen einer Trainingseinheit (i.e., während zunehmender Ermüdung) weniger stark verändert, als bei Anfänger:innen.

2.5. Wissenschaftliche und gesellschaftliche Relevanz der Studie

Die Ergebnisse der Studie werden zeigen, ob sich die Bewegungsqualität im CrossFit® in Abhängigkeit von Leistungsniveau und Ermüdung unterscheidet. Diese Informationen sind für die Prävention von Verletzungen und die Information und Weiterbildung von Trainer:innen von besonderer Bedeutung und werden helfen, die Qualität von Gruppeneinheiten im CrossFit®-Bereich zu verbessern. Angesichts des bereits erwähnten Mangels an entsprechenden Studien und der Popularität der Sportart ist die Untersuchung von gleichermaßen großem sportwissenschaftlichem und sportpraktischem Interesse (Alekseyev et al., 2020).

2.6. Beschreibung des Untersuchungsdesigns (z. B. Erhebungszeitpunkte, Kontrollgruppen, Anzahl der Gruppen, Fallzahl-schätzung, Stichprobengewinnung u. dgl.)

Die Studie wird im Zeitraum von Juli bis Dezember 2023 im CrossFit®-Arch, Heiligenstädter Straße 31, 1190 Wien, durchgeführt. Aufgrund des Platzbedarfs für die Durchführung des Workouts und der begrenzten Anzahl an IMU-Sensoren werden die Proband:innen zu unterschiedlichen Terminen und Testzeiten zur Studie gebeten. Gesamt werden 24 Proband:innen, davon 12 Anfänger:innen und 12 Fortgeschrittene, eingeschlossen.

Die Rekrutierung erfolgt über Ausschreibungen auf den sozialen Medien des CrossFit®-Studios (Crossfit-Arch) und Bekanntgabe der Studie im Studio durch Plakate und Mundpropaganda in Gruppenstunden (siehe Anhang Datei „Ausschreibung/Werbung Studie“).

2.7. Beschreibung der Methode der Datenerhebung, der Stichprobe (Studienteilnehmer*innen), der Studienmaterialien (z. B. verwendete Instrumente) u. dgl.

Bei der Anmeldung und Terminvergabe werden die Proband:innen bereits über die Methoden und Inhalte der Studie aufgeklärt. Weiters erfolgt bereits hier eine Zuteilung in die Gruppe der Anfänger:innen oder

Fortgeschrittenen, welche mittels der schriftlichen Angabe der Kriterien für die Gruppeneinteilung klar nachvollziehbar und ersichtlich ist. Vor der Durchführung des ersten praktischen Tests am jeweiligen Testtag werden die Testpersonen erneut schriftlich und mündlich über die Studie aufgeklärt, eine Einverständniserklärung eingeholt und ein zweiseitiger Fragebogen ausgefüllt. Dieser beinhaltet Fragen zum sportlichen Hintergrund, dem aktuellen sportlichen Leistungsniveau sowie Wettkampferfahrungen im CrossFit®, zur Verwendung von Trainingsplänen und Verletzungsgeschichte (siehe Anhang Datei „Fragebogen“) sowie zum Fokus auf die Bewegungsqualität im eigenen Training. In der Teilnehmer:innen-Information werden die Ein- und Ausschlusskriterien der Studie nochmals klar aufgelistet. Die Fragebögen dienen einer klaren Zuteilung zur Gruppe der Anfänger:innen oder der Gruppe der Fortgeschrittenen. Die Erhebung von Daten zur Bewegungsqualität erfolgt durch Videoaufnahmen des Workouts aus zwei Kameraperspektiven, die mittels der Software Kinovea® ausgewertet werden sowie 8 inertielle Messeinheiten (IMUs; Utiom Portable Lab, Noraxon, USA). Die Proband:innen werden darüber informiert, möglichst eng anliegende und nicht reflektierende Kleidung zu tragen, um die Reliabilität der kinematischen und IMU-basierten Bewegungsanalyse zu erhöhen.

Ablauf der Studie am 1. Testtag:

Teil 1: Fragebogen

Am ersten Tag der Studie unterzeichnen die Proband:innen nach neuerlicher schriftlicher und mündlicher Information die Einverständniserklärung und bestätigen hiermit, dass sie den Teilnahmebedingungen und -voraussetzungen der Studie zustimmen. Hierauf erhalten die Studienteilnehmer:innen einen zweiseitigen Fragebogen, welchen sie vor der Durchführung der praktischen Studie ausfüllen. Im Zuge des Fragebogens geben die Teilnehmer:innen persönliche Informationen zu ihrem aktuellen Gesundheitszustand und ihrer sportlichen Hintergrundgeschichte an.

Teil 2: Praxisteil 1 – 1-RM-Clean:

Nach dem Ausfüllen des Fragebogens werden die Proband:innen zum ersten praktischen Teil der Studie weitergeführt. Im ersten Teil der Studie wird die maximale Leistungsfähigkeit in Form des Einwiederholungsmaximums (1-RM) beim *Clean* (Umsetzen) getestet. Die Teilnehmenden haben hierbei ausreichend Zeit, um sich an ihr 1-RM heranzuarbeiten. Während der Durchführung der Übung werden die Proband:innen mit Kameras aus zwei Perspektiven (frontal und seitlich) gefilmt, um die Qualität der Bewegungsausführung erfassen und zwischen ausgeruhtem und ermüdetem Zustand (im Rahmen des Workouts) vergleichen zu können. Weiters werden den Proband:innen Marker am *digitus pedis III*, am *Calcaneus*, der *Articulatio talocruralis*, dem *Malleolus lateralis*, dem *Condylus lateralis femoris*, und dem *Trochanter major* zur besseren Beobachtung und Analyse mittels KINOVEA® angebracht. Ein weiterer Marker wird außerdem an der Außenseite der Langhantel befestigt. Die Proband:innen haben ein gültiges 1-RM, wenn die Hantel in der Endposition in der Front Rack Position ist, auf den Schultern aufliegt und von den Händen umschlossen wird. Außerdem muss ein aufrechter Stand mit gestreckter Hüfte klar ersichtbar sein.

Ablauf der Studie am 2. Testtag:

Etwa eine Woche nach dem ersten praktischen Test werden die Proband:innen zum zweiten Testtag eingeladen, wobei auf ausreichend zeitlichen Abstand zum ersten Messtermin geachtet wird. Der zweite Praxisteil der Studie erfolgt im Rahmen eines Workouts, welches bei den CrossFit®-Open im Jahr 2018 durchgeführt wurde. Die Aufnahme der Daten erfolgt hierbei mittels IMU-Sensoren und Markern sowie mittels Videoaufnahme aus der Seit- und Frontalansicht. Dieser Messaufbau bedingt, dass immer nur eine Proband:in pro Timeslot untersucht werden kann.

Die Proband:innen werden zunächst gefragt, ob seit dem ersten Messtermin Beschwerden oder Verletzungen aufgetreten sind. Etwaige Angaben werden im Studienprotokoll dokumentiert. Im Anschluss daran werden die Proband:innen gebeten, sich für das Workout aufzuwärmen. Hierauf bringt die Versuchsleiterin die IMUs an der oberen (im Bereich des TH1) und unteren Wirbelsäule (L1), am Sacrum, am unteren und oberen Thorax, an beiden Ober- und Unterschenkeln sowie am Fuß der Studienteilnehmer:innen an. Die IMU-Sensoren werden kalibriert und auf ihre Funktionsfähigkeit getestet. Anschließend erhalten die Proband:innen nochmals genaue Informationen zum Ablauf des Workouts und Anweisungen zur korrekten Positionierung bei der Durchführung der Übungen, um diese bei der Auswertung gut analysieren zu können. Sind die Proband:innen bereit, starten sie auf ein Startsignal mit dem Workout, welches in der Qualifikationsrunde für die CrossFit®-Games 2018 durchgeführt wurde. Die Zeit, welche die Proband:innen für das Workout benötigen wird gestoppt. Das Workout besteht aus zwei Teilen, wobei im ersten Teil in einer definierten Zeit eine möglichst große Anzahl von Kniebeugen und Burpees („*reps for time*“) durchgeführt werden sollen. Im zweiten Teil wird neuerlich das Umsetzen eines Maximalgewichts (*Cleans*) getestet, um auch diese Übung im ermüdeten Zustand zu untersuchen. Für die Absolvierung des gesamten Workouts haben die Proband:innen 12 Minuten Zeit. Ziel ist es, den ersten Teil des Workouts so schnell wie möglich zu absolvieren, um möglichst viel verbleibende Zeit für die Durchführung eines „*1-rep-max Cleans*“ zu haben (*Open Week 2, 2018*).

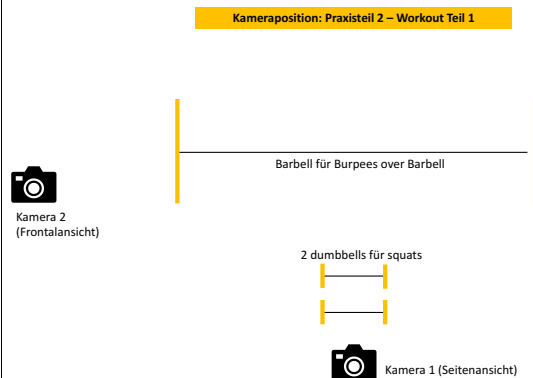
Die Untersuchungsaufbau für beide Teile des Workouts kann den nachfolgenden Skizzen entnommen werden.

WORKOUT 18.2 (Teil 1)

1-2-3-4-5-6-7-8-9-10 reps for time of:

Dumbbell squats

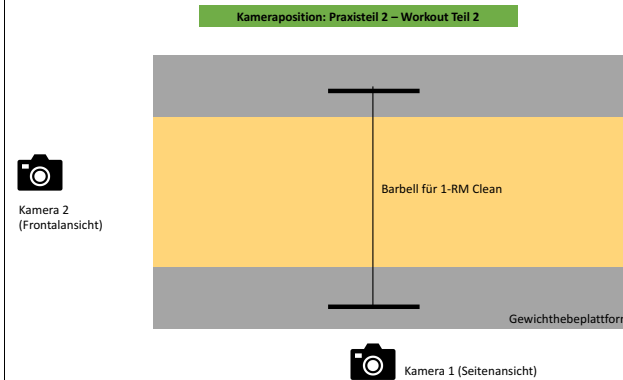
Burpees (lateral) over barbell



Nach der Durchführung des Teil 1 bewegen sich die Proband:innen auf die Gewichthebeplattform, um dort einen *1-rep-max clean* durchzuführen. Hierfür werden die beiden Kameras neu positioniert (siehe Abbildung).

WORKOUT 18.2a (Teil 2)

1-rep-max clean



Die genaue Ausführung und das Regelwerk werden den offiziellen Regeln der CrossFit®-Games 2018 entnommen und mithilfe der angeführten „scorecard“ ausgewertet (Open Week 2. (2018). CrossFit Inc., Zugriff am 21.04.2023 unter <https://games.crossfit.com/workouts/open/2018/2?division=2>)

Gewichtsvorgaben:

Frauen: zwei Kurzhanteln mit einem Gewicht von 15kg

Männer: zwei Kurzhanteln mit einem Gewicht von 22 kg

Divers: Gewicht je nach persönlicher Zugehörigkeit zu einem Geschlecht

Nach Abschluss der Datensammlung werden die erhobenen Daten ausgewertet. Die Bewegungsqualität soll hierbei beim *clean* sagittal anhand des Weges des Langhantel und des Knieflexionswinkels sowie frontal anhand des Hüftabduktionswinkels sowie der horizontalen Auslenkung untersucht werden. Mithilfe der aufgenommenen Videos und der gesetzten Marker auf der Langhantel sollen außerdem sowohl die Hantelgeschwindigkeit in verschiedenen Phasen der Bewegung sowie Veränderungen des Hantelweges untersucht werden. Beim *dumbbell squat* werden primär der Kniewinkel und die Wirbelsäulenposition beobachtet. Bei der Durchführung des *burpee* werden die Position der Wirbelsäule sowie Veränderungen der Geschwindigkeit in den einzelnen Phasen des *burpee* analysiert. Hierbei wird der Fokus der Untersuchung auf die Dauer der Phase des Ablegens und des Streckesprunges sowie mögliche Geschwindigkeitsveränderungen gelegt. Die Untersuchung und Bearbeitung der Daten erfolgen mithilfe der aufgenommenen Videos, der Daten aus der IMU-Analyse sowie der Fragebögen. Die Zielparameter werden, nach Prüfung der entsprechenden Anwendungsvoraussetzungen, mit Hilfe zweifaktorieller Varianzanalysen auf den Einfluss der Faktoren „Gruppe“ und „Zeit“ sowie etwaiger Interaktionseffekte statistisch geprüft.

2.8. Geplanter Beginn und voraussichtliche Gesamtdauer der Studie

6

Hinweis: Bereits begonnene oder abgeschlossene Projekte werden von der Ethikkommission nicht begutachtet.

Nach positivem Votum der Ethikkommission, Dauer ca. 10 Monate

3. Studienteilnehmer*innen

3a Rekrutierung der Teilnehmenden sowie Ein- und Ausschlusskriterien für die Studienteilnahme

- 3.1. Geplante Anzahl der Teilnehmenden

24 Proband:innen

- 3.2. Voraussichtliche Zeitdauer der Studienteilnahme für die Teilnehmenden

1x30 Minuten + 1x70 Minuten

- 3.3. Charakterisierung der Teilnehmenden

- Mindestalter: Höchstalter:
- Geschlecht: ☒ männlich ☒ weiblich ☒ divers
- Sind nicht persönlich Einwilligungsfähige einschließbar? ☐ Ja ☒ Nein
- Handelt es sich bei den Teilnehmenden um Kinder oder andere vulnerable Gruppen?

Nein

- 3.4. Beschreiben Sie das geplante Rekrutierungsverfahren (bitte alle zur Verwendung bestimmten Materialien, z. B. Inserate, beilegen):

Die Rekrutierung erfolgt über Ausschreibungen auf den sozialen Medien des CrossFit®-Studios (Crossfit-Arch) und Bekanntgabe der Studie mittels Plakaten und Mundpropaganda in Gruppenstunden des Studios.

- 3.5. Legen Sie kurz die Auswahl der Teilnehmenden sowie die Ein- und Ausschlusskriterien dar (wenn zutreffend: explizite Begründung für den Einschluss von Personen aus geschützten Gruppen, z. B. Minderjährigen, temporär oder permanent nicht einwilligungsfähigen Personen)

Ausschlusskriterien

Ausgeschlossen werden

*Personen unter 18 Jahren

*Personen ab 55 Jahren

*Personen mit akuten Verletzungen oder Erkrankungen, die zu Einschränkungen im täglichen Leben führen oder behandlungswürdig sind

*Personen, welche bislang keinen Kontakt zu CrossFit® hatten

*Gesundheitlich eingeschränkte Personen (akute und chronische Krankheiten, Verletzungen, körperliche Einschränkungen oder Schmerzen, welche die Durchführung der Übungen beeinträchtigen oder limitieren)

*Teilnehmer:innen, die mindestens eine der drei vorkommenden Übungen noch nie durchgeführt haben

*Teilnehmer, die keine Kniebeugen mit zwei 22-kg-Kurzhanteln bzw. Teilnehmerinnen, die keine Kniebeugen mit zwei 15-kg-Kurzhanteln durchführen können

Einschlusskriterien *Personen zwischen 18 und 54 Jahre *Alle Geschlechter *Sportlich tätige Personen im CrossFit®- und Functional Fitness-Bereich *Definition „Anfänger:in“: Personen, welche seit weniger als drei Jahren Crossfit ausüben und noch keine Wettkampferfahrung auf nationalem oder internationalem Niveau in der Einzeldisziplin gesammelt haben *Definition „Fortgeschrittene“: Personen, welche den Sport seit mehr als drei Jahren regelmäßig ausüben (keine Trainingsunterbrechungen von mehr als gesamt zwei Monaten) und bereits Wettkampferfahrung auf nationaler und internationaler Ebene in der Einzeldisziplin gesammelt haben *Gesunde Personen (keine aktuellen und chronischen Erkrankungen, Verletzungen, Einschränkungen oder Schmerzen, welche die Durchführung an der Studie beeinträchtigen oder limitieren könnten) *Proband:innen welche die Übungen <i>burpee</i>, Kniebeugen mit Kurzhanteln und <i>Cleans</i> sicher durchführen können

- 3.6. Wird die Zustimmung der Teilnehmenden oder deren gesetzlicher Vertretung eingeholt?

☒ Ja (Informationsblätter und Einwilligungserklärung beilegen)

☐ Nein Wenn nein, warum nicht:

--

- 3.7. Welche (persönlichen, sozialen, institutionellen) Beziehungen bestehen zwischen den Teilnehmenden und den Studiendurchführenden (z. B. Studierende-Lehrkraft, Dienstnehmer*in-Dienstgeber*in etc.)? Ist die Freiwilligkeit der Studienteilnahme gewährleistet?

Die Freiwilligkeit der Teilnahme wird gewährleistet. Die Versuchsleiterin ist im Crossfit Arch angestellt. Crossfit Arch unterstützt lediglich die Untersuchung durch die zur Verfügungstellung der Räumlichkeiten und des Equipments. Das Unternehmen hat jedoch keinen Einfluss auf die Durchführung der Untersuchung sowie Auswertung, Zugang und Analyse der Daten. Die Versuchsleiterin führt die Studie außerhalb ihres Anstellungsverhältnisses durch.
--

3b Datenschutz

Bitte unterscheiden Sie Anonymisierung und Pseudonymisierung!

Anonymisierung: Daten können einer Person unwiderruflich nicht oder nicht mehr zugeordnet werden. Daher unterliegen anonyme und anonymisierte Daten keinem Datenschutz.

Pseudonymisierung: Daten lassen sich einer Person mit zusätzlichen Informationen (meist einem Identifikationsschlüssel) zuordnen (Art. 4 Z 5 DSGVO) und bleiben daher personenbezogene Daten. Als solche unterliegen sie dem Datenschutz.

- 3.8. Welche personenbezogenen (d.h. Informationen, die sich auf eine identifizierte oder identifizierbare natürliche Person beziehen) Daten werden erhoben?

Allgemeine personenbezogene Daten Alter, Körpergröße, Körpergewicht, sportliche Betätigung, Trainingsstatus, Trainingsalter, vergangene und aktuelle Verletzungen, Dauer der Erfahrung im CrossFit®-Bereich, individuelle Wettkampferfahrung im CrossFit®-Bereich (national, international), Training nach Trainingsplan oder mit Trainer:in

3.9. Wie wird die Anonymität der Teilnehmenden gewährleistet?

Alle im Zuge der Studie aufgenommenen Daten und Videos werden mit einer ID-Zahl der Teilnehmer:in versehen (Pseudonymisierung) und sind nur der Versuchsleiterin zugänglich. Der entsprechende Zuordnungsschlüssel und die aufgenommenen Videos werden nach Abschluss der Datenauswertung gelöscht, womit die Daten nicht mehr einzelnen Personen zugeordnet werden können (Anonymisierung). Bis zum Zeitpunkt der Anonymisierung kann die Löschung persönlicher Daten jederzeit schriftlich oder mündlich bei der Studienleitung beantragt werden.

3.10. Wenn eine vollständige Anonymisierung personenbezogener Daten nicht möglich ist: Wie wird die Privatsphäre der Teilnehmenden geschützt?

Allen Teilnehmenden der Studie wird bis zu acht Wochen (voraussichtlicher Abschluss der Datenauswertung) nach der Teilnahme an der Studie die Möglichkeit gegeben, die Löschung der eigenen Daten zu fordern. Dem wird jedenfalls nachgegeben ohne, dass Nachteile für die Person entstehen.

3.11. Werden Stimmen, Bilder oder Videos aufgenommen?

☒ Ja ☐ Nein

Wenn Ja: Wird die Einwilligung der Teilnehmenden zur Aufnahme eingeholt?

Die Teilnehmenden werden vor der Anmeldung zur Studie mündlich auf die Videoaufnahmen hingewiesen. Am Tag der Studie werden die genaue Verwendung des Videomaterials nochmals erklärt und eine schriftliche Einwilligung dazu eingeholt.

3.12. Wie wird gewährleistet, dass die Teilnehmenden jederzeit die laufende Mitwirkung an der Studie abbrechen können?

Die Teilnehmer*innen werden am Anfang der Studie schriftlich und mündlich darauf hingewiesen, dass sie jederzeit und ohne Angabe von Gründen das Recht haben, die Studie zu beenden. Davon können sie zu jedem Zeitpunkt Gebrauch machen, ohne, dass ein Nachteil für sie entsteht.

3.13. Wie erfolgt die Verarbeitung und Auswertung der Studiendaten?

☐ personenbezogen, Begründung:

t.n.z.

☒ indirekt personenbezogen Wie erfolgt die Anonymisierung?

Die Teilnehmenden erhalten am Tag ihrer Studiendurchführung eine ID, die zur Kennzeichnung aller erhobenen Daten und Videos in pseudonymisierter Form verwendet wird. Alle Daten werden auf einem passwortgeschützten PC, getrennt von den Analysedateien, gespeichert und sind nur der Untersuchungsleiterin zugänglich. Auch die aus der Auswertung der Videos resultierenden kinematischen Daten werden mit der ID verbunden in pseudonymisierter Form gespeichert. Nach Abschluss der Datenauswertung werden der Pseudonymisierungsschlüssel und die Videos gelöscht, so dass die Daten nicht mehr einzelnen Personen zugeordnet werden können (Anonymisierung).

Hinweis: Bitte beachten Sie, dass es aus datenschutzrechtlicher Sicht empfehlenswert ist, ausschließlich anonymisierte Daten zu verwenden.

- 3.14. Wo, wie lange und in welcher Form werden die folgenden Daten aufbewahrt bzw. gespeichert? Für welche Personen sind diese Daten zugänglich?

a. Einverständniserklärung

Die Einverständniserklärungen werden für 10 Jahre in einem abgesperrten Schrank mit ausschließlichem Zugang durch die Studienleitung aufbewahrt.

b. Studiendaten (Daten, welche im Laufe der konkreten Studie erhoben werden; z. B. Mess-Rohdaten, Audio- und Videomaterial, Beobachtungsprotokolle, Transkripte von Interviews und Fokusgruppen etc.)

Alle Protokolle von Messdaten und Fragebögen werden lediglich mit der Teilnehmer-ID, nicht mit dem Namen der Proband:innen gekennzeichnet. Nach Anonymisierung werden die Daten durch die Studienleitung digital in einem passwortgesicherten Netzwerk der Universität Wien aufbewahrt und auf ein Repositorium geladen. Eine Vernichtung dieses reduzierten und anonymisierten Datensatzes ist nicht geplant. Dies steht im Einklang mit den FAIR Prinzipien (Wilkinson et al., 2016). Das Videomaterial wird bis zum Abschluss der Analyse, getrennt von den erhobenen Daten, im gesicherten Netzwerk der Universität aufbewahrt und danach ebenfalls unwiderruflich gelöscht.

c. Anamnesebögen

Zwei Jahre nach Beendigung der Studie werden die Anamnesebögen vernichtet. Bis dahin werden sie in einem verschlossenen Schrank am Institut aufbewahrt. Sie enthalten den vollständigen Namen, jedoch nicht die Identifikationsnummer und werden abgesondert von diesem aufbewahrt. Ein Zugriff durch Dritte ist nicht möglich.

d. Humanproben (z. B. Blutproben, Speichelproben)

- 3.15. Wenn Studiendaten *nicht* in anonymisierter bzw. pseudonymisierter Form aufbewahrt werden: Wo und warum ist dies der Fall?

t.n.z.

- 3.16. Welche Sicherungsmaßnahmen werden ergriffen, um die Daten der Teilnehmenden vor unberechtigtem Zugriff zu schützen? (z. B. Virenschutz/Firewall, individueller Log-In und Kennwortverfahren, Verwaltung von Berechtigungen, Verschlüsselung von Systemen, elektronisches Zutrittskontrollsystem, Sicherheitstüren).

Die vollständigen anonymisierten Daten werden ausschließlich im passwortgesicherten Netzwerk der Universität Wien aufbewahrt. Die Sicherheit in Bezug auf Virenschutz und Firewall ist nach den Standards der Universität Wien gegeben. Der Zugriff kann nur durch einen individuellen Log-in der Studiendurchführenden geschehen. Die Verwaltung der Berechtigung geschieht durch die Studienleitung. Der ID-Schlüssel wird davon gesondert in einem verschließbaren Schrank aufbewahrt und acht Wochen nach Abschluss der letzten Datenerhebung vernichtet. Nur die reduzierten Datensätze werden, wie unter 3.14. beschrieben, frei für zur Verfügung gestellt.

- 3.17. Können sich Teilnehmende über die Forschungsergebnisse informieren?

☒ Ja ☐ Nein Wenn nein, Begründung:

t.n.z.

- 3.18. Wie wird den Teilnehmenden die Einsicht in ihre persönlichen Studiendaten ermöglicht?

Die Teilnehmer:innen können die persönlichen Daten bis acht Wochen nach der letzten Testung persönlich mit ihrer ID-Teilnahmenummer bei der Versuchsleitung einsehen. Die allgemeine, anonymisierte Einsicht der Ergebnisse wird den Studienteilnehmer:innen persönlich oder schriftlich ermöglicht.

- 3.19. Auf welche Weise und wie lange können die Teilnehmenden die Löschung ihrer Studiendaten verlangen?

Die Studienteilnehmer:innen haben bis acht Wochen nach Beendigung ihrer individuellen Testung die Möglichkeit, die Löschung ihrer Daten zu erwirken. Dies ist persönlich oder mittels E-Mail an die Versuchsleiterin und ohne Angabe von Gründen möglich.

3c Folgen der Studienteilnahme für die Teilnehmenden

- 3.20. Ist die Teilnahme an der Studie für die Teilnehmenden mit absehbaren Risiken oder anderen anzunehmenden problematischen Begleiterscheinungen verbunden (z. B.: Schmerzen, Unannehmlichkeiten oder Verletzungen der persönlichen Integrität)? Welche Maßnahmen werden zur Vermeidung und/oder Versorgung von unvorhergesehenen/unerwünschten Ereignissen getroffen?

Im Rahmen der Studie besteht die Möglichkeit von körperlicher Erschöpfung und Muskelererschöpfung an den darauffolgenden Tagen. Weiters besteht, wie bei jeder sportlichen Betätigung, die Gefahr einer Verletzung. Vorab werden die Proband:innen jedoch darauf hingewiesen, dass die Studie jederzeit abgebrochen werden kann. Bei Schmerzen oder sonstigen schwereren Unannehmlichkeiten wird die Studienteilnahme in jedem Fall beendet. Weiters werden alle Messgeräte und Sportgeräte ordnungsgemäß überprüft, gereinigt und nach jeder Messung desinfiziert und bei Bedarf gewartet. Es werden darüber hinaus alle zum Testtag gültigen rechtlichen Vorschriften eingehalten.

- 3.21. Welche Verfahren werden eingesetzt, um unerwünschte Effekte einer Studienteilnahme zu identifizieren, diese zu dokumentieren und zu berichten? Beschreiben Sie, wann, durch wen und wie dies erfolgt, z. B. freies Befragen und/oder an Hand von Fragelisten.

Die Teilnehmenden werden dazu angehalten, sich jederzeit direkt mit der Versuchs- und Studienleitung in Verbindung zu setzen (Telefon, E-Mail, persönlich), falls es zu unerwünschten Effekten kommen sollte.

- 3.22. Wird eine Teilnahmevergütung bzw. eine Aufwandsentschädigung (Ausgleich von Fahrtspesen und Einkommensentgang) an die Teilnehmenden bezahlt?

Die Teilnahme geschieht freiwillig und es ist keine Vergütung oder Aufwandsentschädigung geplant. Es fallen auch keine Kosten an. Die Proband:innen erhalten im Anschluss an ihre Teilnahme einen Müsliriegel und einen Energy Drink.

- 3.23. Welche voraussichtlichen Vorteile bzw. welcher mögliche Nutzen sind für die Teilnehmenden mit der Studie verbunden?

Es wird nicht davon ausgegangen, dass die Teilnehmer:innen der Studie einen gesundheitlichen Nutzen oder Nachteil aus der Teilnahme ziehen. Die Teilnehmenden bekommen Einsicht in den Zusammenhang zwischen ihrer eigenen Leistungsfähigkeit, ihrem Ermüdungszustand im Workout und der Bewegungsqualität bei der Übungsdurchführung.

3d Weitere ethische Aspekte

- 3.24. Werden die Teilnehmenden in vollem Umfang über Art, Ziel und Inhalt der Studie informiert?

☒ Ja ☐ Nein, Begründung:

Werden die Teilnehmenden getäuscht?

☐ Ja ☒ Nein

Wenn ja: Beschreibung und Begründung der Notwendigkeit der Täuschung:

- 3.25. Welche weiteren möglicherweise auftretenden Probleme bzgl. Studienteilnahme und Studiendurchführung gibt es aus Ihrer Sicht?

Potenzielle Verletzungen könnten zum Abbruch der Tests führen. Die Ergebnisse der Proband:innen können nur bei vollständiger Durchführung aller Untersuchungen in die Analyse miteinbezogen werden.

- 3.26. In welchem Verhältnis stehen potenzielle Risiken der Studie zum erwarteten wissenschaftlichen und gesellschaftlichen Nutzen?

Aufgrund der Ausschlusskriterien und der aufgelisteten Sicherheitsvorkehrungen wird das Risiko der Studie als gering eingestuft. Die Erkenntnisse, die aus der Studie gezogen werden können, sind jedoch von großem sportwissenschaftlichem und sportpraktischem Interesse. Zudem können sich die Proband:innen im Rahmen der Studie mit der Thematik der Qualität der Bewegungsausführung im sportlichen Training auseinandersetzen und ihre Erkenntnisse in der weiteren Trainingspraxis berücksichtigen.

- 3.27. Unter welchen Bedingungen ist eine Unterbrechung der Studie vorgesehen? Unter welchen Umständen wird die Studie gänzlich abgebrochen?

Es ist keine Unterbrechung bzw. kein Abbruch der Studie vorgesehen

4. Sonstige Anmerkungen

Literaturverzeichnis:

Alekseyev, K., John, A., Malek, A., Lakdawala, M., Verma, N., Southall, C., Nikolaidis, A., Akella, S., Erosa, S., Islam, R., Perez-Bravo, E., & Ross, M. (2020). Identifying the Most Common CrossFit Injuries in a Variety of Athletes. *Rehabil Process Outcome*, 9, 1179572719897069. <https://doi.org/10.1177/1179572719897069>

Ángel Rodríguez, M., García-Calleja, P., Terrados, N., Crespo, I., Del Valle, M., & Olmedillas, H. (2022, 2022/01/02). Injury in CrossFit®: A Systematic Review of Epidemiology and Risk Factors. *The Physician and Sportsmedicine*, 50(1), 3-10. <https://doi.org/10.1080/00913847.2020.1864675>

Fernández-González, P., Koutsou, A., Cuesta-Gómez, A., Carratalá-Tejada, M., Miangolarra-Page, J. C., & Molina-Rueda, F. (2020). Reliability of Kinovea® Software and Agreement with a Three-Dimensional Motion System for Gait Analysis in Healthy Subjects. *Sensors*, 20(11), 3154. <https://www.mdpi.com/1424-8220/20/11/3154>

Glassman, G. (2002-2020). *Level 1 Training Guide* (Vol. 3). CrossFit, LLC. http://library.crossfit.com/free/pdf/CFJ_English_Level1_TrainingGuide.pdf

Meier, N., Schlie, J., & Schmidt, A. (2023, 2023-April-05). Physiological effects of regular CrossFit® training and the impact of the COVID-19 pandemic—A systematic review [Systematic Review]. *Frontiers in Physiology*, 14. <https://doi.org/10.3389/fphys.2023.1146718>

Meyer, J., Morrison, J., & Zuniga, J. (2017, Dec). The Benefits and Risks of CrossFit: A Systematic Review. *Workplace Health Saf*, 65(12), 612-618. <https://doi.org/10.1177/2165079916685568>

Nakagawa, S. (2004). A farewell to Bonferroni: the problems of low statistical power and publication bias. *Behavioral Ecology*, 15(6), 1044-1045. <https://doi.org/10.1093/beheco/arh107>

Open Week 2. (2018). CrossFit Inc. . Retrieved 21.04.2023 from <https://games.crossfit.com/workouts/open/2018/2?division=2>

Weeks, B. K., Carty, C. P., & Horan, S. A. (2015, Sep 30). Effect of sex and fatigue on single leg squat kinematics in healthy young adults. *BMC Musculoskelet Disord*, 16, 271. <https://doi.org/10.1186/s12891-015-0739-3>

5. Studiendurchführende

Geben Sie alle an der Studie Mitarbeitenden an:

Bitte berücksichtigen Sie dabei ggf. die Abgrenzung der Funktionen Projektleitung (Leitung des Gesamtprojekts), Studienleitung (Leitung einer Teilstudie) und Versuchsleitung (Durchführung einer Studie). Diese unterschiedlichen Funktionen bzw. Zuständigkeiten sollen auch in der Teilnehmer*inneninformation und Einverständniserklärung entsprechend abgebildet werden.

Name	Institution	Funktion*	Qualifikation**
Katharina Böse	Universität Wien	Versuchsleitung, Verfasserin der Masterarbeit	Bachelor of Education, Universität Wien
Peter Raidl	Universität Wien – Institut für Sportwissenschaft	Unterstützung bei der Versuchsplanung und Datenerhebung	Bakk. BSc. MSc. Sportwissenschaft, Universität Wien
Robert Csapo	Universität Wien – Institut für Sportwissenschaft	Studienleitung Betreuer Masterarbeit	Univ. Prof. Mag. Dr. Senior Researcher - Trainingswissenschaft

* z. B. Studienleitung, Projektleitung, Versuchsleitung, Planung, Auswertung, Datenerhebung

** z. B. Senior Researcher, Dissertant*in, Postdoc usw.

Gibt es Interessenskonflikte zwischen den beteiligten Forscher*innen?

☐ Ja ☒ Nein

Wenn Ja: Beiblatt Interessenskonflikt ausfüllen und beilegen.

6. Name und Unterschrift der antragstellenden Person

Name: Robert Csapo

Institution/Firma: Universität Wien – Zentrum für Sportwissenschaft und Universitätssport

Position: Univ. Prof. Mag. Dr. Robert Csapo, Leitung der Arbeitsgruppe Trainingswissenschaft

Unterschrift der antragstellenden Person: Hiermit bestätige ich, dass die in diesem Antrag gemachten Angaben zur geplanten Studie korrekt sind und die Studie gemäß diesen Angaben und in Übereinstimmung mit den Prinzipien guten wissenschaftlichen Arbeitens durchgeführt wird.

Ich versichere, den empirischen Projektteil der eingereichten Studie (Rekrutierung, Datenerhebung) nicht vor dem Votum der Ethikkommission zu beginnen.



Unterschrift der Antragstellérin*des Antragstellers, Datum

6.1. Zustellungsbevollmächtigte*r falls nicht antragstellende Person

Erklärung

„Ich erkläre, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst habe und nur die ausgewiesenen Hilfsmittel verwendet habe. Diese Arbeit wurde weder an einer anderen Stelle eingereicht (z. B. für andere Lehrveranstaltungen) noch von anderen Personen (z. B. Arbeiten von anderen Personen aus dem Internet) vorgelegt.“

Wien, 25.03.2026

Katharina Böse, BEd.

Im Rahmen der Erstellung der vorliegenden Arbeit wurden KI-gestützte Sprachwerkzeuge unterstützend eingesetzt. Dieser Einsatz beschränkte sich ausschließlich auf die sprachliche Überarbeitung des Manuskripts, insbesondere auf die Prüfung von Rechtschreibung, Grammatik, Zeichensetzung sowie auf Vorschläge zur Verbesserung von Formulierungen, Satzbau und Lesbarkeit. Alle durch die KI vorgeschlagenen Änderungen wurden kritisch geprüft und nur dann übernommen, wenn sie den beabsichtigten Inhalt unverändert wiedergeben und mit den Anforderungen guter wissenschaftlicher Praxis vereinbar sind. Die Verantwortung für den finalen Text liegt vollständig bei der Verfasserin.

Wien, 25.03.2026

Katharina Böse, BEd.